Europa
invierte en las zonas rurales

MANUAL PARA LA
PROGRAMACIÓN DEL

FERTIRRIEGO DE PRECISIÓN DEL OLIVAR CON AGUAS REGENERADAS

Reutivar

SOCIOS:

FERAGUA
Asociación de Comunidades de Regantes de Andalucía

FUNDACIÓN PÚBLICA ANDALUZA CENTRO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL AGUA (CENTA)
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Comunidad de Regantes TINTÍN

FINANCIAN:

UNIÓN EUROPEA

Junta de Andalucía
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible

Manual para la programación del fertirriego de precisión del olivar con aguas regeneradas

AUTORES

Carmen Alcaide Zaragoza

Rafael González Perea

Juan Antonio Rodríguez Díaz

Irene Fernández García

Emilio Camacho Poyato

Isabel Martín García

Khalid Fahd Draissi

Grupo Operativo REUTIVAR, 2020

Esta publicación se ha desarrollado en el marco del proyecto '*Modelo de riego sostenible del olivar mediante el uso de aguas regeneradas (REUTIVAR)*' cofinanciado por la Junta de Andalucía y la Unión Europea a través de fondos FEDER.

Participan: Asociación de Comunidades de Regantes de Andalucía (FERAGUA), Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), Universidad de Córdoba y Comunidad de Regantes Tintín.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y los autores.

ISBN 978-84-09-22063-2

Índice

1. Introducción 5
2. Modelo de Fertirriego Sostenible del Olivar 6
   2.1. Evaluación inicial 6
      2.1.1. Análisis de suelo 6
      2.1.2. Análisis foliares 7
      2.1.3. Análisis de calidad del agua 8
   2.2. Programación del riego 12
      2.2.1. Necesidades de Riego 12
      2.2.2. Contenido de Agua en el Suelo 14
      2.2.3. Sistema de riego 19
      2.2.4. Manejo del riego 22
   2.3. Programación de la fertilización 31
3. Aplicación móvil *REUTIVAR-App* 39
   3.1. Identificación del usuario 40
   3.2. Nueva Programación 41
      3.2.1. Finca 41
      3.2.2. Sector de riego 42
      3.2.3. Fertilización 44
   3.3. Pantalla principal 45
   3.4. Menú lateral 46
   3.5. Registro de fertirriego 47
   3.6. Gestor de fincas 48

3.6.1. Programaciones 48
3.6.2. Copiar 49
3.6.3. Modificar 50
3.7. Gestor de muestras 50
3.8. Predicción climática 51
3.9. Gráficos 51
4. Aplicación para ordenador *REUTIVAR-PC* 54
4.1. Datos de entrada 54
4.2. Pantalla de resultados 57
5. Bibliografía 59

1. Introducción

El olivar es un cultivo de gran repercusión económica y social en España y especialmente en Andalucía. En esta región, debido a su gran extensión, aproximadamente un millón quinientas mil hectáreas, y pese a seguir estrategias de riego muy deficitarias, es el cultivo con mayor uso de agua de toda la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir. Si a esto se unen los efectos del cambio climático, en concreto el aumento de la temperatura y la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, el cultivo del olivar tendrá que adaptarse al uso de recursos hídricos escasos de la forma más eficiente posible.

Por otro lado, en esta región, tal y como numerosos estudios muestran, el olivar se suele fertilizar sin tener en cuenta métodos de diagnóstico sobre su estado nutritivo, lo que lleva en muchas ocasiones a una aplicación en exceso de fertilizantes y especialmente de nitrógeno. Esta aplicación innecesaria de nutrientes provoca no solo pérdidas económicas, sino también la contaminación de agua, suelo y atmósfera, amenazando a la biodiversidad del territorio. Además, esta aplicación en exceso tampoco aumenta el rendimiento productivo del cultivo, pudiendo, de hecho, provocar dificultad para la absorción de otros nutrientes.

El uso de aguas regeneradas[1] para el riego de olivar puede suponer una estrategia imprescindible para hacer frente a los futuros escenarios de escasez de agua, encuadrándose en el paradigma de Economía Circular. Esta agua ya incorpora una cantidad importante de nutrientes, que además es variable a lo largo de la campaña. Esto puede permitir una reducción de los fertilizantes convencionales que se necesitan aplicar. Por ello, es imprescindible conocer la calidad del agua aplicada a lo largo de la campaña para ajustar su fertilización a las necesidades reales y hacer el fertirriego más eficiente y sostenible posible.

[1]Aguas regeneradas: aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan según el Real Decreto 1620/2007. O bien, se pueden definir como las aguas residuales urbanas que han sido tratadas en cumplimiento de los requisitos establecidos en la Directiva 91/271/CEE y que resultan de un tratamiento posterior en una estación regeneradora de aguas, de conformidad con la sección 2 del anexo I del Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua en riego agrícola.

2. Modelo de Fertirriego Sostenible del Olivar

2.1. Evaluación inicial

Antes de tomar cualquier decisión, es imprescindible conocer cómo se encuentra la plantación y los elementos relacionados a ella. Para ello, se expone un procedimiento para la toma de muestras de cada tipo de análisis.

2.1.1. Análisis de suelo

El análisis de suelo va a permitir aumentar la precisión a la hora de programar el fertirriego. Por un lado, conocer con exactitud la textura, es decir, el tipo de suelo, ofrece información sobre cómo se mueve el agua a lo largo del perfil del suelo y si ese suelo tiene mayor o menor capacidad del almacenamiento de agua. Por otro lado, el contenido de nutrientes permite conocer la disponibilidad que hay en suelo de los mismos y hacer una primera aproximación de la posible respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizante. La muestra tomada debe ser representativa de todo el volumen de suelo explorado por las raíces del terreno. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Diferenciar las zonas que se van a muestrear. Estas zonas se eligen según los diferentes tipos de suelo que haya en la zona de estudio dependiendo de la morfología, color y pendiente del suelo, los antecedentes de fertilización y si está entre calles o bajo los árboles.
2. Recorrer la zona tomando muestras de manera aleatoria y separando submuestras de cada una de las capas de suelo. Si el suelo es homogéneo en la vertical, basta con tomar dos submuestras, una de 0 a 30 cm y otra de 30 a 60 cm de profundidad; si el suelo presenta horizontes diferenciados, es mejor muestrear cada horizonte por separado.
3. Tomar entre 6 y 10 submuestras para cada profundidad, cuidando no mezclar la tierra de ambas profundidades y de que todas las submuestras tengan la misma cantidad de tierra.
4. Mezclar bien todas las submuestras de cada capa de tierra para formar una muestra compuesta. Si las submuestras estuviesen húmedas, deben secarse y desmenuzarlas bien antes de mezclar.
5. Las muestras compuestas (una por profundidad) se desecan al aire, se introducen en bolsas de plástico y se envían al laboratorio para su análisis.

2.1.2. Análisis foliares

El análisis foliar consiste en la evaluación de la composición química de las hojas del cultivo. Numerosos trabajos afirman que éste es el mejor método para realizar un correcto diagnóstico del estado nutricional del olivar. A partir de esta información se puede realizar una recomendación de la fertilización que se tiene que llevar a cabo, tal como se explica en la sección 2.3. Para realizar el análisis foliar de forma adecuada se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Debe realizarse en el mes de julio, preferiblemente en la primera quincena.

2. Cada muestra debe tener la misma variedad, edad de plantación, tipo de suelo y prácticas de cultivo.
3. Cada muestra debe tener un mínimo de 100 hojas procedentes de 50 olivos.
4. Se cogerán las hojas de crecimiento del año, desechando los chupones.
5. La parte del árbol muestreada será la zona externa, a la altura de los ojos del operador.
6. Se cogerá la hoja entera, situada hacia la mitad del brote.
7. Las hojas deben estar el menor tiempo posible en contacto con las manos.
8. Las hojas recogidas se introducen en un sobre de papel y se entregan al laboratorio.
9. En caso, de no entregarlas en el mismo momento, deben conservarse en un frigorífico a 4 ó 5 ºC.

2.1.3. Análisis de calidad del agua

El agua residual tratada puede contener nutrientes, incluyendo otros elementos químicos en más altas concentraciones que las que normalmente se encuentran en el agua dulce. En este sentido, puede contener los tres macronutrientes (elementos consumidos por la planta en grandes cantidades –kg/hectárea), más extendidos en la fertilización del olivar:

- Nitrógeno (N). Para el caso del fertirriego del olivar se considerarán las formas de nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_4^+$) y nitratos ($N\text{-}NO_3^-$).
- Fósforo (P). Para el caso del fertirriego del olivar se considerarán la forma de ortofosfatos ($P\text{-}PO_4^{3-}$).
- Potasio (K).

Para ajustar la fertilización a las necesidades reales del olivar y conseguir un fertirriego más eficiente y sostenible, es de suma importancia conocer las concentraciones de N, P y K presentes en el agua regenerada que se aplica para el riego.

A continuación, se describe la forma en que se debe realizar la toma de muestras, así como la manipulación y conservación de las mismas para asegurar su representatividad y su homogeneidad desde su origen, hasta su entrada en el laboratorio para su posterior manipulación para los análisis de las formas correspondientes de N, P, así como de K en el agua regenerada:

1. Generalidades

La toma de muestras de agua debe ser en todos los casos representativa y homogénea del material original. Dichas muestras serán manejadas de tal forma que no se produzcan alteraciones significativas en su composición antes de que se hagan las pruebas analíticas correspondientes.

Las muestras no deben contaminarse, por lo que la persona que las tomas debe asegurarse de que los recipientes que se utilicen para ello estén limpios y secos.

Las muestras deben estar correctamente identificadas para su entrega a laboratorio.

Dado que las muestras han de ser transportadas, se dejará un espacio vacío de 1 %, para la expansión térmica, a menos que se indique expresamente lo contrario.

2. Realización

2.1. Material a emplear:

- Botes limpios de plástico, preferiblemente de boca ancha.
- Botes limpios de vidrio.
- Cubos, pértigas y cuerda, en caso de que la toma de muestras se realice en un punto de difícil acceso (por ejemplo, arquetas o balsas de riego).
- Neveras.
- Bloques acumuladores de frío.

- Rotuladores indelebles.
- Guantes.

2.2. Reactivos:

En principio, si la muestra se transporta al laboratorio responsable de la analítica inmediatamente tras su recogida, la persona que realiza el muestreo no ha de añadir ningún tipo de reactivo para la conservación de la misma. En caso de que se demore la recepción de la muestra en el laboratorio (superior a 24 horas), se deberán añadir reactivos de conservación (ver Tabla 1), para lo que se recomienda contactar con el laboratorio responsable del análisis para mayor información.

2.3. Toma de muestras:

Los envases para la recogida de las muestras deben estar limpios y secos. Se rotularán con tinta indeleble o etiqueta indicando: localización, número/nombre de la muestra, fecha y hora.

Así mismo, las neveras para la conservación y trasporte de las muestras al laboratorio, así como los bloques acumuladores de frío, se limpiarán previamente con agua corriente y jabón y se enjuagarán con abundante agua del grifo.

El punto de recolección de la muestra debe ser lo más representativo posible de las características generales la masa de agua que se desea analizar.

La muestra puede tomarse de forma manual o mediante algún dispositivo automático. Para el objeto del presente manual, se considerarán muestras puntuales tomadas de forma manual.

Antes de llenar el envase con la muestra, hay que lavarlo 2 ó 3 veces con el agua que se va a recoger, a menos que el envase contenga conservante. En este caso, o en caso de que la muestra no pueda ser tomada directamente en el recipiente que va a ser llevado al laboratorio, es necesario utilizar un recipiente intermedio para obtener

la muestra, que deberá estar limpio. Una vez tomada la muestra en el recipiente intermedio de la misma forma que se ha descrito anteriormente, trasvasar la misma al contenedor definitivo de la muestra de forma inmediata.

Debe llenarse el envase dejando un pequeño espacio para la posible expansión térmica durante el transporte al laboratorio.

El envío al laboratorio se realizará tan pronto como sea posible, manteniendo la muestra a temperatura de refrigeración (4-8 ºC) hasta ese momento. Asegurarse de que la muestra está completamente cerrada volteando la misma y observando que no existen pérdidas.

A continuación, se resumen los tipos de recipiente a emplear, volumen mínimo de muestra y, en caso de conservación de la misma, procedimiento a seguir:

Tabla 1. Datos para la toma y conservación de muestras de agua regenerada. (Adaptado APHA-AWWA-WPCF, 1989)

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (mL)	En caso de conservación
Nitratos	Plástico	100	Congelar
Amonio	Plástico	100	Agregar H_2SO_4 hasta pH<2, refrigerar
Ortofosfatos	Vidrio	100	Agregar HNO_3 hasta pH<2, refrigerar
Potasio	Vidrio	125	Agregar HNO_3 hasta pH<2, refrigerar

En caso de que sea necesaria la conservación, se recomienda contactar con el laboratorio responsable del análisis de calidad de agua para más información.

2.2. Programación del riego

Los recursos hídricos disponibles para el riego del olivar en Andalucía son escasos, de ahí la importancia de gestionarlos de la forma más eficiente posible. La programación del riego tiene como objetivo satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, determinando el momento y el tiempo de riego óptimos según las características del olivar, del clima y del suelo. Además, se deben considerar otros aspectos como son la dotación concedida o la tarifa eléctrica. Todos estos aspectos se tratarán en profundidad en este capítulo.

2.2.1. Necesidades de Riego

Para optimizar lo máximo posible la eficiencia del riego, la programación ha de estar centrada en las necesidades hídricas reales del olivar de la Comunidad de Regantes o de la finca particular. Estas **necesidades de riego** se calculan como la diferencia entre la cantidad de agua que suelo y planta pierden, es decir, la evapotranspiración, y el agua que se aporta de forma natural, es decir, la precipitación.

$$\text{Necesidades de Riego (NR)} = \text{Evapotranspiración}_{\text{cultivo}} - \text{Precipitación}_{\text{efectiva}}$$

Las necesidades de riego están directamente relacionadas, por tanto, a las condiciones climáticas de cada año, al cultivo y al tipo de suelo. Por esto, aunque se puede hacer una estimación de las necesidades medias, es muy recomendable llevar a cabo una particularización para cada campaña e ir actualizándola conforme esta transcurra.

La **evapotranspiración** es la cantidad de agua que se pierde porque se evapora desde el suelo y la que se pierde por transpiración desde las hojas de la planta. El valor de la evapotranspiración depende de las condiciones climáticas y del tipo de cultivo. Éste se obtiene como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET_0), el coeficiente de cultivo (k_c) y el coeficiente de cobertura (k_r).

$$\text{Evapotranspiración del cultivo } (ET_c) = ET_0 \cdot k_c \cdot k_r$$

La evapotranspiración de referencia (ET_0) es la demanda evaporativa estimada de un cultivo de referencia sin restricciones de agua. Sus valores históricos se pueden obtener desde la Red de Estaciones Agroclimáticas de Andalucía para el caso de Andalucía o desde el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR) para el resto de España.

En cuanto al coeficiente de cultivo (k_c),para el caso de un olivar localizado en la zona de Córdoba, según Orgaz and Fereres (2001), se recomiendan usar los siguientes valores:

Tabla 2. Valores de coeficiente de cultivo(k_c) de olivar para Córdoba

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0,65	0,65	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60

El coeficiente de cobertura(k_r) aporta información sobre la superficie cubierta por la copa del árbol y, por tanto, sirve para considerar el estado de desarrollo del cultivo. Toma valores desde 0 para un olivar recién plantado hasta 1 en el caso de un olivar adulto. Este coeficiente se calcula según la ecuación propuesta por Fereres et al. (1981):

$$k_r = 2 \cdot S_c/100$$

donde S_c es la superficie cubierta, es decir, la cantidad de suelo sombreada por la copa de los árboles y se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_c = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot N}{400}$$

donde D es el diámetro medio de la copa de los árboles en metros y N el número de olivos por hectárea de la plantación.

La **precipitación efectiva** es el agua de lluvia almacenada en la zona radicular y la que realmente puede aprovechar el cultivo. En este caso, se recomienda aplicar un porcentaje fijo del 80% al valor de la precipitación para simplificar el cálculo. Los datos de precipitación se pueden obtener de las mismas fuentes de datos que la evapotranspiración de referencia.

$$\text{Precipitación Efectiva } (P_{ef}) = \text{Precipitación } (P) \cdot 0{,}8$$

2.2.2. Contenido de Agua en el Suelo

Existen otros aspectos cuya consideración también es importante y necesaria a la hora de llevar a cabo una correcta programación del riego. Este es el caso del agua almacenada en el suelo. Conocer el contenido de humedad en el suelo es importante para no aplicar agua cuando el suelo no puede almacenar más o, por el contrario, para saber cuándo es necesario o imprescindible aplicar agua.

Para conocer el **contenido de agua en el suelo** se puede recurrir a diferentes métodos. En primer lugar, se puede calcular el contenido de agua teórico que hay en el suelo. Para ello, hay que llevar a cabo un balance de agua, es decir, un recuento entre las entradas y las salidas que se producen en el suelo. Para ello, lo primero que hay que tener en cuenta es la humedad inicial que tiene el suelo. Como aproximación inicial, se puede hacer una estimación visual. Sin embargo, esta estimación visual debe seguir una serie de pautas. En primer lugar, se debe conocer el tipo de suelo. El cultivo solo puede aprovechar el agua del suelo cuando el contenido de humedad de éste se encuentra entre Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). Por tanto, el agua de la que va a disponer el cultivo realmente se denomina **Agua Total Disponible**

(ATD) y es la diferencia entre el contenido de humedad en CC (θ_{CC}) y el contenido de humedad en PMP (θ_{PMP}) por la profundidad media de las raíces del árbol (Z_r), que para el caso del olivar adulto se puede considerar 1 m.

$$\text{Agua Total Disponible en mm (ATD)} = 1000 \cdot (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \cdot Z_r$$

El contenido de humedad a CC y a PMP dependen de la textura del suelo. En la tabla 3 se encuentran los principales tipos de suelos y los valores promedio de sus características principales (Allen, 1998). No obstante, para obtener mayor precisión en los resultados, es muy recomendable llevar a cabo un estudio de suelo propio, siguiendo las pautas de la sección 2.1.

Tabla 3. Características medias para diferentes tipos de suelos

Tipo de suelo	θ_{CC} (m^3/m^3)	θ_{PMP} (m^3/m^3)
Arenoso	0,12	0,05
Arenoso Franco	0,15	0,07
Franco Arenoso	0,23	0,11
Franco	0,25	0,12
Franco Limoso	0,29	0,15
Limoso	0,32	0,17
Franco Arcillo Limoso	0,34	0,21
Franco Arcilloso	0,36	0,17
Arcillo Limoso	0,36	0,23
Arcilloso	0,36	0,22

Una vez conocido el tipo de suelo, dependiendo de cómo se encuentre el suelo se podría hacer la siguiente estimación:

- Humedad de suelo muy alta. Este caso ocurre tras producirse un evento de lluvia abundante y una vez que el suelo se ha drenado bien (alrededor de 24-48 horas). En este caso se puede considerar que la humedad del suelo se encuentra en capacidad de campo.
- Humedad de suelo alta. En este caso, se puede considerar que el contenido de agua en el suelo es un 75% del ATD.
- Humedad de suelo media. En este caso, se puede considerar que el 50% del ATD es el contenido de agua que tiene el suelo.
- Humedad del suelo baja. Se puede considerar que el contenido de humedad en el suelo en este caso es del 25% del ATD.

A partir de ese momento, se puede comenzar el balance de agua. Como se observa en la Figura 1, las entradas al suelo son el agua aportada de forma natural a través de la lluvia y el agua aportada a través del riego. Las salidas son la evapotranspiración y las pérdidas por escorrentía y percolación.

$$\text{Contenido Agua en el Suelo } (CAS_d) = CAS_{d-1} + R + P_{ef} - ET_c - Per - Esc$$

donde CAS_{d-1} es el contenido de agua en el suelo del día anterior, R es el riego aplicado en mm, P_{ef} es la precipitación efectiva en mm, ET_c es la evapotranspiración del cultivo en mm, Per es la percolación profunda en mm y Esc es la escorrentía en mm.

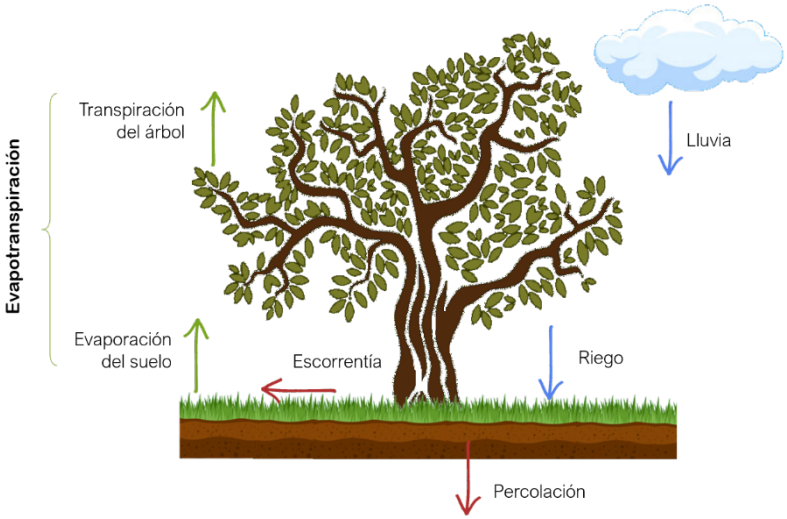


Figura 1. Balance de Agua en el Suelo

Otra opción para conocer el contenido de humedad en el suelo, además del balance de agua teórico del suelo, es la instalación de **sondas de humedad** (Figura 2). Esto va a permitir conocer el comportamiento de los bulbos de humedad en el suelo y comprobar si el riego que se está aplicando es excesivo o deficiente. Las sondas de humedad deben colocarse en un lugar representativo de la finca y no es recomendable llevar a cabo la programación basándose solo en la información de éstas. Sin embargo, pueden ser de gran ayuda para conocer la humedad en el suelo inicial o para comprobar que el balance de agua en el suelo teórico se esté realizando con sentido.

Figura 2. Sondas de humedad instaladas a diferentes profundidades

Como se ha explicado anteriormente, el cultivo solo puede aprovechar el agua del suelo cuando el contenido de humedad de éste se encuentra entre Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). Cuando el contenido de humedad está por encima de CC, el agua no puede ser retenida por el suelo y por debajo del PMP, no puede ser extraída por las raíces del cultivo. Por tanto, el agua que puede utilizar el cultivo realmente es el Agua Total Disponible (ATD). No obstante, el cultivo encuentra mucha más dificultad para extraer agua del suelo una vez que el contenido alcanza lo que se conoce como Nivel de Agotamiento Permisible (NAP). A partir de ese límite, el agua que el cultivo es capaz de extraer del suelo no es igual a demanda evaporativa, es decir, no es igual a la evapotranspiración, sino que se reduce. En este caso, el agua realmente absorbida por el suelo se calcula como:

$$\text{Evapotranspiración}_{\text{ajustada}} = ET_c \cdot \frac{ATD-(ATD-(CAS_{d-1}-PMP))}{ATD-AFA}$$

El intervalo en el que el contenido de humedad del suelo se encuentra entre el contenido de humedad a CC y el NAP, es decir, el intervalo en el cual las raíces del árbol son capaces de extraer del suelo una cantidad de agua igual a la demanda evaporativa se conoce como Agua Fácilmente Aprovechable (AFA). Este es el intervalo en el que es recomendable que se encuentre el contenido de agua en el suelo. Para el caso del olivar el AFA se calcula como:

$$\text{Agua Fácilmente Aprovechable (AFA)} = 0{,}75 \cdot ATD$$

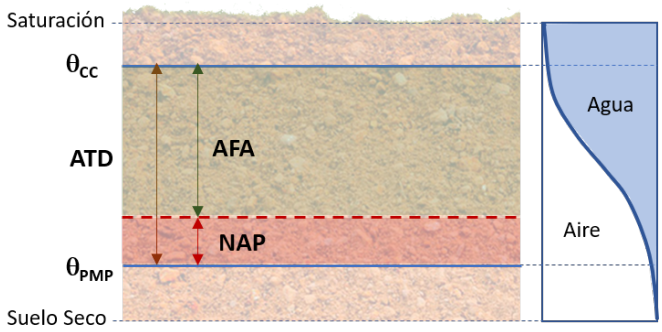


Figura 3. Esquema humedad en el suelo

Sin embargo, debido a la limitación de recursos en el olivar, es recomendable comenzar a regar cuando el contenido de humedad en el suelo disminuye un 25% desde CC para evitar que el suelo se seque demasiado pronto.

2.2.3. Sistema de riego

El **sistema de riego** es otro aspecto imprescindible a la hora realizar una programación óptima del riego. Esto va a permitir conocer el tiempo de riego, es decir, el tiempo necesario para aplicar la cantidad de agua que previamente se ha programado. Como se trata de árboles regados con aguas regeneradas, es recomendable el riego por goteo enterrado. Por ello, este manual solo abordará dicho sistema de riego. Los elementos que se deben considerar para el cálculo del tiempo de riego son: la cantidad de agua que quiero aplicar en mm(R), la superficie a regar en ha (A), el caudal del gotero en l/h (q_{gotero}), el número de goteros ($n_{goteros}$) y la eficiencia del riego (Ef_{riego}). De forma que el tiempo de riego en horas se calcula según la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo (t)} = \frac{R \cdot A \cdot 10.000}{q_{gotero} \cdot n_{goteros} \cdot Ef_{riego}}$$

En número de goteros, $n_{goteros}$, se puede calcular a partir de la superficie a regar en ha (A), la separación entre ramales en m (s_r) y separación entre goteros en m (s_g) mediante la siguiente ecuación:

$$n_{goteros} = \frac{A \cdot 10.000}{s_r \cdot s_g}$$

Para llevar a cabo un diagnóstico de cómo se encuentra la red de riego, es recomendable la realización de una **evaluación de la uniformidad**. Para realizarlo se propone seguir las pautas del procedimiento de evaluación de uniformidad de Bralts y Kesner (1983):

1. Elegir 18 goteros al azar en la unidad de riego.
2. Uno a uno, colocar un recipiente y medir el volumen aportado por cada gotero en 6 minutos.
3. Calcular el volumen máximo (V_{max}) y el volumen mínimo (V_{min}).
   - V_{max} es la suma de los tres goteros con mayor volumen medido.
   - V_{min} es la suma de los tres goteros con menor volumen medido.
4. Usando la Figura 4, encontrar el valor de V_{max} en el eje vertical y trazar una línea horizontal.
5. Usando la Figura 4, encontrar el valor de V_{min} en el eje horizontal y trazar una línea vertical.
6. Obtener la uniformidad: el punto donde se crucen las dos líneas anteriores indicará la uniformidad en la aplicación de riego.

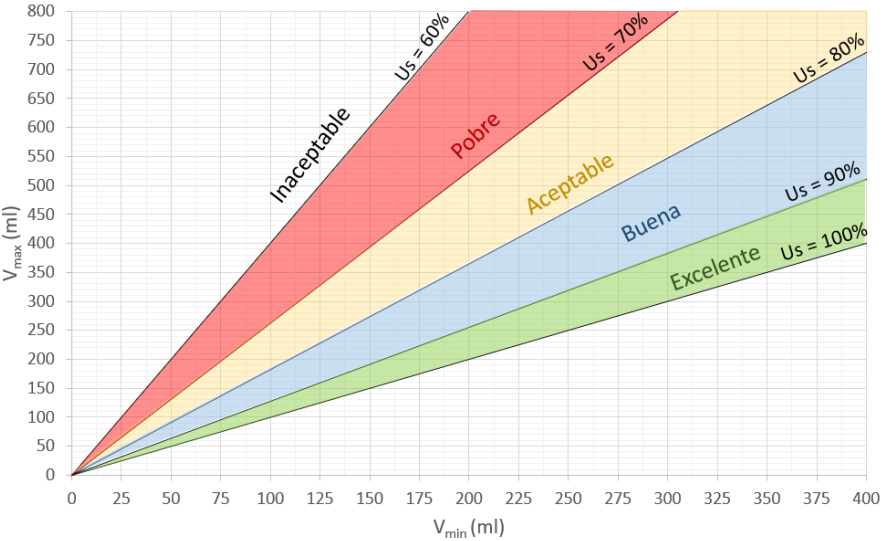


Figura 4. Gráfico obtención uniformidad

En el caso de que esta uniformidad sea baja, habrá que estudiar el motivo de por qué ocurre. Esto repercute directamente en la eficiencia del riego y en el rendimiento final de la cosecha. Al tratarse de aguas regeneradas, los problemas de obturación suelen ser frecuentes, por lo que puede ser una de las causas de esa baja uniformidad. Para poder solucionar este problema, en primer lugar, es necesario conocer la causa que está provocando el bloqueo. Estas obturaciones pueden estar ocasionadas por deposiciones de materiales o sedimentos, materia orgánica o precipitados químicos.

2.2.4. Manejo del riego

El manejo del riego es el último de los aspectos importantes a considerar en la programación de riego del olivar. Hay diferentes estrategias de manejo, siendo las más extendidas actualmente en olivar: riego completo, riego deficitario controlado y riego deficitario sostenido.

La estrategia de **Riego Completo (RC)** consiste en programar el riego del olivar cubriendo las necesidades hídricas totales del árbol. Esta estrategia, pese a que es con la que se alcanzaría la máxima producción, actualmente es difícilmente aplicable al olivar en Andalucía debido a la limitación de los recursos hídricos.

El **Riego Deficitario Sostenido (RDS)** es otra de las estrategias de manejo de riego en olivar. Esta estrategia surge para alcanzar la dotación de agua establecida. En esta estrategia se reparte de forma equitativa un porcentaje de las necesidades totales a lo largo de la campaña de riego.

Finalmente, en la estrategia de **Riego Deficitario Controlado (RDC)** se reparten un porcentaje de las necesidades hídricas totales de forma variable a lo largo de la campaña. En esta estrategia se aplica más cantidad de agua en las etapas de desarrollo más sensibles al estrés hídrico para el olivo. La falta de agua afecta a diferentes procesos del crecimiento del olivar dependiendo del momento en el que se produzca, los cuales pueden observarse en la Tabla 4. La fase menos crítica para el rendimiento final del olivar, es decir, donde debe concentrarse el estrés hídrico, es la fase de endurecimiento del hueso. Esta fase va desde el fin del cuajado hasta el inicio del crecimiento del fruto, es decir, coincide con los meses de verano (julio y agosto). Dependiendo de la zona, las condiciones climáticas del año y la variedad, el comienzo de estos procesos puede variar variando, por lo que sería recomendable adecuar el programa de riego de forma particular cada campaña. Como generalización para la zona sur de

España, se puede considerar que lo meses más críticos del olivar al estrés hídrico son abril, mayo, junio, septiembre y octubre.

Tabla 4. Efectos del déficit hídrico en los procesos del desarrollo del olivar

Proceso	Periodo	Efecto del déficit hídrico
Crecimiento vegetativo	Todo el año	Reducción del crecimiento y del número de flores al año siguiente
Desarrollo de yemas floras	Febrero-Abril	Reducción número de flores. Aborto ovárico.
Floración	Mayo	Reduce fecundación
Cuajado de frutos	Mayo-Junio	Aumenta alternancia
Crecimiento inicial del fruto	Junio-Julio	Disminuye el tamaño del fruto
Crecimiento posterior del fruto	Agosto-Cosecha	Disminuye el tamaño del fruto
Acumulación de aceite	Julio-Noviembre	Disminuye el contenido de aceite y/o fruto

Fuente: El cultivo del olivo (2008)

En ocasiones las reducciones llevadas a cabo con las estrategias de riego deficitario no son suficientes para alcanzar la **dotación** de agua concedida. En esos casos, se tendrá que hacer una reducción de agua mayor, de forma proporcional a las reducciones aplicadas en cada estrategia. Es decir, en el caso de aplicar la estrategia de RDC, la reducción de agua para alcanzar la dotación concedida será mayor en los meses de verano que en primavera u otoño. Esta reducción se puede llevar a cabo teniendo como referencia un Umbral de Riego Mensual (URM), es decir estableciendo una cantidad máxima de riego a aplicar por mes. Este umbral se calcula a partir de los datos climáticos medios históricos, la estrategia de riego y la dotación concedida. Para calcularlo, por tanto, es necesario calcular las necesidades de riego medias mensuales a partir de los datos disponibles en la Red de Estaciones Agroclimáticas de Andalucía. Una vez hecho esto, se aplica la reducción dependiendo de la estrategia de riego elegida y se obtiene la cantidad teórica de riego a aplicar. En

caso de que la suma de la cantidad teórica de riego a aplicar sea mayor que la dotación aplicada, se tiene que calcular el URM de cada mes de la siguiente forma:

$$\text{URM} = \frac{R_m}{R_a} \cdot \text{dotación}$$

donde URM es el umbral de riego mensual, R_m la cantidad de riego a aplicar media mensual, R_a la cantidad de riego aplicar media anual y dotación, la dotación de riego concedida.

Además de la estrategia de riego y la dotación, en el manejo del riego del olivar también es necesario considerar el **día de riego**, es decir, cuantos días a la semana y cuales se desea regar. Finalmente, para hacer un riego lo más rentable posible, también se debe considerar la **tarifa eléctrica** que se tenga contratada y programar el riego en las horas valles, es decir, en las que la energía y la potencia son más económicas. En la Figura 5 se puede observar un esquema de cómo se integran todos estos aspectos.

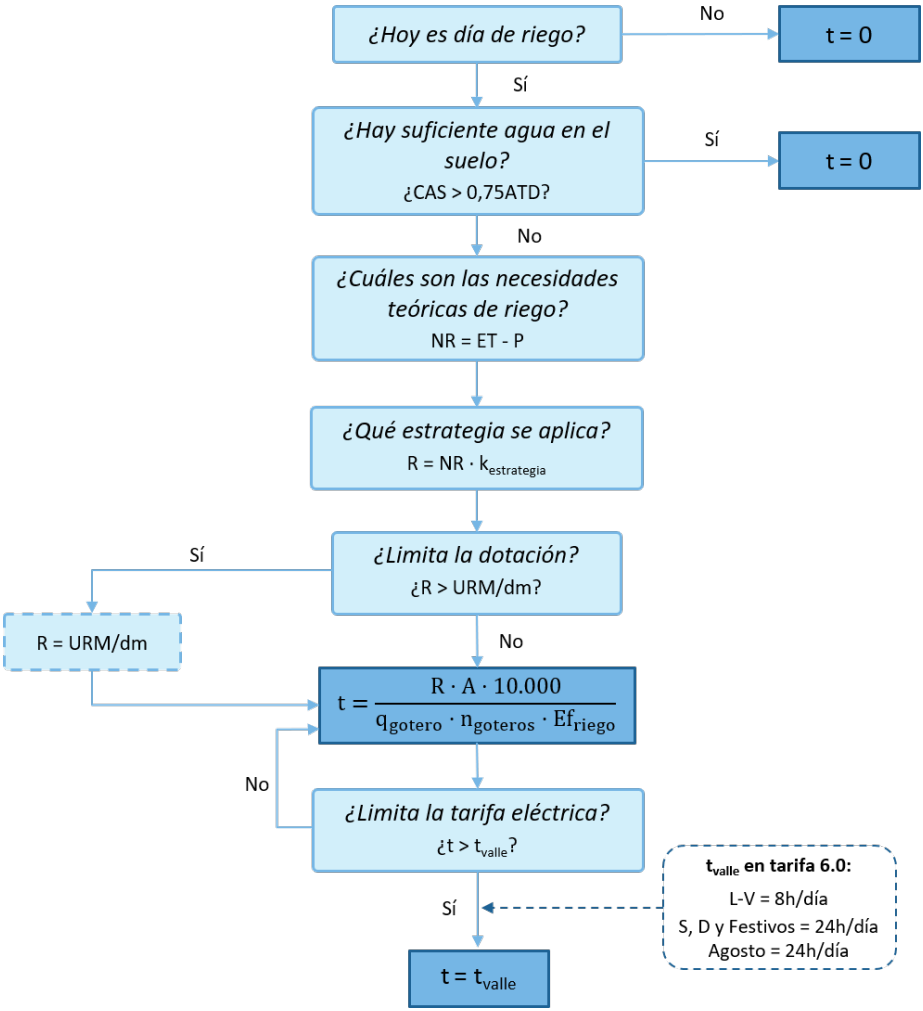


Figura 5. Esquema de decisión de riego

Siglas	Significado	Siglas	Significado
CAS	Contenido Agua en el Suelo	$k_{estrategia}$	Coeficiente estrategia riego
ATD	Agua Total Disponible	R	Riego a aplicar
NR	Necesidades de Riego	URM	Umbral de Riego Mensual
ET	Evapotranspiración	dm	Días de riego en el mes
q_{gotero}	Caudal del gotero	$n_{goteros}$	Número de goteros
Ef_{riego}	Eficiencia del riego	t	Tiempo de Riego
P	Precipitación	t_{valle}	Tiempo máximo periodo valle

Ejemplo

Calcular la programación de riego de una Comunidad de Regantes de olivar adulto situado en Montilla para la semana del 3 al 6 de junio de 2019. Los datos de la son los siguientes:

- Área a regar: 600 ha
- Dotación concedida: 1.500 m^3/ha
- Estrategia de Riego: RDC
- Sistema de Riego: goteo enterrado
  - Caudal gotero: 2,2 l/h
  - Separación ramales: 8 m
  - Separación goteros: 1 m
- Tipo de suelo: franco-arcilloso
- Días de riego: martes, jueves, sábados y domingos
- Humedad en el suelo del día 2/6/2019: 265 mm

En primer lugar, para establecer el URM (umbral de riego mensual), se obtienen los datos disponibles de la estación Agroclimática más cercana, que en el caso de Montilla, se trata de la estación 'IFAPA Centro de Cabra'. Una vez obtenidos esos datos, se calcula la precipitación, evapotranspiración y necesidades medias mensuales de los meses de campaña de riego, que en este caso se va a considerar desde Abril hasta Septiembre. Los resultados obtenidos son los siguientes:

	A	M	J	J	A	S
P(mm)	74,0	45,0	10,9	1,6	9,4	31,8
ET_o(mm)	100,6	138,1	168,4	187,0	164,9	110,1

Calculamos la precipitación efectiva (P_{eff}) y la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

	A	M	J	J	A	S
P_{eff}(mm)	59,3	36,0	8,7	1,3	7,5	25,5
k_c	0,60	0,55	0,50	0,50	0,55	0,55
ET_c(mm)	60,3	76,0	84,2	93,5	83,2	35,1
NR_m(mm)	1,0	40,0	75,5	92,2	83,2	35,1

Ahora aplicaremos el coeficiente por la estrategia de riego ($k_{estrategia}$), que en este caso es RDC, para obtener la cantidad de riego a aplicar media mensual.

	A	M	J	J	A	S
NR_m (mm)	1,0	40,0	75,5	92,2	83,2	35,1
$k_{estrategia}$	1,0	0,7	0,8	0,25	0,3	0,8
R_m (mm)	1,0	28,0	60,4	23,1	25,0	28,1

$$R_a = 1{,}0+28{,}0+60{,}4+23{,}1+25{,}0+28{,}1 = \underline{165{,}5\ mm}$$

R_a, es decir, la cantidad de riego a aplicar media anual es 165,5mm, es decir, 1.655 m³/ha. Por tanto, no se ajusta a la dotación concedida (1.500 m³/ha). Es por ello, por lo que a continuación, se va a dividir todos los términos de R_m entre el total y multiplicar por la dotación, por ejemplo:

$$URM_{abril} = \frac{1{,}0}{165{,}5} \cdot 150 = 0{,}9\ mm$$

La misma operación se va a llevar a cabo con todos los meses de la campaña de riego. Los resultados obtenidos son el Umbral de Riego Mensual (URM) y son los siguientes:

	A	M	J	J	A	S
URM (mm)	0,9	25,4	54,7	20,9	22,6	25,5

Ahora, se comprueba si hay agua almacenada en el suelo. Al tratarse de un suelo franco-arcilloso, sabemos que:

$$\theta_{CC} = 0{,}36\ m^3/m^3\ y \theta_{PMP} = 0{,}17\ m^3/m^3$$

$$ATD = 1000 \cdot (0{,}36\text{-}0{,}17) \cdot 1 = 530\ mm$$

¿Hay suficiente agua en el suelo? Es decir, ¿CAS > 0,75ATD?

El contenido de agua en el suelo del día anterior es 265 mm, por tanto:

$$0{,}75 \cdot ATD = 0{,}75 \cdot 530 = 397{,}5\ mm$$

$$260\ mm < 397{,}5\ mm$$

No hay suficiente agua almacena en el suelo, por lo que es necesario aplicar riego. Para calcular las necesidades, obtenemos los datos concretos de la semana que nos interesa llevar a cabo la programación del riego. En este caso la semana del 3 al 9 de junio:

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
P (mm)	0	0	0	0	0	0	0
ET_o(mm)	5,9	6,3	4,7	5,3	4,2	5,5	4,9

Calculamos la precipitación efectiva (P_{eff}) y la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Para ello, multiplicaremos P por 0,8 y ET_o por la k_c, que en este caso, al ser el mes de junio es 0,50.

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
P_{eff} (mm)	0	0	0	0	0	0	0
ET_c(mm)	2,95	3,15	2,35	2,65	2,10	2,75	2,45
NR (mm)	2,95	3,15	2,35	2,65	2,10	2,75	2,45

Aplicamos el coeficiente de riego deficitario controlado ($k_{estrategia}$) para el mes de junio (0,8)

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
NR (mm)	2,95	3,15	2,35	2,65	2,10	2,75	2,45
$k_{estrategia}$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$R_{inicial}$ (mm)	2,4	2,5	1,9	2,1	1,7	2,2	2,0

El riego total a aplicar esa semana sería 14,8mm. Lunes, miércoles y viernes no se riega. Esos días suman un total de necesidades de riego de 6 mm Esta cantidad se reparte entre los días que se va a regar esa semana:

$$Cantidad\ a\ repartir = \frac{Sobrante}{Días\ de\ riego\ de\ la\ semans} = \frac{6}{4} = 1{,}5\ mm$$

La cantidad programada de riego a aplicar es:

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
$R_{inicial}$ (mm)	0	2,5	0	2,1	0	2,2	2,0
Sobrante (mm)	0	1,5	0	1,5	0	1,5	1,5
R (mm)	0	4,0	0	3,6	0	3,7	3,5

Comprobamos si cumple con el URM, teniendo en cuenta que en junio de 2019 hay 18 días de riego:

$$URM_{junio}/d_m = 54{,}7/18 = 3\ mm$$

Es decir, como máximo cada día de riego se pueden aplicar 3 mm, por lo que debemos ajustar la programación anterior:

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
R (mm)	0	3,0	0	3,0	0	3,0	3,0

A continuación, calculamos el tiempo de riego, considerando una eficiencia de riego del 90%. Para eso lo primero que hay que calcular es el número de goteros:

$$n_{goteros} = \frac{A \cdot 10.000}{sep_{ramales} \cdot sep_{goteros}} = \frac{600\ ha \cdot 10.000\ m^2/ha}{8\ m \cdot 1\ m} = 750.000\ goteros$$

Aplicamos la siguiente ecuación a cada día:

$$Tiempo = \frac{R \cdot A \cdot 10.000}{q_{gotero} \cdot n_{goteros} \cdot Ef_{riego}}$$

$$Tiempo = \frac{3{,}0 \cdot 600 \cdot 10.000}{2{,}2 \cdot 750.000 \cdot 0{,}9} = 12\ horas$$

Como entre semana no se pueden aplicar más de 8 horas al día de riego, el resto de horas se reparte entre sábado y domingo, quedando la programación final:

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
Tiempo (horas)	0	8	0	8	0	16	16

2.3. Programación de la fertilización

Para la programación de la fertilización en primer lugar, es necesario establecer un plan anual de fertilización. Para poder establecer este plan, es necesario realizar un diagnóstico de cómo se encuentra nutritivamente la plantación. Este diagnóstico se lleva a cabo mediante la realización de análisis foliares, siguiendo los pasos explicados en la sección 2.1. De esta forma se conocerá como se encuentra nutritivamente el olivar. SOLO en caso de que algún nutriente se encuentre cercano o en el nivel de deficiencia, es recomendable planificar la fertilización. En este manual se van a dar unas pautas generales, sin embargo, sería recomendable ir comprobando cómo evoluciona la plantación a la aplicación de nutrientes, mediante el uso de análisis foliares, e ir adaptando el plan de fertilización a esa respuesta. El objetivo del plan de fertilización es conseguir un equilibrio de todos los elementos nutritivos en el árbol y eso se consigue manteniendo el contenido de nutrientes siempre en el intervalo adecuado. Este manual solo se centra en los tres macronutrientes más extendidos en la fertilización del olivar: Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), lo cual no es indicativo de que el resto de elementos no sean igualmente importantes. La interpretación de nutrientes en hoja, de acuerdo con Fernández-Escobar (2017), se pueden observar en la Tabla 5. En la Figura 6 se puede ver un esquema resumen del procedimiento a seguir a la hora de planificar la fertilización del olivar.

Tabla 5. Interpretación de nutrientes en hoja de olivar expresados en porcentaje de materia seca

Elemento (%)	Deficiente	Adecuado	Tóxico
Nitrógeno (N)	1,20	1,30-1,70	> 1.70
Fósforo (P)	0,05	0,10-0,30	-
Potasio (K)	0,40	> 0,80	-

En primer lugar, es importante especificar que la riqueza de los abonos, por normativa, se expresa como porcentaje de N, P_2O_5 y K_2O, aunque esto no implica que químicamente estén formulados según esa forma. Las recomendaciones de fertilizante a aplicar, en caso de que sea necesario, serán calculadas, por tanto, en dichas unidades.

El **nitrógeno** es el elemento que más influye en el crecimiento y rendimiento de todos los cultivos y, por tanto, del olivar. Además, se trata de su mayor componente nutritivo. Es por ello, por lo que en el olivar, tradicionalmente, se realizaba al menos una aportación anual de nitrógeno de mantenimiento. Sin embargo, diferentes trabajos han demostrado que dicha aplicación puede no solo ser innecesaria, pues no mejoraría su rendimiento productivo, sino que, además, puede ocasionar diferentes perjuicios como retraso en la maduración de los frutos, mayor sensibilidad a las heladas y a las enfermedades o contaminación. Es importante especificar también que, de forma frecuente, en suelos medianamente fértiles y debido a las bajas extracciones del elemento por la cosecha y la poda y gracias a las aportaciones de nitrógeno por el agua de lluvia y la mineralización de la materia orgánica, las necesidades de nitrógeno en muchas ocasiones son escasas (Fernández-Escobar, 2017). Por eso, el plan de fertilización solo se programará cuando se haya detectado que existe una deficiencia de nitrógeno. En el caso de que se detecte, se recomienda empezar aplicando 0,5 kg N/árbol, siempre sin superar los 150 kg N/ha.

El nitrógeno suministrado por parte del agua residual tratada que se emplea para riego puede contener nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+), nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) y nitrógeno orgánico. Este nitrógeno suministrado en el agua residual se añade al nitrógeno que se encuentra en el suelo. La mayor parte del nitrógeno en el suelo (entre 97-99%) se encuentra en forma orgánica (Foth,1985). Sin embargo, para que el nitrógeno pueda ser asimilado por el olivo ha de estar en forma de nitrato o amonio. En Andalucía, se estima que, en términos generales, entre el 1 y 4% del nitrógeno orgánico contenido en el suelo

se transforma anualmente en amonio y nitrato, lo que cubriría una parte importante de las extracciones por parte del cultivo. Este porcentaje dependerá, entre otros factores, de la textura del suelo, la cantidad de materia orgánica del mismo, las condiciones de temperatura y humedad, el manejo, etc. Por ello, como solo una pequeña parte del nitrógeno orgánico suministrado por el agua se trasformará en una de las formas asimilables para el cultivo, esta se considera una cantidad despreciable, asumiendo como entradas a través del agua únicamente las formas de nitrato y amonio.

El **fósforo** es un elemento importante en la nutrición del olivo. Este interviene en procesos importantes como la aceleración de la maduración o la mejora de la floración y el cuajado del fruto. Sin embargo, el olivar, debido a la baja extracción de este elemento y a la facilidad de reutilización del mismo, no suele tener problemas de deficiencias de fósforo. Sin embargo, puede haber casos con suelos pobres en fósforo que provoquen deficiencia de este elemento en el olivar. En ese caso, sería recomendable aplicar 0,5 kg de P_2O_5/árbol.

Finalmente, el **potasio** es un elemento especialmente importante en la nutrición del olivar, pues es el elemento que mayor se extrae anualmente. Por ello, la deficiencia de potasio suele ser un problema frecuente en el olivar. El potasio es necesario en el transporte de azúcares y en la transpiración de la planta, pues interviene en la apertura y cierre de estomas. Las deficiencias de potasio son difíciles de corregir, por lo que se aconseja aplicar este nutriente cuando los niveles alcancen niveles bajos, antes de llegar a deficiencia. En esos casos es recomendable aplicar 1kg de K_2O/árbol.

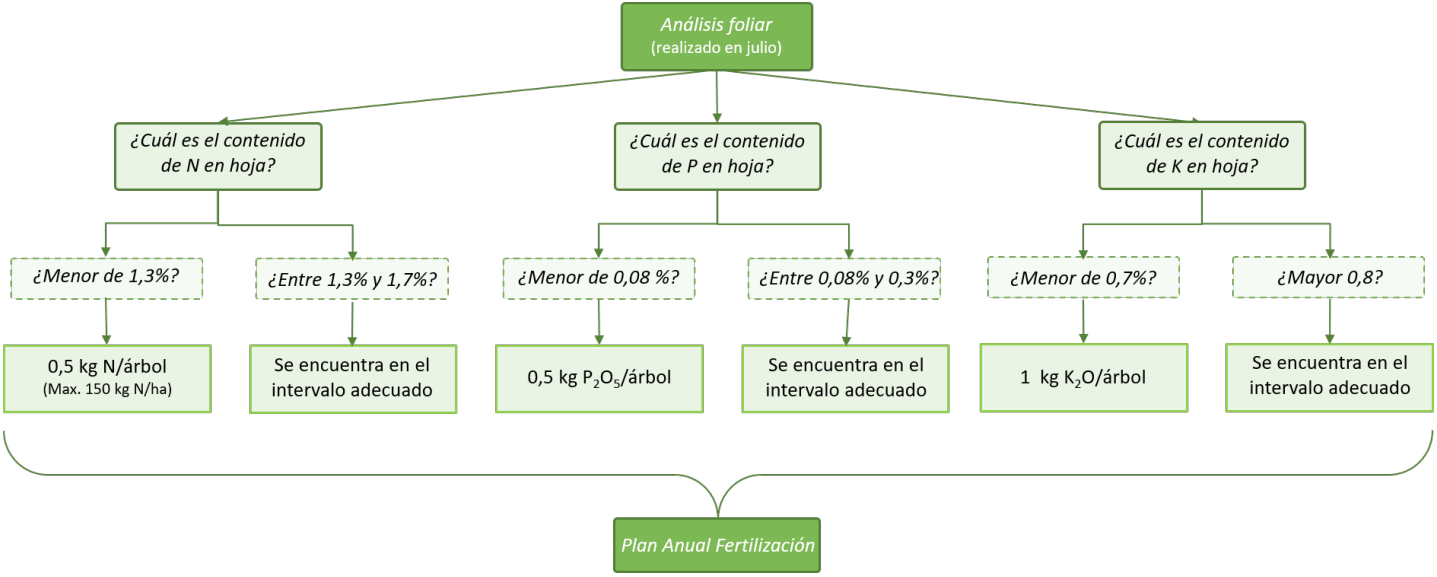


Figura 6. Esquema de decisión de la fertilización

La cantidad de fertilizante anual se distribuirá a lo largo de la campaña de riego, haciéndose coincidir con los eventos de riego. Se intentará seguir la distribución que se observa en la Tabla 6 (adaptada de García García, 2009), pero se irá actualizando acorde con la evolución de la campaña de riego. Es recomendable que la solución fertilizante se encuentre en el agua de riego con una concentración entre 0,2-0,4 L/m^3, y siempre sin superar 0,7 L/m^3. La cantidad de fertilizante inicialmente calculada se irá actualizando dependiendo de la cantidad de nutrientes que se apliquen mediante el agua de riego. Es decir, al plan anual inicialmente programado se le irá restando la cantidad de nutrientes que ya contenga el agua. La calidad del agua, en el caso de tratarse de agua regeneradas que proviene de municipios, cambia de manera considerable a lo largo de la campaña de riego. Por ello, es muy importante realizar análisis de calidad de agua de forma periódica, siguiendo el procedimiento explicado en la sección 2.1.

Tabla 6. Distribución de aportaciones mensuales de nutrientes en fertirrigación (%)

Mes	N	P_2O_5	K_2O
Abril	5,00	4,50	2,30
Mayo	24,3	19,1	11,5
Junio	24,3	19,1	11,5
Julio	23,2	19,1	24,1
Agosto	12,2	19,1	25,3
Septiembre	11,0	19,1	25,3

Ejemplo

Calcular la programación de fertilizante a aplicar enuna Comunidad de Regantes de olivar adulto situado en Montilla para la semana del 3 al 6 de junio de 2019. Los datos de la son los siguientes:

- Marco de plantación: 8 x 8 m
- Análisis foliar (porcentaje de materia seca):
  - Nitrógeno: 2,0 %
  - Fósforo: 0,15%
  - Potasio: 0,65%
- Análisis de calidad del agua:
  - $N\text{-}NH_4^+$: 12,2 mg/l
  - $N\text{-}NO_3^-$: 1,7 mg/l
  - $P\text{-}PO_4^{3-}$: 0,2mg/l
  - K : 25mg/l

En primer lugar, se establece el Plan Anual de Fertilización. En este caso, si comparamos el contenido de nutrientes en las hojas con la Tabla 4, de interpretación de los análisis foliares, se puede decir:

- El contenido de N en hoja se encuentra en un intervalo un poco alto, lo que puede ocasionar ciertos problemas. Por ello, en la siguiente campaña, no se aplicará N. Con el nitrógeno aportado por el agua de riego y el agua de lluvia se cubrirán las extracciones de la campaña.
- El contenido de P en hoja se encuentra en el intervalo adecuado. Por tanto, para la siguiente campaña no es necesario aplicar P de forma adicional.

- El contenido de K en hoja se encuentra un poco por debajo del rango adecuado, es por esto, por lo que es necesario programar la aplicación de K en la siguiente campaña. En concreto se deben aplicar:

$$Número\ de\ árboles = \frac{10.000\ m^2/ha}{8m \cdot 8m} = 156\ árboles/ha$$

$$Cantidad\ de\ K_2O = 156\ árboles/ha \cdot 1\ kg\ K_2O/árbol = 156\ kg/ha$$

Por tanto, el plan anual es:

	N	P_2O_5	K_2O
Cantidad (kg)	0	0	156

A continuación, nos centramos en la semana que nos interesa programar. Al tratarse del mes de junio de 2019, en el que hay 18 días de riego, teóricamente sería necesario aplicar:

Aplicación mensual = 156 kg · 0,115 = 18 kg K_2O en junio

Aplicación diaria = 18 kg/18 eventos de riego = 1kg K_2O por evento

Cada kg de K_2O tiene 0,83 kg de K. Sabiendo la cantidad de agua aplicada, se calcula qué cantidad de K se está aplicando con cada riego de la siguiente forma, por ejemplo, para el martes 4/5/19:

25 mg/l K · 20.000l= 500.000 mg = 0,50 kg K

Se hace lo mismo para toda la programación de riego de esa semana:

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
Riego (L/ha)	0	20.000	0	20.000	0	40.000	40.000
K aplicado con agua (kg)	0	0,50	0	0,50	0	1,0	1,0

En la última tabla se observa que sábado y domingo se cumple con la programación prevista de fertilizante solo gracias a la cantidad de K aportada por el agua. En el caso del martes y jueves se tendrían que aplicar 0,5 kg/ha de K, es decir, 0,60 kg/ha de K_2O, adicionales. Por tanto, la programación de la fertilización para la semana del 3 al 6 de junio es:

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
Fertilizante K_2O (kg/ha)	0	0,60	0	0,60	0	0	0

Para saber la cantidad que se aplica además con el agua de N y P, se procede de la siguiente forma:

- Cantidad $N\text{-}NH_4^+ \cdot 0,78 = 12,2$ mg/l $\cdot 0,78 = 9,5$ mg/l N.
- Cantidad $N\text{-}NO_3^- \cdot 0,23 = 1,7$ mg/l $\cdot 0,23 = 0,4$ mg/l N
- Total de N = 9,5 + 0,4 = 9,9 mg/l de N
- Cantidad de $P\text{-}PO_4^{3-} \cdot 0,32 = 0,2 \cdot 0,32 = 0,064$ mg/l P

Si se considera la cantidad de agua que se va a aplicar esa semana, se obtiene:

	L	M	X	J	V	S	D
	3/6/19	4/6/19	5/6/19	6/6/19	7/6/19	8/6/19	9/6/19
Riego (L/ha)	0	20.000	0	20.000	0	40.000	40.000
N aplicado con agua (kg)	0	0,20	0	0,20	0	0,40	0,40
P aplicado con agua (kg)	0	0,001	0	0,001	0	0,003	0,003
K aplicado con agua (kg)	0	0,50	0	0,50	0	1,0	1,0

3. Aplicación móvil *REUTIVAR-App*

La aplicación *REUTIVAR-Appv1.0. Beta* está creada para dispositivos Android y se puede descargar de forma gratuita en el *Play Store* de nuestro terminal.

Esta aplicación permite realizar una programación de fertirriego óptima para el cultivo del olivar regado con aguas regeneradas. La *v1.0.Beta* de *REUTIVAR-App*, desarrollada por la Universidad de Córdoba, es una aplicación de libre difusión en versión de prueba. Así, el equipo creador de *REUTIVAR-App* no se hace responsable de los posibles errores ni del mal uso del programa.

3.1. Identificación del usuario

La primera vez que el usuario ejecute la aplicación tendrá que identificarse mediante un 'Nombre de Usuario' y 'Contraseña' y pulsar 'REGISTRAR'.

Una vez registrado o en caso de que el usuario ya esté registrado, simplemente tendrá que pulsar el botón de 'INICIAR SESIÓN'.

3.2. Nueva Programación

Si es la primera vez que el usuario inicia sesión o si desea crear una nueva programación, el usuario debe seguir los pasos que se describen a continuación. Cuando es la primera vez que el usuario inicie sesión, esta pantalla aparecerá de forma automática. En caso contrario, para crear una nueva programación, el usuario debe acceder al menú lateral y pulsar en 'Nueva Programación'. En cualquier caso, el usuario tendrá que añadir los datos particulares de la plantación, para lo cual deberá introducir datos sobre la finca, el sistema de riego y la fertilización.

3.2.1. Finca

Para la creación de la finca, aparecerá la pantalla que se muestra en la Figura 3. En esta pantalla el usuario simplemente tendrá que introducir:

1. El *nombre de la finca* en la cual se va a realizar la programación del riego.
2. La *localización* de dicha finca, a partir de la cual, la aplicación de forma automática va a seleccionar la estación agroclimática más cercana.
3. La *dotación concedida* para su cultivo, a la cual se ajustará la programación de riego en la campaña de riego.

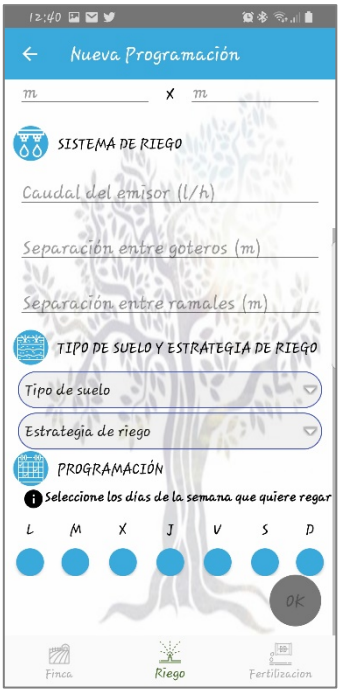
Una vez introducida esta información, el usuario debe pulsar el botón 'OK' y de esta forma se guardará la información.

3.2.2. Sector de riego

En esta pantalla, el usuario debe introducir los datos del sector de riego. La información que debe ir introduciendo es la siguiente:

1. El *nombre del sector* de riego.
2. El *área* que ocupa dicho sector. Este dato se debe introducir en hectáreas.
3. El *marco de plantación*, es decir, la distancia a la que están separados los árboles en metros.
4. Para el *sistema de riego* el usuario debe introducir los datos de:
    a. Caudal del gotero en l/h
    b. Separación entre goteros en m.
    c. Separación entre ramales en m.
5. En el *tipo de suelo* el usuario podrá seleccionar entre varias opciones disponibles o podrá introducir los datos particulares del tipo de suelo de su finca:
    a. Arenoso
    b. Franco-Arenoso
    c. Franco
    d. Franco-Arcilloso
    e. Arcilloso-Limoso
    f. Arcilloso
    g. Mi suelo. En esta opción, si el usuario tiene información acerca de la textura de su suelo, podrá introducirla eligiendo esta opción. Para ello tiene que introducir el valor de:
        i. Capacidad de Campo (CC) en cm^3/cm^3.
        ii. Punto de Marchitez Permanente (PMP) en cm^3/cm^3.

6. En cuanto a la *estrategia de riego*, el usuario tendrá la posibilidad de elegir tres estrategias de riego:
    a. Riego Completo. Esta opción calcula las recomendaciones para cubrir el total de las necesidades del olivar.
    b. Riego Deficitario Controlado (recomendado). Ésta es la opción recomendada pues se ha comprobado que es la que mejores resultados productivos alcanza en el riego del olivar. Consiste repartir de forma variable la cantidad de agua asignada a lo largo de la campaña de riego, aportando mayor cantidad de agua en los momentos en los que el olivo es más sensible a la falta de agua.
    c. Riego Deficitario Sostenido. En esta opción, se aplica un porcentaje al total de las necesidades del olivar. Este porcentaje lo puede elegir manualmente el usuario.



Todas estas estrategias están limitadas a la dotación. Por lo que, en los casos que así lo requieran, independientemente de la estrategia, el total de riego aplicado se adaptará de forma que se cumpla la dotación asignada.

7. Los *días de riego*, es decir, los días de la semana que se quiere realizar el riego.

Una vez introducida esta información, el usuario debe pulsar el botón 'OK' y de esta forma se guardará la información.

3.2.3. Fertilización

Para llevar a cabo el plan de fertilización es indispensable que sea realicen una serie de análisis. Los datos que se deben introducir son:

1. *Análisis de suelo* (opcional). La introducción de esta información ayudará a la precisión del modelo, pero no será indispensable para el cálculo del plan de fertilización. Los datos que debe introducir son:
    a. Nombre de la muestra.
    b. pH.
    c. Conductividad eléctrica (CE) en dS/m.
    d. Fósforo en mg.
    e. Potasio en mg.

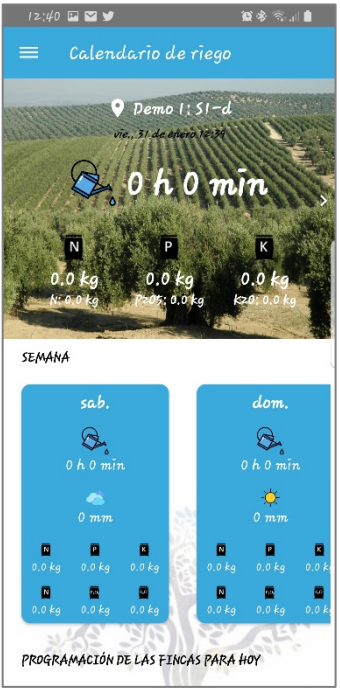
2. *Análisis foliar.* Esta información es obligatoria para el cálculo de la cantidad de fertilizante a aplicar. Los datos que se deben introducir en la aplicación son:
    a. Nombre de la muestra.
    b. Nitrógeno en g/100g.
    c. Fósforo en g/100g.
    d. Potasio en g/100g.
3. *Análisis de calidad de agua*. Esta información es también indispensable para el caso de aguas regeneradas. Los datos que se deben introducir en la aplicación son:
    a. Nombre de la muestra.
    b. N-NH_4^+ en mg/L.
    c. N-NO_3^- en mg/L.
    d. P-PO_4^{3-} en mg/L.
    e. K en mg/L

Una vez introducida esta información, el usuario debe pulsar el botón ‘OK’ y de esta forma se guardará la información.

3.3. Pantalla principal

Al finalizar la nueva programación o cada vez que el usuario inicie sesión, siempre que no sea la primera vez, el usuario verá la pantalla principal. Esta pantalla está dividida en tres partes diferenciadas:

1. Recomendación para el día de hoy. En esta parte de la pantalla se ofrecen las recomendaciones de riego y fertilizante para el día de hoy.
2. Recomendación para la semana actual. En esta parte el usuario tendrá información sobre las recomendaciones de riego y fertilización para toda la semana, así como la cantidad de lluvia prevista para esos días.

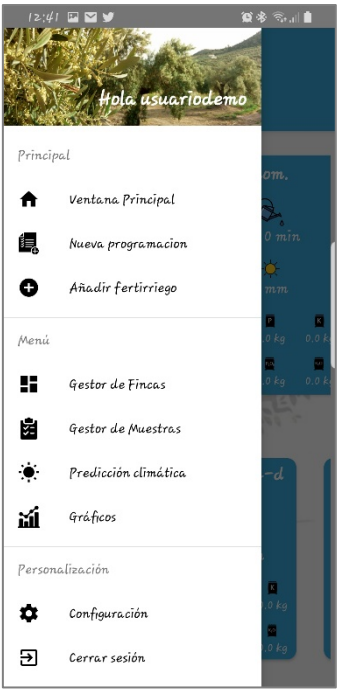


3. Recomendación del resto de sectores. En la parte final de la pantalla, el usuario podrá observar las recomendaciones de fertirriego para el día de hoy de todos los sectores creados. En el caso de que quiera información más detallada o las recomendaciones semanales, debe deslizar lateralmente la pantalla.

3.4. Menú lateral

A partir del menú lateral, el usuario puede acceder a las diferentes pantallas de la aplicación. En concreto puede acceder a:

1. La pantalla principal.
2. Nueva programación.
3. Añadir fertirriego.
4. Gestor de fincas.
5. Gestor de muestras.
6. Predicción climática.
7. Gráficos.
8. Cerrar sesión.



3.5. Registro de fertirriego

El usuario puede añadir, de forma manual, el manejo real que se ha llevado a cabo en la finca en este apartado. Para hacerlo, desde el menú lateral debe pulsar 'Añadir fertirriego'. A continuación, tiene que seguir el siguiente procedimiento:

1. Selección del sector. El usuario tiene que elegir en cuál de los sectores que ha creado se ha realizado el fertirriego.
2. Selección de fecha. Se elige la fecha en la que se quiere registrar el fertirriego. Para cambiar de mes, se deben pulsar las flechas laterales.
3. Tiempo de riego. El usuario elige el tiempo de riego que ha aplicado para la fecha seleccionada en horas y minutos.
4. Cantidad de fertilizante. El usuario tiene que introducir, en kilogramos (kg), la cantidad de fertilizante que ha aplicado de nitrógeno (N), óxido fosfórico (P_2O_5) y óxido potasio (K_2O).

El óxido fosfórico y óxido de potasio son las formas moleculares en las que normalmente vienen los fertilizantes convencionales. Cuando se habla de 'N-P-K', P y K, realmente se refieren a estos compuestos.

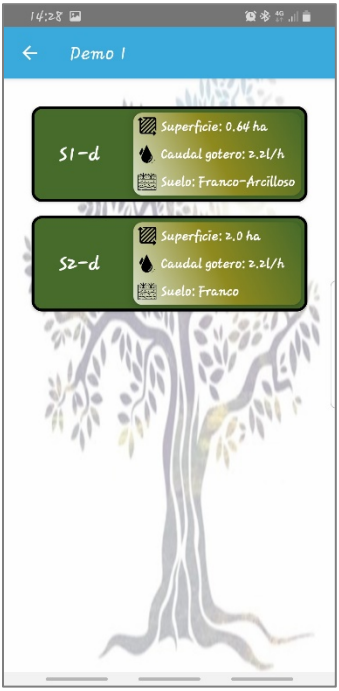
3.6. Gestor de fincas

En el gestor de fincas, el usuario puede consultar, copiar o modificar la información de cada sector de riego. Para acceder a este gestor, desde el menú lateral, se debe pulsar en 'Gestor de fincas'. Para acceder a las diferentes pantallas, el usuario puede pulsar en los iconos situados en la parte inferior de la pantalla o deslizar el dedo lateralmente.

3.6.1. Programaciones

Este apartado es de consulta. En la primera pantalla podemos encontrar dos partes diferenciadas:

1. Resumen. En la parte superior de la pantalla, se puede ver un resumen del total de fincas, sectores de riego y programaciones creados.
2. Fincas. Seguidamente, se encuentran todas las fincas creadas y sus principales características, así como el número de sectores de riego que hay en cada una. Si se pulsa en una de ella, se pueden ver todos los sectores de riego que hay asignados a esa finca y un pequeño resumen de los mismos. Si se pulsa en un sector de riego en concreto, se pueden observar todas las características del sector de riego seleccionado.



3.6.2. Copiar

En este apartado, a partir de una programación ya creada, el usuario puede crear una nueva programación solo cambiando los datos que considere oportunos. Para ello, se presentan todos los sectores de riego creados y un resumen de sus características. El usuario solo tendrá que pulsar el sector de riego con las características más parecidas al nuevo sector de riego que quiera crear. A continuación, aparecerá la pantalla de 'Nueva Programación' pero con la información de la finca y el sector ya incluidos. El usuario solo tiene que cambiar los datos que le interese y guardar.

3.6.3. Modificar

En esta pantalla, el usuario puede cambiar el nombre de la finca y/o sectores de riego creados. Para ello, se presentan todos los sectores de riego creados y un resumen de sus características. El usuario debe pulsar el sector que quiera modificar y aparece la opción de cambiar el nombre de la finca o del sector de riego.

3.7. Gestor de muestras

En el gestor de muestras, el usuario puede consultar y/o gestionar las muestras de cada sector. Para acceder al gestor de muestras, tiene que pulsar 'Gestor de muestras' desde el menú lateral. Una vez en esta pantalla, el usuario debe seleccionar el *sector de riego*que quiera. Una vez elegido, de cada tipo de análisis (suelo, foliar o de calidad de agua) podrá:

1. Añadir una nueva muestra. Para ello, debe pulsar en añadir datos muestras en el apartado de tipo de análisis que quiera.
2. Modificar. El usuario debe pinchar en la muestra que quiere y cambiar los datos que quiere.
3. Eliminar. Para ello, debe seleccionar la muestra que desee eliminar y deslizar hacia la derecha.

3.8. Predicción climática

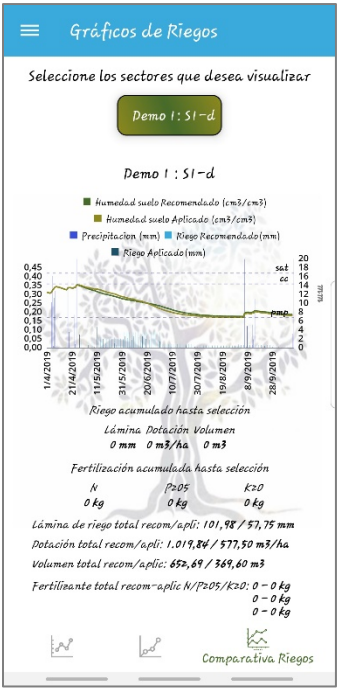
Las predicciones climáticas ya están incorporadas en las recomendaciones de riego. No obstante, el usuario podrá consultarlas cada vez que lo desee (Figura 16). Para ello, desde el menú lateral debe pulsar en 'Predicción climática'. El usuario accederá a una pantalla donde puede observar la predicción de lluvia y temperaturas para toda la semana del sector seleccionado. Para conocer la predicción del resto de fincas, solo tiene que deslizar la pantalla lateralmente o pulsar en la flecha.

3.9. Gráficos

Para acceder a esta sección, desde el menú lateral, el usuario tiene que pulsar en 'Gráficos'. En ese momento, podrá elegir entre varias opciones de representación gráfica. Para seleccionar otra opción se pueden pulsar los iconos situados en la parte inferior de la pantalla o deslizar lateralmente. En todas ellas, puede observar la evolución desde el inicio de la campaña de riego de diferentes características. Las diferentes opciones disponibles son:

1. Riego recomendado. En esta opción el usuario puede observar el fertirriego óptimo recomendado por la aplicación desde el inicio de la campaña de riego.

2. Riego aplicado. En esta opción, el usuario puede observar el fertirriego que se ha llevado a cabo considerando el manejo real de la finca. Para habilitar esta opción, el usuario debe añadir de forma manual el fertirriego que se ha realizado.
3. Comparativa Riegos. En esta opción, se muestra una comparativa entre el fertirriego óptimo recomendado por la aplicación y el manejo real llevado a cabo en la finca.



La información que aparece en todas las pantallas es la siguiente:

1. Gráfico de la campaña de riego. En él se pueden observar la lámina de riego (mm), la precipitación (mm) y el contenido de agua en el suelo (cm^3/cm^3). Este gráfico se puede ampliar con los dedos tanto como el usuario desee. Además, también aparece, según el tipo de suelo, cuál es su Saturación (SAT), Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP).

El punto de marchitez permanente es el punto de humedad mínima a partir del cual la planta no puede seguir extrayendo agua y no puede recuperarse de la pérdida hídrica.

2. Fertirriego acumulado hasta la selección. El usuario podrá seleccionar el día que desee y tener información del acumulado de:
    a. Lámina de riego aplicada hasta ese día (mm).
    b. Dotación consumida hasta ese momento (m^3/ha).

c. Volumen de riego aplicado hasta este momento (m^3).
d. Nitrógeno aplicado hasta la selección (kg).
e. Fósforo aplicado hasta la selección (kg).
f. Potasio aplicado hasta la selección (kg).
g. Nitrógeno aplicado hasta la selección con el agua(kg).
h. Fósforo aplicado hasta la selección con el agua (kg).
i. Potasio aplicado hasta la selección con el agua (kg).

3. Fertirriego total acumulado. El usuario tendrá información sobre el total acumulado de:
   a. Lámina de riego total aplicada (mm).
   b. Dotación total consumida (m^3/ha).
   c. Volumen de riego total de riego aplicado (m^3).
   d. Nitrógeno total aplicado (kg).
   e. Fósforo total aplicado (kg).
   f. Potasio total aplicado (kg).
   g. Nitrógeno total aplicado con el agua (kg).
   h. Fósforo total aplicado con el agua (kg).
   i. Potasio total aplicado con el agua (kg).

4. Aplicación para ordenador *REUTIVAR-PC*

La aplicación *REUTIVAR-PCv1.0.Beta* está creada para dispositivos Windows. Esta aplicación permite realizar una programación de fertirriego óptima para el cultivo del olivar regado con aguas regeneradas. La *v1.0.Beta* de *REUTIVAR-PC*, desarrollada por la Universidad de Córdoba, es una aplicación de libre difusión en versión de prueba. Así, el equipo creador de *REUTIVAR-PC* no se hace responsable de los posibles errores ni del mal uso del programa.

4.1. Datos de entrada

La primera vez que el usuario acceda al programa aparecerá la pantalla representada en la Figura 8.

1. El *nombre de la finca* en la cual se va a realizar la programación del riego.
2. La *localización* de dicha finca, a partir de la cual, la aplicación de forma automática va a seleccionar la estación agroclimática más cercana.
3. La *dotación concedida* para su cultivo, a la cual se ajustará la programación de riego en la campaña de riego.
4. El *área* que se desea regar. Este dato se debe introducir en hectáreas.
5. El *marco de plantación*, es decir, la distancia a la que están separados los árboles en metros.
6. Para el *sistema de riego* el usuario debe introducir:
    a. Caudal del gotero en litros por hora.
    b. Separación entre goteros en metros.

   c. Separación entre ramales en metros.

7. En el *tipo de suelo* el usuario podrá seleccionar entre varias opciones disponibles o podrá introducir los datos particulares del tipo de suelo de su finca:
   a. Arenoso
   b. Franco-Arenoso
   c. Franco
   d. Franco-Arcilloso
   e. Arcilloso-Limoso
   f. Arcilloso
   g. Mi suelo. En esta opción, el usuario puede introducir los valores concretemos de su suelo, introduciendo:
      i. Capacidad de Campo (CC) en cm^3/cm^3.
      ii. Punto de Marchitez Permanente (PMP) en cm^3/cm^3.
8. En cuanto a la *estrategia de riego*, el usuario tendrá la posibilidad de elegir tres estrategias de riego:
   a. Riego Completo. Esta opción calcula las recomendaciones para cubrir el total de las necesidades del olivar.
   b. Riego Deficitario Controlado (recomendado). Ésta es la opción recomendada pues se ha comprobado que es la que mejores resultados productivos alcanza en el riego del olivar. Consiste repartir de forma variable la cantidad de agua asignada a lo largo de la campaña de riego, aportando mayor cantidad de agua en los momentos en los que el olivo es más sensible a la falta de agua.
   c. Riego Deficitario Sostenido. En esta opción, se aplica un porcentaje al total de las necesidades del olivar. Este porcentaje lo puede elegir manualmente el usuario.

Todas estas estrategias están limitadas a la dotación. Por lo que, en los casos que así lo requieran, independientemente de la estrategia, el total de riego aplicado se adaptará de forma que se cumpla la dotación asignada.

9. Los *días de riego*, es decir, los días de la semana que se quiere realizar el riego.
10. *Análisis foliar.* Esta información es obligatoria para el cálculo de la cantidad de fertilizante a aplicar. Los datos que se deben introducir en la aplicación son:
    a. Nitrógeno en g/100g.
    b. Fósforo en g/100g.
    c. Potasio en g/100g.
11. *Análisis de calidad de agua*. Esta información es también indispensable para el caso de aguas regeneradas. Los datos que se deben introducir en la aplicación son:
    a. $N\text{-}NH_4^+$ en mg/L.
    b. $N\text{-}NO_3^-$ en mg/L.
    c. $P\text{-}PO_4^{3-}$ en mg/L.
    d. K en mg/L.

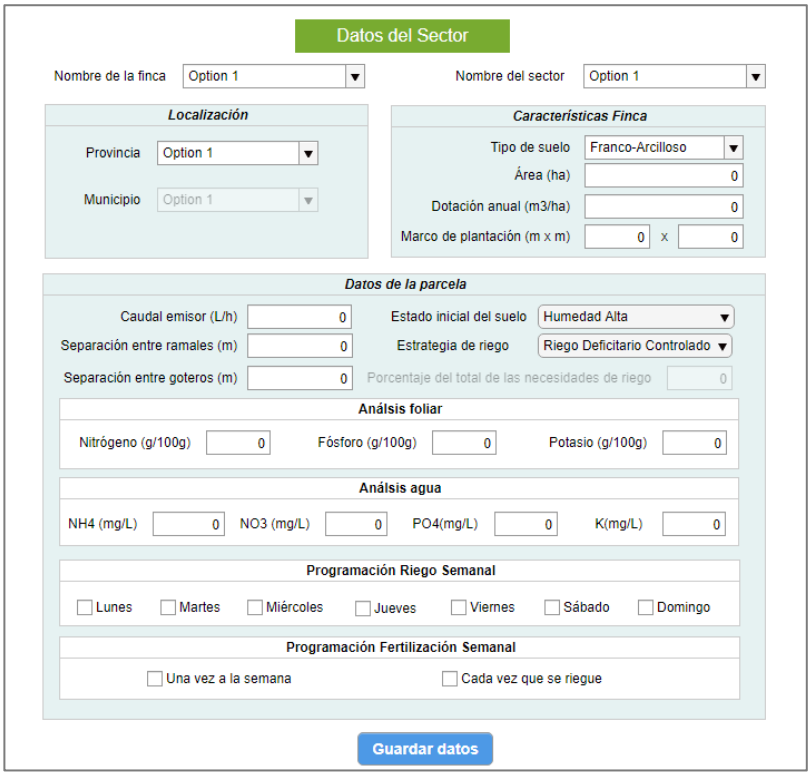


Figura 7. Pantalla *REUTIVAR-PC* para introducir los datos de entrada

4.2. Pantalla de resultados

Una vez que el usuario haya añadidos sus datos, el usuario tendrá acceso a los datos que se muestran en la Figura 8. La pantalla de resultados está dividida en dos partes principales: *Previsión meteorológica* y *Programación de Fertirriego.* En la parte de *Previsión meteorológica,* el usuario puede ver un resumen de la predicción de lluvia y temperaturas máxima, mínima y media para la semana. En la parte de *Programación de Fertirriego* el usuario podrá consultar las recomendaciones óptimas de riego y

fertilizante a aplicar para la próxima semana, considerando los datos climáticos obtenidos de la predicción. Además, el usuario puede ver una simulación del contenido de agua en el suelo para esa semana. La aplicación se actualiza una vez al día, pero en el caso de que se quiera actualizar de forma manual, simplemente tendrá que pulsar el botón 'Actualizar'. El usuario podrá además modificar los datos introducidos previamente, pulsando el botón 'Modificar datos', que lo llevará de nuevo a la pantalla mostrada en la Figura 7. Por último, el usuario puede visualizar las recomendaciones realizadas desde el inicio de campaña, pulsando el botón 'Evolución Campaña'.

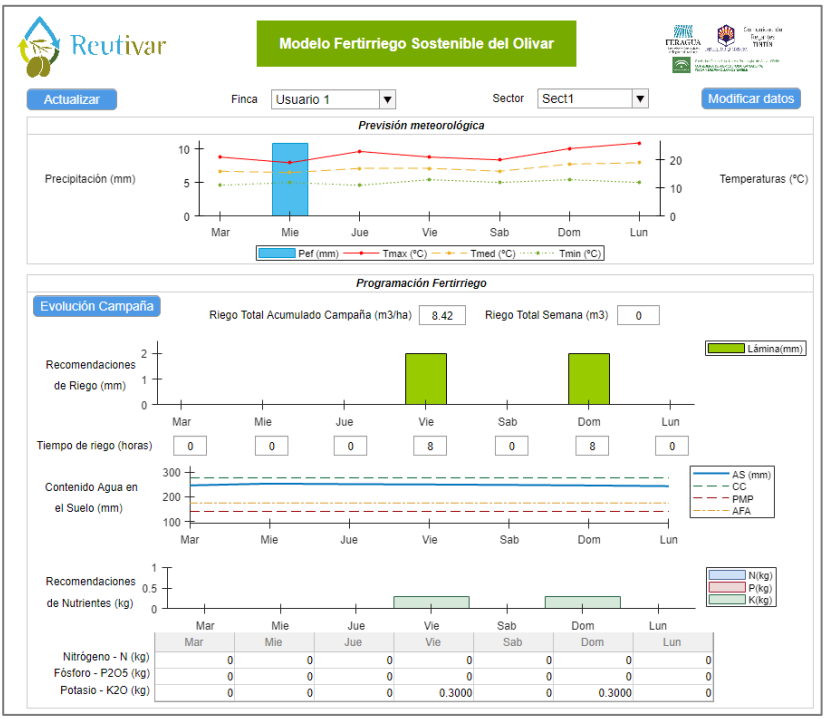


Figura 8. Pantalla de resultados *REUTIVAR-PC*

5. Bibliografía

Allen, R.G., 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper Crop by. Irrig. Drain. 300, 300. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001

APHA-AWWA-WPCF, 1989. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 17 Edition. ISBN:087553-161-X

Bralts, V.F., Kesner, C.D., 1983. Drip Irrigation Field Uniformity Estimation. Trans. ASAE 26, 1369–1374.

Fereres, E., Pruitt, W.O., Beutel, J.A., Henderson, D.W., Holzapfel, E., Shulbach, H., Uriu, K., 1981. ET and drip irrigation scheduling, in: Drip Irrigation Management. California (USA). University of California. Div. of Agric.Sci., pp. 8–13.

Fernández-Escobar, R., 2017. Fertilización, in: El Cultivo Del Olivo. pp. 419–460.

Foth, H. D., 1985. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. CESA

García García, C., 2009. Abonado del olivar, in: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (Ed.), Guía Práctica de La Fertilización Racional de Los Cultivos En España. Parte II. Abonado de Los Principales Cultivos En España. Madrid, Spain.

Orgaz, F., Fereres, E., 2001. El Riego, in: Junta de Andalucía, Ediciones Mundi-Prensa (Eds.), El Cultivo Del Olivo. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Spain, pp. 285–306.

Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas residuales depuradas. Minsiterio de la Presidencia. Madrid.

Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. Diario Oficial de la Unión Europea.

MANUAL PARA LA PROGRAMACIÓN DEL

FERTIRRIEGO DE PRECISIÓN DEL OLIVAR CON AGUAS REGENERADAS

Reutivar