



Centro: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes.
Plan: Grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural.
Evidencia: C6_E39_Ejemplo TFG con la calificación más alta y más baja_
Grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural.

Alumno	Título	Nota	Director/es	Área
Guillermo Salvador García Lovera (2020/2021)	Desarrollo de una aplicación de escritorio para uso de servicios cloud de teledetección	10 (Matrícula de Honor)	Francisco Javier Mesas Carrascosa (Titular Universidad) Fernando Pérez Porras (Prof. Sustituto Interino)	Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría
Francisco Vacas Carrillo (2020/2021)	Proyecto de diseño de 3,77 ha de olivar intensivo en riego por goteo en la finca "La Heredad" en el T.M. de Villa del Río (Córdoba)	6 (Aprobado)	Emilio Camacho Ruiz (Catedrático Universidad) Rafael González Perea (Investigador Universidad Castilla la Mancha)	Ingeniería Hidráulica



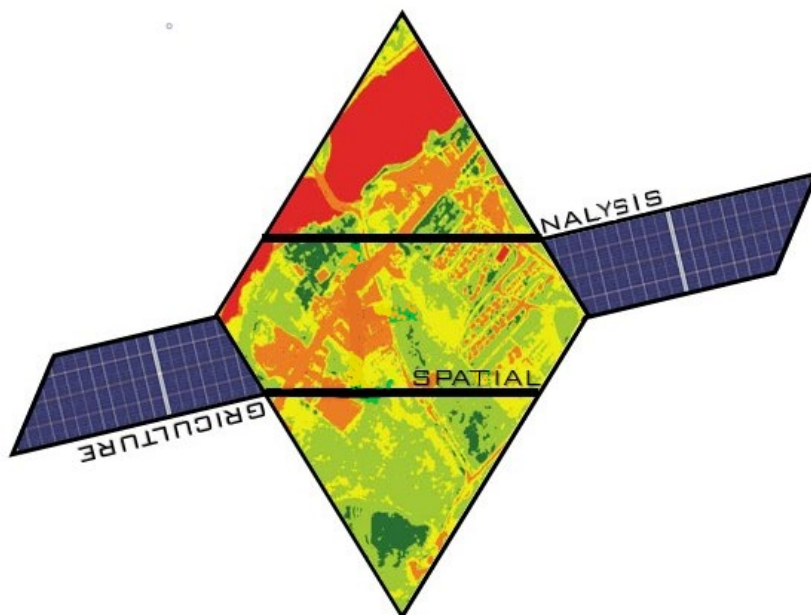
AM
ETSIAM

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA AGRONOMICA Y MONTES
GRADO EN INGENIERIA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL (INGENIERIA RURAL)

TRABAJO FIN DE GRADO

GUILLERMO SALVADOR GARCIA LOVERA



Desarrollo de una aplicación de escritorio para uso de servicios cloud computing de teledetección

"SPATIAL ANALYSIS OF AGRICULTURE"

Dirigido por:

Dr. Francisco Javier Mesas Carrascosa

Dr. Fernando Pérez Porras

Desarrollo de una aplicación de escritorio para uso de servicios cloud computing de teledetección

Memoria Trabajo Fin de Grado presentado por

Guillermo Salvador García Lovera

Dirigido por

Dr. Francisco Javier Mesas Carrascosa

Dr. Fernando Pérez Porras

Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes.

Universidad de Córdoba

Córdoba, julio de 2021

RESUMEN

En la transformación digital del sector agroalimentario, la utilización de herramientas informáticas y sensores es una práctica en auge y cada vez más utilizadas por agricultores y empresas de servicios. No obstante, acercar estas tecnologías a este perfil de usuario resulta una tarea compleja, si bien necesaria, por las innumerables ventajas que aportan. Así, hoy día se disponen de tecnologías y recursos que permiten agilizar tareas de seguimiento y monitorización de cultivos. En este contexto, muchas de las herramientas o servicios informáticos empleados requieren para su uso de un nivel avanzado en programación fuera del alcance del conocimiento de muchos de estos usuarios e incluso empresas, necesitando del desarrollo de pasarelas de acceso amigable para su uso. Estas permiten que de forma sencilla el usuario final haga una explotación de estos servicios de forma adaptada y adecuada a sus necesidades.

Así, por ejemplo, servicios *cloud computing* como Google Earth Engine permiten acceder a un amplio catálogo de escenas de satélite, siendo el usuario quien tiene que desarrollar mediante código la lógica para la explotación y uso de estas escenas. Como resultado, este modo de trabajo, si bien ofrece innumerables ventajas no se adecua a las necesidades del cliente final. Es por esto, que el objetivo del desarrollo de este Trabajo Fin de Grado es llevar a cabo, a través del lenguaje de programación Python y en un entorno de desarrollo local, una aplicación de escritorio para la explotación de imágenes de satélite con fines agronómicos almacenadas en la nube, considerando una interfaz limpia y sencilla, de manera que pueda ponerse a disposición de agricultores o empresas de servicios agrícolas sin necesidad de tener conocimientos de programación.

El resultado del uso de esta herramienta es ayudar en la toma de decisiones en el manejo de cultivos extensivos mediante la visualización de índices de vegetación por imágenes satélites en las fechas que el usuario determine, pudiendo comparar campañas o viendo datos históricos de una parcela.

ABSTRACT

In the digital transformation of the agri-food sector, the usage of IT tools and sensors is a flourishing method which are increasingly used by farmers and agricultural service companies within the framework of digital transformation in the agricultural industry. However, bringing these technologies to this user profile is a challenging but necessary task, given the innumerable benefits they entail. Technologies and resources are nowadays available to streamline tracking tasks and field monitoring. In this light, numerous IT tools or services implemented require for their use an advanced training in programming beyond the knowledge of many of these users and even companies, which necessitates the development of user-friendly gateways for their use. These allow the final user to easily exploit these services offered in a personalized way according to his or her needs.

For example, cloud computing services such as Google Earth Engine allow the user to access a wide variety of satellite scenes, and it remains up to the user to develop the logic for the exploitation and the use of these scenes by means of code. As a result, this work method, despite offering countless benefits, it is not suitable for the final customer. Therefore, the aim of this end-of-degree project is to carry out, by means of Python Programming language and in a local development environment, a desktop application for the exploitation of image collection stored in the cloud, with a clean and simple interface, so it can be made available to farmers or companies without needing advanced knowledge of programming.

The result of use these tools is help in decision making by visualising vegetation indices from satellite images on the dates the user determines, making it possible to compare campaigns or view records of their plots of land.

Índice

Índice	
Índice de figuras.....	
1 Introducción.....	1
2 Objetivos.....	12
3 Materiales y métodos	13
3.1 Materiales empleados en la fase de programación	14
3.1.1 Herramientas para el desarrollo del modelo de negocio.....	14
3.1.2 Herramientas para el desarrollo del Front End.....	18
3.2 Diseño y arquitectura de la aplicación desarrollada	19
4 Resultados	23
4.1 Manual de usuario	24
4.2 Manual de uso básico de la aplicación para usuarios	24
5 Conclusión.....	40
Referencias bibliográficas	41
Anexo.....	44

Índice de figuras

Figura 1. Curva estándar de la reflectancia de la vegetación. (Aguilar et al., 2010).....	5
Figura 2 Esquema de tecnologías empleadas.....	13
Figura 3 Evolución de desarrolladores en lenguaje de Python, Java, Javascript, C, C++ y php. (ExecuTrain, 2018)	16
Figura 4. Diagrama de flujo de modelo de negocio.....	20
Figura 5. Captura de la sección de información para el usuario de la página web.	23
Figura 6. Ortofotografía con el croquis de situación de la parcela.....	25
Figura 7. Ventana de inicio de sesión en la aplicación.....	25
Figura 8. Ventana de inicio de sesión correcto.....	26
Figura 9. Ventana de inicio no válido.	27
Figura 10. Ventana principal de la aplicación.....	27
Figura 11. Selección del archivo de la geometría de la parcela.....	28
Figura 12. Buscador de archivos.....	28
Figura 13. Cargar archivo desde Google Drive.....	29
Figura 14. Archivo cargado con pre-visualización de la parcela.....	29
Figura 15. Selección del marco temporal	30
Figura 16. Selección del índice.....	30
Figura 17. Ventana de información sobre índices.	31
Figura 18. Botón para visualizar los resultados.	31
Figura 19. Visualización de los resultados.....	32
Figura 20. Botón siguiente.....	32
Figura 21. Mapa de evolución de NDVI.....	34
Figura 22. Gráfica de evolución del índice en la parcela.....	35
Figura 23. Cálculo del NDWI de la parcela.	36
Figura 24. Gráfica de evolución del índice NDWI del mes de febrero.....	37
Figura 25. Ventana de búsqueda de ruta para guardar.	38
Figura 26. Cuadro de diálogo de mensajes de la aplicación.	39

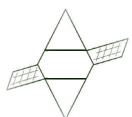
1 Introducción

El sector agroalimentario está en constante crecimiento y desarrollo. La sociedad se encuentra en un momento de cambio, y así lo demuestran las continuas investigaciones y patentes que sacan al mercado y que buscan tanto mejorar, facilitar y rentabilizar las tareas de cada campo. Aunque no es el único sector o ámbito que se encuentra inmerso en esta transformación digital, en los últimos años se ha podido presenciar un cambio notorio en lo que a la agricultura tradicional respecta.

Para entender la situación actual de la agricultura y su transformación digital se debe conocer, aunque de forma breve, como ha sido el recorrido de esta a lo largo de la historia. Y es que el sector de la agricultura lleva existiendo desde que comenzó la sociedad, hace más de 10.000 años. En cierta forma, es esta antigüedad la que hoy en día afecta a que muchos de los agricultores sigan aun arraigados a una gestión de la tierra de una forma tradicional y en ocasiones, primitiva. Aunque comenzó su evolución de forma progresiva, ha sido desde los últimos años cuando se ha podido ver el crecimiento tanto en calidad como en cantidad de la investigación y formación de las personas alrededor de la agricultura, desde las innovaciones en la forma de arado, riego, rotación de cultivos etc., hasta la revolución verde de 1960.

Además de los cambios que han sucedido a lo largo de los años, la transformación digital en el ámbito agrícola ha sido impulsada por numerosos factores influyentes como el cambio climático, la contaminación, la escasez de los recursos etc. De esta forma, el agricultor ha tenido que adaptarse y utilizar las herramientas que están a su alcance para poder realizar las tareas de una forma sostenible y optimizada. Pero no todo se basa en aspectos que tienen un impacto negativo en el medio ambiente, también aparecen aspectos positivos que han sido responsables de esta transformación, propiciando la modernización a la agricultura. De esta manera la globalización, la innovación tecnológica, las continuas investigaciones y patentes expuestas en el mercado y dadas a conocer a todo al mundo están haciendo posible este cambio. Esto lo afirman los estudios recientes sobre la transformación digital, exponiendo cómo este cambio afecta a toda la sociedad. Tal es el incremento del peso de la economía digital que, por ejemplo, el Banco mundial estima que el 48% de las personas en 2017 se encuentra de alguna manera conectada a Internet (Fernández López, 2018).

Por otro lado, distintas investigaciones dirigidas a como las empresas y particulares revelan la integración de nuevas tecnologías emergentes en el ámbito de la agricultura, está resultando muy positivo. Así, el sector ha sabido sumergirse en esta revolución digital sin dejar pasar las posibilidades que ofrece el estar conectado a la Red y las últimas innovaciones digitales (Integración Cooperativa y TIC's: Presente y Futuro, 2014), todo esto

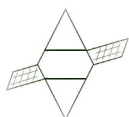


refrendado por resultados como el índice de conectividad a la Red de las cooperativas españolas, con un valor del 95% (Mozas & Bernal, 2014).

Esta transformación está acercando el uso de las Tecnologías de la Información y el Conocimiento (TIC's) a la agricultura y a todos los elementos que conforman la cadena de valor agroalimentaria. Las TICs han sido parte clave para el desarrollo rural de los últimos años, siendo la ausencia y demanda de estas uno de los principales problemas de las zonas rurales en las últimas décadas. Aun así, y sorteando estas barreras, la posibilidad de interconectar a las personas y de mantener un flujo de datos constantes a distancia en el sector, es posible mediante estas herramientas, más concretamente con las denominadas como "AgroTIC's", término acuñado en los últimos tiempos para referirse a todas las tecnologías informáticas destinadas a la agricultura y ganadería.

Entre las innumerables ventajas que se pueden encontrar en el uso de estas tecnologías, están las herramientas que hay al alcance de los usuarios y que permiten el manejo de datos remotos, la planificación para la gestión de los cultivos, los análisis de datos estadísticos, y la información que pueden aportar acerca de todo lo relacionado con el cultivo. Además, este cambio en la forma de hacer agricultura está permitiendo el desarrollo de nuevos perfiles profesionales con capacidades y competencias de otras áreas del conocimiento además de las tradicionalmente vinculadas a la agricultura.

Estas tecnologías no están enfocadas únicamente a aportar información y herramientas útiles, sino que también están destinadas a poder mejorar la realización de las tareas diarias del agricultor tradicional, permitiendo una monitorización continua de su cultivo, pudiendo saber el estado de éste en todo momento y permitiendo hacer un uso más eficiente de los recursos disponibles. La emergencia de esta nueva forma de trabajo y de la introducción de estas nuevas tecnologías desembocan en un concepto innovador, que transforma la idea que, hasta ahora se tenía sobre la agricultura, abarcando en su concepto más general hasta lo que se denomina agricultura de precisión. Este nuevo concepto de agricultura lleva consigo una nueva forma de ejecutar todas las tareas relacionadas con el ámbito agropecuario. Se crean modelos de agricultura donde se transforman los métodos de siembra, los tratamientos, la recolección, el transporte y la confección del producto final. En todos estos procesos intervienen nuevas tecnologías emergentes del momento. Algunos ejemplos de estas son los sistemas de posicionamiento por satélite, sensores medidores de pH y humedad, monitores de rendimientos, sistemas remotos de riego automatizado, etc. Por tanto, a través de esta agricultura y de la nueva Agricultura 4.0 en el escenario del manejo del cultivo, se consigue enlazar datos registrados de la planta, el suelo y/o el clima con modelos matemáticos que, entre otras ventajas, permiten predecir o estimar diferentes aspectos relacionados con el cultivo. Esta predicción sobre el estado general de la planta hace que el agricultor pueda tomar decisiones, en base a datos reales, permitiendo adelantarse a los acontecimientos y aplicar medidas correctivas. Este desarrollo de la agricultura también ha sido posible gracias al avance y mejora que han ido experimentando

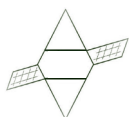


estas nuevas tecnologías emergentes. Nuevos sensores de visión, satélites con mayor resolución, vehículos aéreos y terrestres autónomos y métodos de tratamiento más avanzados.

Esta agricultura 4.0 ha sido impulsada además por factores económicos y demográficos. El aumento exponencial de la población ha hecho que se tengan que optimizar el uso de los recursos naturales que se utilizan para la producción de alimentos, así como conseguir una mayor rentabilidad del suelo y del cultivo. En este contexto, la Unión Europea prevé que la producción de alimentos deberá duplicarse para el año 2050, (Organización de las Naciones Unidas, 2020). Así, es necesario conseguir que la producción alimentaria sea lo más eficiente y rentable posible. Por esto, la optimización en la agricultura se puede enfocar desde tres puntos de vista distintos. En primer lugar, desde el punto de vista agronómico, ajustando las prácticas a las necesidades del cultivo, posteriormente el punto de vista medioambiental, mediante una actividad agrícola sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Por último, es necesario tener en cuenta el factor económico desde el cuál, se intenta aumentar la rentabilidad y hacer de la agricultura un sector competitivo y rentable. Con este enfoque se fomenta la disminución de costos, reducción del uso de insecticidas y fertilizantes, menor impacto ambiental, mayores rendimientos, mayor calidad en las cosechas, reducción de combustible en la maquinaria agrícola y la gestión optimizada de las explotaciones agrícolas.

En la agricultura 4.0 se utilizan muchas de las tecnologías que también se emplean en la industria 4.0 como, por ejemplo, sistemas y sensores de variables fisicoquímicas. Los sensores registran datos que son transmitidos en tiempo real para que, bien directamente o bien como entrada en un modelo, el agricultor sepa en todo momento cuál es la situación de sus cultivos. Además, se pueden establecer acciones de respuesta como poner en marcha un sistema de riego si se detecta que la humedad no es la óptima, activar sistemas de climatización para mantener la temperatura más adecuada en invernaderos etc. Además, los datos procedentes de sensores se pueden combinar con información relevante como la incidencia del Sol o la velocidad del viento junto con las previsiones meteorológicas para predecir que va a ocurrir o que necesidades va a tener el cultivo en los días siguientes, todo esto gracias a la analítica de datos, junto con herramientas de inteligencia artificial, estimando diferentes tipos de escenarios y adoptando las medidas más adecuadas a cada situación.

En este contexto, la Unión Europea esta llevando a cabo iniciativas como "*Internet of food & Farm 2020*" (Unión Europea, 2020), cuya principal finalidad es impulsar distintos métodos y proyectos destinados al desarrollo de dispositivos basados en el Internet de las cosas (*Internet Of the Things*, IoT) en el ámbito de la agricultura. Así, existen estrategias enfocadas a garantizar alimentos abundantes, seguros y saludables entrando en la aplicación tecnológica de la trazabilidad y procesado de estos además de fortalecer la competitividad de la agricultura y las cadenas alimentarias de Europa. En este contexto, se cuenta con un

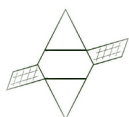


amplio abanico de tecnologías aplicables (Remco Schrijver, 2016), entre los que destacan la identificación de objetos georreferenciados, los sistemas globales de navegación por satélite, sistemas de información geográfica etc. Esto se debe a que, actualmente, dentro de esta línea de innovación y aplicación de las nuevas tecnologías en el sector de la agricultura, una de las principales herramientas que hacen posible este fenómeno de cambio y modernización es la Teledetección.

La Teledetección consiste en la adquisición de datos sin estar en contacto con el objeto estudiado. Esta supone un cambio en la forma de trabajo ya que, tradicionalmente, la toma de datos o información geográfica siempre se ha tenido que llevar a cabo de forma manual e “*in situ*”. Así, la adquisición de datos de forma remota, principalmente mediante plataformas espaciales, hace posible que no sea necesario realizar un desplazamiento, optimizando el trabajo de forma considerable. Concretamente, la Teledetección espacial, es una técnica que abarca la captura, tratamiento y análisis de imágenes desde plataformas espaciales. La adquisición de imágenes a partir de los distintos programas de observación de la Tierra aporta información periódica y actualizada del territorio en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. No obstante, aunque el uso de imágenes de satélite se empezó a usar desde los inicios de la década de los ochenta, hasta hace pocos años no se ha empleado a escala de una parcela, principalmente por las resoluciones temporales y espaciales ofrecidas. Para ello, son diversos factores, además de estos, los que están haciendo que su uso comience a ser una práctica común y en auge, permitiendo un uso más específico de esta. Por ejemplo, desde el inicio de la década de los 2000 se comienza a mejorar muy notablemente la resolución espacial y temporal. Además, en paralelo, se están incrementando el número de sensores, plataformas y software que desde hace ya dos décadas se utilizaban. Tal aspecto resulta muy importante en un uso dirigido hacia la monitorización y seguimiento de cultivos en agricultura, ya que se permite la toma de datos e información más precisa.

Ante este escenario, están apareciendo distintas aplicaciones en el sector agroforestal empleando plataformas espaciales que resultan de interés al perfil de usuario agricultor, como, por ejemplo, la detección de zonas de riesgo de incendio (Yebra et al., 2019), la gestión de sistemas de riego (Balbontín et al., 2016) o la evaluación de la producción agraria (Arboit & Maglione, 2018a). Además, con un carácter más específico, en el ámbito público, el control de superficies de cultivo para el seguimiento de la Política Agraria Común (PAC) ha experimentado un cambio sustancial, monitorizando el 100% de la superficie cultivada a través de imágenes procedentes de Sentinel-2 del programa de observación de la Tierra Copernicus (Copernicus, 2020).

El ámbito de la teledetección es muy extensa y amplia. Dirigida hacia las necesidades de un agricultor, el cálculo de índices de vegetación a partir de la combinación de distintas bandas espectrales quizás sea la que ofrezca más interés. (Picone & Linares, 2014) (Degioanni et al., 2001) De todos los posibles índices de vegetación a calcular, aquellos basados en un



cociente son los más empleados. Este tipo de índices no son más que la división, píxel a píxel, entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Esto es utilizado en dos situaciones distintas:

- Por una parte, mejorar o realzar la diferencia entre dos cubiertas con comportamiento espectral distinto en esas dos bandas, con el fin de mejorar la discriminación entre ambas.
- Y, por otra parte, reducir el efecto ocasionado por el relieve como pueden ser la pendiente o la orientación, dentro de la caracterización espectral de varias cubiertas.

En este aspecto, la vegetación tiene un comportamiento radiométrico muy interesante. Esto se debe a un pigmento característico en las plantas, denominado como clorofila. Esta clorofila son pigmentos de color verde que están presentes a gran escala en las células vegetales, en unas estructuras llamadas cloroplastos, siendo imprescindible en el proceso de realización de la fotosíntesis, de manera que en el caso de que la planta se encuentre enferma o afectada, reduce este proceso y en consecuencia la proporción de clorofila en sus células. Además, la clorofila presenta como propiedad la presencia de dos tipos característicos de absorción de la radiación del espectro visible. Por un lado, absorbe la luz en la región del espectro electromagnético azul (400-500 nm de longitud de onda) y roja (600-700 nm). Por otro lado, refleja la parte correspondiente a la región del verde (500-600 nm). Por ello, en la vegetación sana se produce un alto contraste entre la banda roja (visible) y la del infrarrojo cercano (IRC) (Figura 1). Esto es debido a que, en la banda roja, los pigmentos de la hoja absorben en un alto porcentaje la energía recibida, mientras que el infrarrojo cercano es reflejado y apenas afectan a estos pigmentos. Esto produce un alto contraste espectral entre la baja reflectividad en el rojo del espectro y la baja del IRC, lo que permitirá en cierta forma, diferenciar la vegetación sana de otras cubiertas o de vegetación afectada.

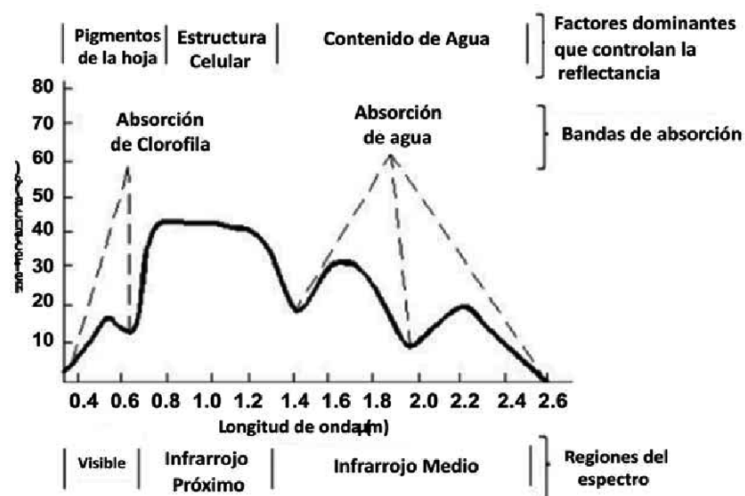


Figura 1. Curva estándar de la reflectancia de la vegetación. (Aguilar et al., 2010)



Así, cuando el cultivo se encuentra afectado por algún tipo de enfermedad o estrés hídrico su reflectividad en la región del infrarrojo será menor mientras que en la del rojo irá aumentando por tener menor absorción clorofílica, por lo que el contraste entre ambas bandas será menor. En conclusión, cuanto mayor sea la diferencia entre la respuesta en las dos regiones, mayor vigor vegetativo tendrá el cultivo y más actividad fotosintética. Mientras que, cuanto menor sea la diferencia, entonces este será de menor vigor (Arboit & Maglione, 2018a).

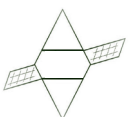
Entre los índices de vegetación más utilizados se encuentra el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI) (Ecuación 1), que aporta el cociente entre ambas bandas anteriormente descritas, e informa, como ya se ha descrito, del estado vegetativo de la planta. Este índice vegetativo oscila en el rango entre -1 a 1, lo que aporta información suficiente sobre la cubierta. En la mayoría de los casos, los valores negativos o cercanos a 0 responden a la presencia de agua o nubes. Los valores positivos bajos, se corresponden con una cubierta de suelo desnudo o con escasa vegetación, como zonas rocosas. Finalmente, valores del índice altos, indican la presencia de vegetación, estando su variabilidad relacionada con el vigor, estado y evapotranspiración de esta. (Arboit & Maglione, 2018a). De ese modo, el NDVI se define como:

$$NDVI_i = \frac{\rho_{i,IRC} - \rho_{i,R}}{\rho_{i,IRC} + \rho_{i,R}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo $\rho_{i,IRC}$ el valor de la banda del infrarrojo cercano y $\rho_{i,R}$ el de la banda del rojo

Así, el tratamiento de imágenes satélite para extraer valores de índices como el NDVI se ha usado en el ámbito agrícola para estimar el rendimiento de los cultivos (de La Casa & Ovando, 2007), el estudio dinámico de áreas protegidas (Alcaraz-Segura et al., 2009) o para ver la respuesta ecológica al cambio ambiental (Pettorelli et al., 2005). Además de este índice, se pueden encontrar otros índices como el Índice de Vegetación Ajustado del Suelo (*Soil-Adjusted Vegetation Index*, SAVI) (Ecuación 2). Este índice estudia la reflectividad del suelo, además de poder aislar la información que muestra la vegetación, de la que procede del suelo que se encuentra bajo ella. En este índice se introduce una constante, L , que indica la densidad de la vegetación, con el fin de mejorar el ajuste. Esta alternativa al índice NDVI, permite saber la influencia ejercida por el suelo durante estudios de vegetación, donde su desarrollo es incipiente o se encuentra en una etapa de crecimiento inicial y se distribuye de manera dispersa. El índice se define como:

$$SAVI_i = \frac{\rho_{i,IRC} - \rho_{i,R}}{\rho_{i,IRC} + \rho_{i,R} + L} * (1 + L) \quad \text{Ecuación 2}$$



Siendo $\rho_{i,IRC}$ el valor de la banda del infrarrojo cercano, $\rho_{i,R}$ la del rojo y L la variable característica del tipo de suelo.

La variable L toma valores cercanos a 0 cuando la densidad de la vegetación es alta, y 1, cuando esta es nula o escasa. Mientras que, en suelos medianamente expuestos, toma 0.5, lo cual realiza un ajuste en el índice anterior de forma considerable. Este índice también se ha utilizado en conjunto con el NDVI, realizándose análisis multitemporales y multiespaciales en zonas forestales y agrícolas (Arboit & Maglione, 2018b).

Por otro lado, se encuentra el índice de vegetación de humedad del suelo (Index Water Difference Normalized NDWI) [3], dependiendo de sus siglas en inglés o español. Este índice es utilizado para medir la cantidad de agua en la vegetación o nivel de saturación de humedad que posee el suelo o cubierta. Su valor oscila entre -1 y 1, dependiendo de cómo se presente el cultivo o suelo. En este caso, el NDWI trabaja con dos bandas del espectro en la región del del infrarrojo, siendo un cociente de diferencia normalizada entre el infrarrojo cercano y el medio (denominado este último como SWIR, por sus siglas en inglés). Se utiliza el infrarrojo cercano de onda corta o infrarrojo medio, que muestra una alta absorción debido al agua, mientras que el uso del infrarrojo cercano (NIR) no es absorbida en el caso el agua.

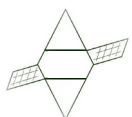
Se define el NDWI como:

$$NDWI_i = \frac{\rho_{i,IRC} - \rho_{i,SWIR}}{\rho_{i,IRC} + \rho_{i,SWIR}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo $\rho_{i,IRC}$ el valor de la banda del infrarrojo cercano y $\rho_{i,SWIR}$ la banda del infrarrojo cercano de onda corta.

Este índice, empleado en la estimación de la cantidad de humedad en la vegetación forestal, es de gran utilidad en el estudio de susceptibilidad de incendios, y en el ámbito agrícola, para la estimación de las necesidades de riego por zonas de cultivo o para poder controlar el estrés hídrico de las plantas, así lo muestran numerosas investigaciones centradas por ejemplo en el estudio de sequías regionales (Sueldo & Canchari, 2018). Como sucedía en el índice SAVI, este también se ha implementado en trabajos junto con el NDVI, pudiéndose ver una correlación entre ambos, que aportan información muy útil sobre el estrés hídrico o el estado de la planta (Segura, 2020).

Todo el procesamiento, análisis, tratamiento y visualización de la información que aportan las imágenes satélites, de las cuales se realizan los índices vegetativos, debe ser desarrollada y procesada por un software que maneje los datos geoespaciales con estos fines. Debido a la gran cantidad de datos geoespaciales que se maneja y su complejidad, considerando



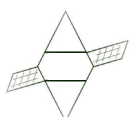
además que pueden presentarse tanto en modo vectorial como raster, hace necesario usar Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos sistemas, entre otros objetivos, permiten implementar los datos e información recogida por técnicas de teledetección en un software o programa, de manera que sea fácilmente manejable la información.

Ya desde 1995 se introducía la gran relación que guardan los SIGs con la Teledetección (Pinilla, 1995): *"El desarrollo de la informática, por un lado, particularmente de los sistemas distribuidos de procesamiento de datos basados en arquitectura WS, y de los métodos numéricos aplicables al análisis de imágenes, por otro, hará posible la ejecución de procesos cada vez más complejos, consiguiéndose productos más elaborados y de mayor calidad informativa. Ello no será posible sin una integración cada vez más cierta entre SIG y teledetección, que pasará necesariamente por la resolución de problemas. Este vínculo está cada vez más próximo, y prueba de ello es que en el aspecto comercial pronto podrá verse su reflejo en la inclusión de ambos sistemas como módulos diferentes de un mismo paquete de aplicaciones"*.

Así, ya se comenzaba a consolidar la idea de SIG como una industria emergente que se caracterizaba por la implementación de los sistemas ráster y vectoriales. Además de la conexión entre los sistemas y la interfaz de usuario que se crea para poder poner en contacto al usuario de manera más cercana a la información aportada por la teledetección. De este modo, los SIG se convertirían en la técnica o método más común de tratamiento de la información geográfica, todo ello gracias a un conjunto de herramientas informáticas. En este contexto, los desarrollos informáticos han ido mejorando muy notablemente sus prestaciones y capacidades tanto a nivel de software como de hardware con un mismo fin, combinar la información gráfica con mapas e imágenes con información estadística o alfanumérica procedente de la teledetección.

Los campos de aplicación de los SIGs, así como sus funcionalidades son muy numerosos. Muestra de ello es su amplio uso en el ámbito de la administración pública, en todos los organismos vinculados de alguna manera con la ordenación territorial, control de la propiedad o medio ambiente. Así lo ha ido mostrando a lo largo del tiempo en sus distintas fases, con la implementación de nuevas técnicas y de nueva información como por ejemplo (Moreira et al., 2018):

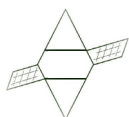
1. Bases de datos destinados al almacenamiento de información sobre los distintos recursos naturales (relieve, suelo, clima, agua, uso, vegetación...).
2. Creación de bases con datos sobre la estructura socioeconómica de la región.
3. Listas informativas para el seguimiento de los distintos factores que puedan contribuir a la emisión de gases o cualquier otro contaminante y capacidad de otros agentes.
4. Desarrollo de aplicaciones y programas destinados al tratamiento de la información geográfica.
5. Desarrollo de las técnicas de tratamiento digital de imágenes satélites.



Además de las distintas aplicaciones destinadas al ámbito público se encuentran también las destinadas a la investigación y ámbito privado. Numerosas empresas dedicadas a la agricultura, en concreto a la agricultura de precisión, ya han introducido en su metodología estos sistemas de información geográfica. Pero como cualquier otro software, las funcionalidades de un SIG llegan mucho más allá de lo que el usuario puede ver a simple vista en la interfaz gráfica del programa o aplicación web. Muchos de estos programas permiten tanto el acceso al código fuente, como la posibilidad de un desarrollo de tareas automatizado o no, mediante programación. Se permite de esta manera, que el usuario realice tareas mucho más complejas. Esto concede una cierta independencia a la hora de introducir datos en el programa, de forma que, con unos conceptos básicos en la materia, pueda realizar modificaciones adaptadas a sus necesidades, existiendo una comunidad de usuarios y desarrolladores destinados a esta tarea. De este modo la programación sobre SIG ofrece una nueva forma de trabajo integrada en la mayoría de los programas o aplicaciones, contando con el acceso a distintas librerías cada vez más avanzadas.

Pero para que esta posibilidad de potenciar las herramientas o geoprocesamientos en la parte de escritorio o servidor pueda llegar a todos los usuarios o empresas, tanto pequeñas como grandes, es necesaria una interconexión entre todos ellos. Esto es lo que ofrece el denominado como procesamiento en la nube o *cloud computing*. Esta tecnología permite acceso remoto a softwares, almacenamiento de archivos y procesamiento de datos por medio de Internet. Así lo realizan empresas como Google, mediante su servicio Google Earth Engine, donde permite la visualización de información geográfica mediante un servidor web con acceso libre a todos los usuarios, pudiendo trabajar en programación SIG / Teledetección con todas las funcionalidades sin necesidad de programas instalados localmente. Esta capacidad de poder manejar datos en la nube aporta numerosas ventajas en el tratamiento de datos e imágenes. Entre ellas encontramos la capacidad de almacenaje, ya que, cada vez son más las imágenes que se generan, y debido a su precisión, más pesadas.

En este contexto, el número de imágenes satélite registrada desde el espacio es mayor, y esto es debido al aumento progresivo de la puesta en marcha en los últimos años de diferentes programas de observación de la Tierra (*Earth Observation Envelope Programme*, EO), cuyo principal objetivo es desarrollar y llevar a cabo nuevas misiones, y más avanzadas, de satélites científicos para la observación de la Tierra para explorar el conocimiento y la ciencia del planeta (ESA, 2021). De este modo, distintas agencias, como la Agencia Espacial Europea (European Space Agency, ESA), están lanzando nuevos programas espaciales que, si bien van mejorando sus prestaciones con el paso del tiempo, conllevan un almacenamiento de imágenes más pesado y difícil de manejar. En contrapartida, este nuevo marco de trabajo, con un mayor número de imágenes, permite adquirir información más precisa y exacta de gran interés para su uso en agricultura. Así, los valores de reflectancia registrados son más fiables y, por tanto, más útiles para poder obtener información de los cultivos (Llovería et al., 2017).

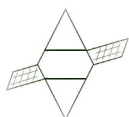


En este contexto, donde se hace uso de un gran volumen de datos, en forma de escenas de satélites, se hace necesario migrar de un entorno de trabajo local hacia servicios remotos, tanto de almacenamiento, como de procesado, es decir, hacia servicios *cloud computing*, de forma que se puedan almacenar, manipular y procesar grandes volúmenes de datos sin necesidad de descargarlos. Este incremento en el volumen de datos se debe, no solo a la mejora en la resolución espacial y espectral de las imágenes, sino que también ha influido notablemente el aumento de la resolución temporal de estas, de modo que es posible disponer de un mayor número de escenas por la reducción en los tiempos de revisita. Por el contrario, a pesar del tamaño de estas, la consecuencia en el incremento de la resolución temporal es la aportación de datos por los distintos programas de EO de mayor interés y utilidad a escala parcela, comenzándose a considerar estos programas como una herramienta esencial en la toma de decisiones (Arias et al., 2010).

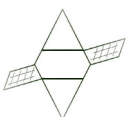
Junto con todos estos avances, los servicios ofrecidos se han ido adaptando a los diferentes perfiles de usuario, desde el particular hasta el sector privado, pasando por administraciones públicas y grandes organizaciones. De esta manera, además de proveer de imágenes, se ofrecen herramientas de visualización e interpretación de los datos espaciales, haciendo más sencillo el estudio de las coberturas y usos de suelo (Jakimow et al., 2020).

No obstante, todos estos servicios demandan por parte del usuario, por lo general un alto nivel de conocimiento en programación e informática para su uso. Así, muchos de los servicios que se ponen a disposición de empresas de servicios agrícolas o agricultores particulares presentan limitaciones para poder hacer un uso más especializado y útil por parte del usuario. Esto es debido a que muchos de estos programas de código abierto implican la capacidad de desarrollar código con el fin de adaptar el producto final o resultado a las necesidades del usuario final. De este modo, la adquisición de competencias en programación en este ámbito se ha convertido en una herramienta fundamental para realizar un uso profesional en el tratamiento de imágenes satélites. Por ejemplo, el uso del servicio Google Earth Engine, si bien ofrece una gran cantidad de ventajas y recursos al alcance de todos los usuarios, también es cierto que el desarrollo de código resulta ser una barrera en su uso por parte del usuario. De este modo se hace necesario acercar estas nuevas tecnologías a los agricultores, si bien resulta una tarea difícil, aunque necesaria, debido a las distintas ventajas que aportan. Así, ya son numerosas las aplicaciones desarrolladas en los distintos ámbitos de la agricultura, (Anquela & Abel, 2017).

Estas aplicaciones deben resultar ser atractivas para el agricultor o para la empresa de servicios, no requiriendo conocimientos avanzados en informática, y que ofrezca unos resultados visibles, de interés, útiles y de gran valor agronómico, de forma que pueda asistir al usuario en el seguimiento continuo, en tiempo real y actualizado de sus cultivos o suelo, aspectos demandados por el agricultor (Villalobos et al., 2017).



En conclusión, se debe comenzar con el desarrollo y la integración de servicios, sin que el propio agricultor tenga que acceder a un amplio catálogo de escenas de satélite, y siendo quien tenga que desarrollar la lógica para la explotación y uso de estas escenas. De aquí el interés en aplicaciones llave en mano adaptadas al usuario final con objeto de rentabilizar y llevar un seguimiento específico del cultivo.

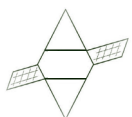


2 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo Final de Grado es el desarrollo de una aplicación de escritorio que proporcione el acceso a servicios web de teledetección y de almacenamiento en la nube por parte de usuarios y empresas de servicios agronómicos.

Como objetivos secundarios se establecen:

1. Análisis de requisitos y necesidades del proyecto.
2. Definición de herramientas de desarrollo.
3. Desarrollo del modelo de negocio:
 - a. Definición de paquetes y librerías a usar.
 - b. Definición del modelo lógico de la aplicación.
 - c. Definición de paquetes a desarrollar.
4. Programación de la lógica de negocio.
5. Programación de la interfaz de usuario.
6. Testeo de la aplicación.
7. Documentación del manual de usuario.



3 Materiales y métodos

La Figura 2 resume el conjunto de tecnologías empleadas para el desarrollo de la herramienta de escritorio de uso de servicios *cloud-computing* de teledetección objeto de este TFM, diferenciando entre:

- Herramientas para el desarrollo del modelo de negocio: Comprende el lenguaje de programación, el intérprete y el conjunto de paquetes y librerías empleadas para el desarrollo de la lógica del modelo de negocio. Concretamente se han empleado:
 - Anaconda: distribución libre y abierta de lenguajes como Python y R, muy empleada actualmente en ciencia de datos, y aprendizaje automático.
 - Python: Lenguaje de programación para el desarrollo de toda la lógica de negocio.
 - Spyder: Interpretador y entorno de desarrollo para Python.
 - Google Earth Engine: Conjunto de librerías importadas para el acceso a servicios cloud computing de explotación de escenas de satélite ofrecido por google.
 - Folium: Librería open-source para la generación de mapas interactivos.
- Herramientas para el diseño y desarrollo de la interfaz de usuario (Front end): Recoge el conjunto de herramientas empleadas para el desarrollo de la interfaz de usuario.

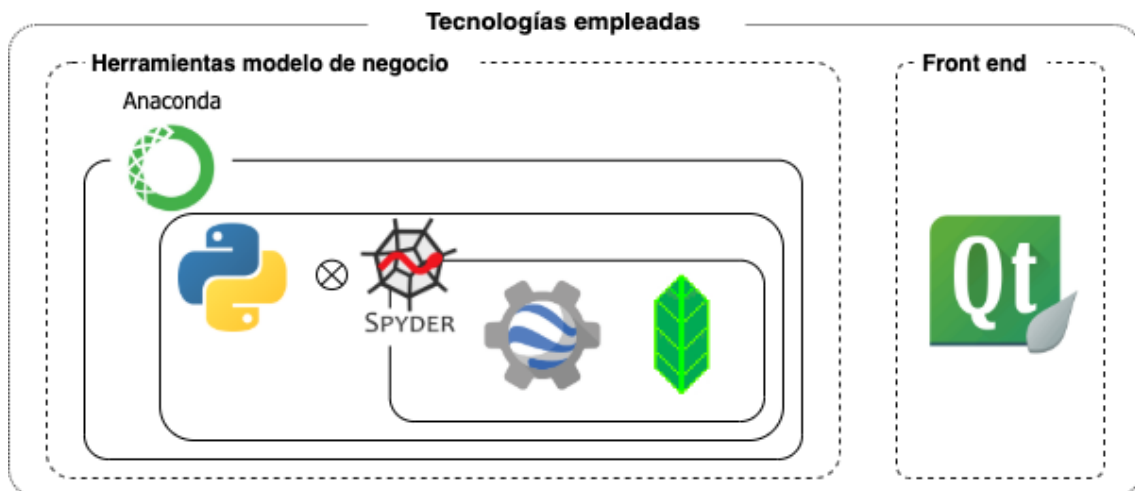


Figura 2 Esquema de tecnologías empleadas

El desarrollo de este TFG ha contemplado las siguientes fases de trabajo:

- **Análisis:** establecimiento de los requisitos del producto a desarrollar mediante el despliegue de diagramas de flujos representando la lógica de la herramienta a desarrollar, definición general de la interfaz de usuario, diccionario de datos, etc. Como resultado se obtendrá una definición de las especificaciones de la aplicación.
- **Diseño y arquitectura:** permitirá determinar con carácter general el funcionamiento del software, estableciendo componentes tecnológicos como requisitos de formatos, librerías y/o recursos de hardware. Igualmente se establecen de forma general casos



de uso a ser desarrollados mediante funciones, generando un modelo cercano al esquema de programación del código.

- **Programación:** desarrollo del código, contemplando toda la lógica de negocio.
- **Pruebas:** conjunto de pruebas para la verificación de las tareas concretas definidas en la lógica de negocio.
- **Documentación:** comprende de toda la información para la gestión del proyecto desplegado, recogiendo diagramas, manuales de usuario, técnicos, etc.

Además, en caso de estar ante un escenario de producción habría que contemplar la fase mantenimiento, con objeto de mantener el software ante posibles problemas detectados y/o mejoras.

3.1 Materiales empleados en la fase de programación

Tal y como muestra la Figura 1, en la fase de desarrollo se distinguen dos fases bien diferenciadas, las cuales conllevan el uso de herramientas diferentes, diferenciando entre aquellas vinculadas en el desarrollo del modelo de negocio de aquellas de la implementación de la interfaz de usuario.

3.1.1 Herramientas para el desarrollo del modelo de negocio

El lenguaje de programación empleado para el desarrollo de la aplicación de escritorio de este TFG ha sido Python, versión 3.9.2, (Python, 2021).

Este lenguaje de programación, orientado a objetos, es clasificado por usuarios expertos como uno de los más versátiles y fáciles de aprender. Además, Python está desarrollada bajo licencia de código abierto PFSL, similar a Berkeley Software Distribution (BSD) o General Public License (GPL), lo que hace que este sea libre en su uso y distribución. Es un lenguaje de programación tipo Scripting, no necesitando compilación y que suele ser llamado desde otros entornos de desarrollo como Java, C o C++. Este tipo de lenguajes se ejecutan sin compilarse, sólo con un intérprete (Langtangen, 2006).

Además, ofrece numerosas ventajas como el tipado dinámico, no siendo necesario indicar el tipo de dato de la variable utilizada, lo que aporta una independencia al programador o usuario. Está compuesto por librerías en constante desarrollo y evolución o desarrolladas por el propio usuario, además de permitir el uso de librerías externas a partir de Wrapper para modificar su uso sin modificar la clase principal de la librería (Fischer & Schreiber, 2000). Por otro lado, es un lenguaje multiplataforma, de manera que es posible utilizarlo en distintos sistemas operativos sin necesidad de modificar el código. Así también, se encuentran otras ventajas frente a otros lenguajes de programación utilizados en la actualidad, como, por ejemplo, (Peña Ros, 2015):

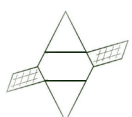


1. El código fuente que ofrece Python se basa en la simplicidad y la optimización de los comandos, realizando programas sin necesidad de introducir bloques iniciales y cabeceras, sin ningún tipo de delimitador en condicionales y repetitivas, necesario en otros lenguajes de programación como C, Java o Begin/End.
2. En Python no hay una declaración explícita del tipo de dato.
3. La tabulación en este lenguaje, llamado comúnmente en informática como indentación, es obligatoria, a diferencia de otros lenguajes como C, lo que impulsa al programador a tener un orden más claro que posteriormente ayudará a la legibilidad del código.

Python es un lenguaje que permite el desarrollo de scripts sencillos para resolución de problemas en el back-end, no estando pensado para front-end, aunque ya ha integrado librerías para interfaz gráfica como PyQt. Es un lenguaje pensado para algoritmia, estadística, data science, etc. que puede ser más productivo en términos de consumo de memoria, rapidez de escritura y menor tamaño de código que otros lenguajes de programación como C++ o Java, aunque estos últimos llegan a ser más rápidos en la ejecución del código (Prechelt, 2000). Como resultado, hay una gran comunidad de programadores y usuarios desarrollando en este lenguaje (van Rossum & Drake, 2003).

Así, debido a que se trata de un lenguaje con una sintaxis limpia, favorece el desarrollo de un código legible. Su uso por parte de distintos programas, tanto en su propio desarrollo, como en la generación de plugins o scripts desarrollados por terceros, es cada vez más común. En este contexto, su uso concede al usuario final una independencia en el producto final que quiere obtener, teniendo el usuario la capacidad de poder realizar sus propias funciones, personalizando así los resultados y prestaciones de una aplicación.

Es debido a todo esto que Python, a lo largo de los años, ha experimentado un aumento considerable en su uso por parte de programadores. Así lo refleja la Figura 2 obtenida y divulgada por Stack Overflow, una de las comunidades en línea más grande que existe, y donde se observa este aumento con respecto a Java, Javascript, C, C++ y php. (ExecuTrain, 2018).



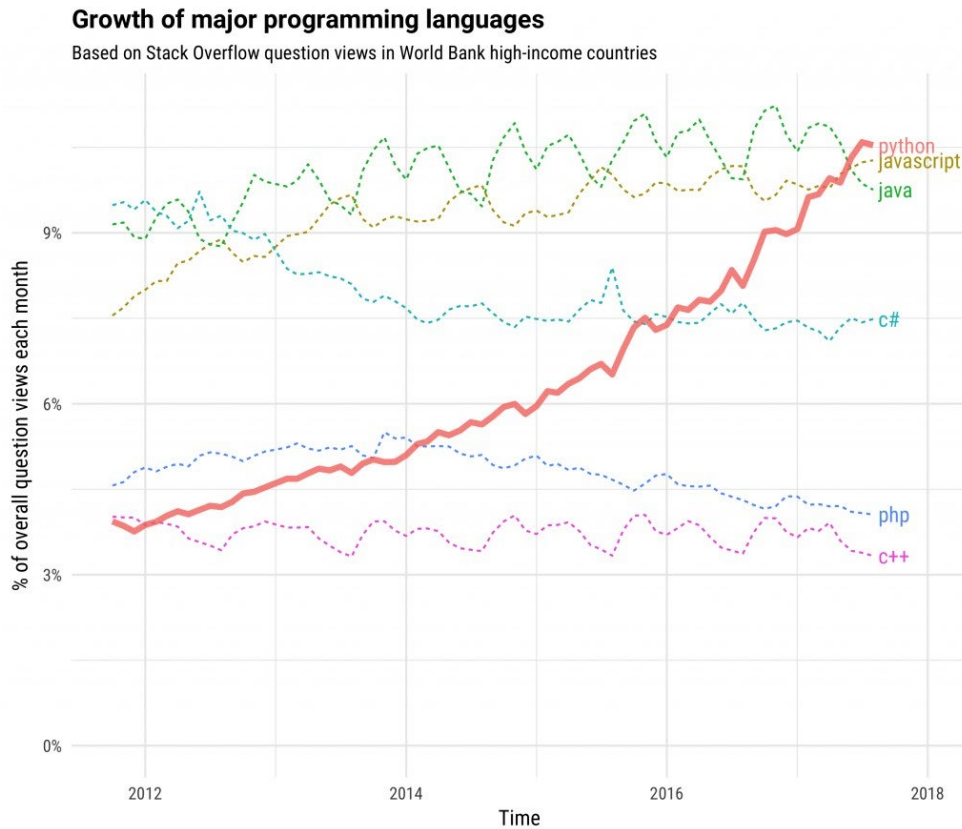


Figura 3 Evolución de desarrolladores en lenguaje de Python, Java, Javascript, C, C++ y php. (ExecuTrain, 2018)

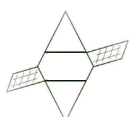
No obstante, como aspecto negativo hay que destacar que no es el lenguaje de programación más adecuado para el desarrollo de aplicaciones de bajo nivel o donde el rendimiento sea crítico, existiendo otros lenguajes con una capacidad superior en el procesamiento rápido de datos a gran escala.

En este contexto, Python se convierte en una opción interesante y atractiva, a pesar de sus aspectos negativos, para los desarrolladores de softwares destinados al uso y manejo de datos geoespaciales. Así, los principales GIS de escritorio, como QGIS, ArcGIS, gvSIG, ofrecen la posibilidad de usar Python en la automatización de las tareas de geoprocetamiento de datos.

Así lo refleja Mark Altaweel en la revista GIS LOUNGE (Altaweel, 2020), afirmando este crecimiento y la funcionalidad y adaptabilidad de este lenguaje de programación en GIS:

“El hecho de que haya muchas bibliotecas de Python disponibles y que la lista sea cada vez mayor ayuda a los usuarios a tener muchas opciones para aprovechar el código existente y construir características más potentes en sus herramientas.

Plataformas como QGIS permiten a los usuarios introducir sus propias extensiones construidas en Python, lo que fomenta aún más el desarrollo y el



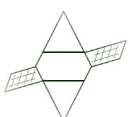
uso de Python entre los especialistas en SIG. Este crecimiento pone de manifiesto que, a medida que los usuarios de SIG y los analistas geoespaciales desarrollan sus habilidades, Python podría ser el mejor lenguaje en el que centrarse.

En comparación con otros lenguajes de alto nivel, Python es más fácil de usar, ya que es flexible con el estilo de codificación y puede aplicarse dentro de diferentes paradigmas, incluyendo enfoques imperativos, funcionales, procedimentales y orientados a objetos” (Altaweel, 2020).

Por otro lado, debido a que el lenguaje Python es interpretado o de script, es decir, que ejecuta las implementaciones de forma directa, sin compilación a lenguaje máquina, es necesario emplear un intérprete para su uso que actúe de enlace entre el código y la propia máquina, a diferencia de los lenguajes compilados donde la máquina comprende y ejecuta el código sin necesidad de intérprete. Así, un lenguaje interpretado, a pesar de ser un poco más lento en la ejecución, ofrece flexibilidad y portabilidad. Además, en Python el código fuente es traducido a un pseudo código máquina interpretado, llamado *bytecode*, que es lo que se ejecutará.

En este TFG, como intérprete o entorno de desarrollo, también denominado IDE (*Integrated Development Environment* o Entorno de Desarrollo Integrado), se ha usado **Spyder** (Spyder, 2021). Spyder es una aplicación informática que proporciona servicios y utilidades para facilitar al desarrollador o programador el uso del lenguaje de programación. Se trata de un IDE multiplataforma con una gran variedad de funciones y que permite la visualización fácil e interactiva de los códigos desarrollados.

Este intérprete se puede obtener a partir de la distribución **Anaconda**, la cual está vinculada con la ciencia de datos, aprendizaje automático, análisis predictivo y datos geoespaciales. Esta plataforma es de código abierto y pone a disposición de desarrolladores y programadores una serie de aplicaciones, librerías y organizadores de ciencias de datos. Concretamente, para el desarrollo de la aplicación se ha creado un nuevo entorno de programación con todas las librerías necesarias y configuradas. Un entorno de desarrollo virtual permite la gestión de dependencias, aislamiento de proyecto, gestión de librerías definidas localmente para un proyecto en lugar de instalarse de forma global en el sistema. De este modo, con Anaconda, es posible crear, exportar, actualizar y modificar los entornos a gusto del desarrollador o programador. El entorno creado para este TFG se ha denominado como “ee”, por las iniciales de una de las principales librerías o bibliotecas, *Earth Engine*, siendo este el lugar donde se han instalado las librerías y desarrollado el programa. Google Earth Engine, permite utilizar dos entornos desarrollo, uno basado en JavaScript y accesible a través del editor de código en un browser de Internet y, el empleado en este TFG, basado en Python mediante una aplicación externa como es en este caso Anaconda. Esta segunda opción mantiene todas las funciones relacionadas con el tratamiento de imágenes y geometrías para el mapeo o extracción de información



relacionada con datos capturados por satélite, por parte de Earth Engine, al tiempo que se pueden emplear otros paquetes y funciones ajenas a este servicio.

GEE es un servicio de procesamiento geoespacial abierto para todos los usuarios que quieran hacer uso de él. Su aplicación es interesante ya que ofrece una plataforma interactiva para el desarrollo de algoritmos geoespaciales para la explotación de imágenes espaciales, permitiendo el procesamiento de grandes volúmenes de datos para estudiar cambios y fenómenos relacionados con el medio ambiente, el medio forestal y la agricultura, entre otros. Google pone así a disposición del desarrollador, además de un editor de código accesible desde un navegador de Internet basado en JavaScript, una API basada en código Python libre para su descarga y uso. Una vez instalada en el entorno de desarrollo es necesario el registro en el servicio GEE e inicializar la cuenta de usuario en dicho entorno. También es necesario disponer de una cuenta de Google en Gmail y estar registrado en Earth Engine. El uso del servicio si es no comercial, como fines educacionales o de investigación, no tiene coste alguno, no siendo así con fines lucrativos.

Además de la explotación del servicio GEE accediendo a escenas de satélite, otra de las tecnologías usadas para el desarrollo de la aplicación han sido la librería de Python, Folium (Folium, 2021), la cual facilita la creación de mapas interactivos por medio de bases de datos geoespaciales, permitiendo su visualización usando Leaflet (Leaflet, 2021). Esta última es la responsable de la visualización de mapas interactivos, siendo una API de Javascript muy utilizada en programas y aplicaciones de tratamiento de datos espaciales. Así, empleando Folium, es posible visualizar datos geoespaciales previamente manipulados con Python, tanto en modo vectorial como raster de una forma interactiva, gracias a los diferentes plugins que ofrece.

3.1.2 Herramientas para el desarrollo del Front End.

En cuanto a la interfaz de usuario desarrollada para la aplicación de escritorio de este TFG, se ha utilizado la librería PyQt5. Este es un enlace Python de la biblioteca gráfica Qt (Qt, 2021), ya que de forma nativa Qt utiliza el lenguaje de programación C++ y mediante estos enlaces o “bindings” es posible usarlo en otros lenguajes como Python. Para la utilización de esta se ha descargado la versión 5.9.7. Qt es un framework orientado a objetos para diversas plataformas informáticas que es usado en el desarrollo de programas, enfocado sobre todo en la interfaz gráfica del mismo.

Qt permite el desarrollo de interfaces gráficas interactivas para multitud de plataformas y lenguajes. Uno de los componentes principales de esta biblioteca es Pyside5, que permite el uso de Qt en las aplicaciones de Python. Es una de las bibliotecas para el desarrollo de interfaces gráficas más utilizadas por grandes compañías, lo que la hace una opción segura y fiable (Why Qt - Get Started Today). Así, una vez desarrollada la interfaz de usuario en Qt es posible exportar a un formato legible para Python, pudiendo seguir modificando la



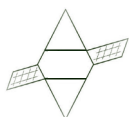
interfaz y agregarle las funciones que se desee mediante la asignación o importación de scripts o archivos desarrollados en Python.

3.2 Diseño y arquitectura de la aplicación desarrollada

El objetivo que debe cubrir la herramienta desarrollada es representar mapas de índices de vegetación en un entorno local, sobre un entorno geográfico y temporal definido por el usuario, a partir del procesado de escenas de satélite almacenadas en un repositorio en la nube de tal manera que el producto final se integre en una interfaz sencilla y manejable para el usuario.

Como requisitos específicos se contempla:

1. Se procesarán solamente colecciones de imágenes del programa Copernicus correspondientes a Sentinel-2 (S2) corregidas atmosféricamente.
2. Del total de escenas S2 se trabajarán con aquellas que se encuentren dentro de la zona objeto de estudio, cubriendo la parcela definida por el usuario, y en las fechas seleccionadas por este.
3. El filtrado espacial se realizará a través de la carga de la geometría delimitadora de forma remota mediante Google Drive.
4. Se aplicará una máscara de nubes con el fin de que no se distorsione el valor de los índices de vegetación derivados de los píxeles de escenas filtradas por el usuario.
5. Cálculo de índices de vegetación de cada escena, añadiendo estos como una nueva banda dentro de la escena de satélite empleada para su cálculo.
6. Una vez obtenida la colección de imágenes con sus correspondientes índices, se debe almacenar el valor de los píxeles de la banda para posteriormente mostrarlos en pantalla y graficarlos.
7. Generación de un mapa interactivo que muestra la geometría de la parcela, con una visualización en su interior del índice de vegetación calculado con una paleta de colores adecuada. De esta forma el agricultor o empresa podrá visualizar el índice en los distintos puntos de la parcela de forma rápida, dinámica y sencilla. Además, se dispondrá como fondo de la escena en modo RGB para una mejor interpretación del mapa. Para cada escena de la colección se generará un mapa que será cargado en la aplicación a demanda del usuario.
8. Tanto el mapa, como la gráfica de evolución del índice de vegetación de la parcela a representar, se deben integrar en una misma interfaz gráfica. Esta interfaz debe ser intuitiva y sencilla. Para ello será necesario cargar la geometría de la parcela y mediante una comprobación visual de la forma de esta, en una previsualización, se pasará a la selección de las fechas e índice. Posteriormente se podrá visualizar el mapa interactivo por una parte y en otro lado la gráfica de evolución del índice en las fechas seleccionadas, así como su valor numérico.



Así, y considerando todos los requisitos anteriores del flujo de trabajo seguido para el desarrollo de la aplicación, el diagrama del flujo de modelo de negocio queda representado como se muestra en la Figura 4:

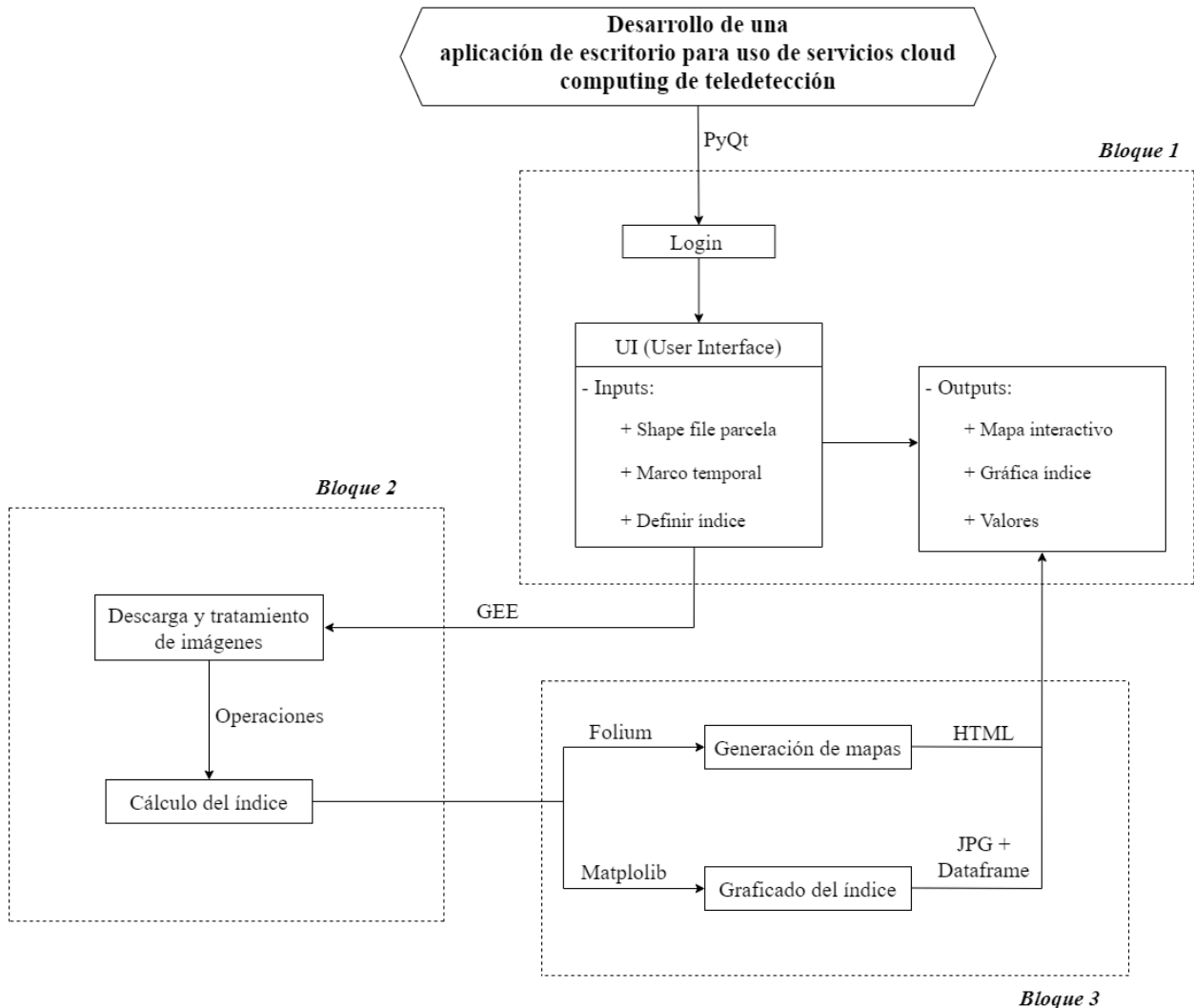


Figura 4. Diagrama de flujo de modelo de negocio

De la Figura 4 se identifican 3 bloques principales a desarrollar:

Bloque 1: En primer lugar, antes del acceso a la aplicación, el usuario se encuentra con un box de identificación. De este modo, para comenzar con la utilización de la aplicación será necesario identificarse introduciendo el nombre de usuario y contraseña válidos, para que el sistema permita el acceso de aquellos usuarios que se han registrado en la aplicación. Este paso, común en la mayoría de las aplicaciones, es necesario para que quede registrado el uso de la aplicación de todos los usuarios, y es posible entrar tanto como usuario particular, como administrador. Además, si no ha sido registrado en el sistema, es posible darse de alta mediante la página web que se pone a disposición en un enlace en la misma ventana.



Posteriormente se proseguirá con la ventana principal de la aplicación que contiene la función final. Esta es necesaria integrarla en una interfaz gráfica. Para ello, se ha escogido la biblioteca de PyQt5, descrita de forma breve anteriormente. Esta pertenece a Qt, un conjunto de bibliotecas para distintos lenguajes de programación, es decir, multiplataforma, que implementa APIs de alto nivel para acceder a muchos aspectos de sistemas móviles y de escritorio. Además de incluir el desarrollo tradicional de las UIs (User Interface), tiene muchas otras utilidades que integran las tecnologías modernas. PyQt5, es un enlace de este conjunto de bibliotecas que permite utilizar Python para el desarrollo de aplicaciones. Tiene numerosas ventajas, entre la que se encuentra, la facilidad y sencillez de su uso, gracias también a Qt Designer, una aplicación integrada en la biblioteca que permite el desarrollo gráfico de aplicaciones de forma visual, pudiendo posteriormente exportarlo a código legible de Python, y que ha sido utilizada para el desarrollo de esta UI. De esta forma se ha podido ir realizando la interfaz de la aplicación de forma gráfica y visual e ir añadiendo funcionalidades a cada uno de sus elementos. Así, se han ido creando layouts y widgets, del tipo que interesen en función a la misión que van a cumplir dentro de la aplicación. Destaca por un lado el visor del mapa en formato HTML generado con Folium, así como la gráfica del índice indicado, que se muestran en pantalla mediante QWebView, los distintos QLabel o etiquetas de información, los QTextEdit para mostrar la información del funcionamiento del programa o los datos del índice, y los distintos QPushButton que permiten acceder a una funcionalidad de la aplicación.

Dentro de esta ventana principal desarrollada es donde se introducirán los datos o inputs de la aplicación por parte del usuario. De esta forma, mediante la introducción del archivo shape file de la parcela, la selección del marco temporal con la fecha de inicio y fecha final e indicando el índice a estudiar, se procede al desarrollo de la función de la aplicación.

Bloque 2: De todos los bloques en que se compone el flujo del modelo de negocio, este es el más importante y está destinado al procesamiento de la geometría de la parcela y a la adquisición de las imágenes satélite que posteriormente se utilizarán para su tratamiento. El filtrado de las escenas, considerando la parcela de interés, se puede realizar desde un archivo local en el formato explícito, o con la geometría de la parcela almacenada en la nube. Para esto último, la geometría deberá estar almacenada en el espacio Google Drive del usuario para, posteriormente, ser cargada en la aplicación, empleando para ello la biblioteca PyDrive. Esta permite acceder a la cuenta personal Google del usuario, previo consentimiento del propietario, para poder listar, cargar o bajar archivos de su cuenta personal. Este modo de trabajo resulta interesante, ya que permite el manejo de archivos desde la nube, sin la necesidad de tener que manejarlos de forma local y evita así la sobrecarga de peso, en caso de manejar un gran volumen de datos, así como la independencia de la máquina destinada al procesado de la

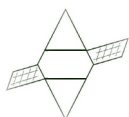


información. De esta forma, una vez cargada la geometría de la parcela de interés, la cual se encontrará en formato vectorial Shapefile, será importada mediante la librería Geemap a un formato legible para Python. A la geometría de la parcela se le calculará el centro geométrico, al igual que al conjunto de escenas de satélite filtradas, de manera que se puedan centrar los resultados al visor generado. Por último, en este bloque de la estructura de la aplicación, se obtendrán las escenas de satélite de interés considerando criterios geométricos y temporales, obtenidas de la colección de imágenes del programa Copernicus.

Bloque 3: Una vez obtenida correctamente la colección de imágenes de interés, se aplicará una máscara de nubes a cada escena, con el fin de que la presencia de estas sea lo menos significativa posible, y que los valores de reflectancia almacenados en cada píxel no se vean alterados. Para el cálculo del índice de vegetación, la colección de imágenes se convertirá en una lista, la cual se irá recorriendo, imagen a imagen, calculando para cada una el índice indicado por el usuario, añadiendo el valor del índice como una nueva banda en la imagen correspondiente. Posteriormente, se determinará el valor promedio del índice en la geometría cargada mediante un “reducer”. El valor del índice de vegetación calculado se mostrará en pantalla, para cada imagen en cada fecha, además de la correspondiente gráfica de evolución. Para la visualización de los mapas de índices de la parcela se usará la biblioteca Folium. Esta permite crear un mapa que muestre el índice, ajustando los parámetros de visualización mediante una paleta de colores que, de forma intuitiva, permita la interpretación de este. Para cada una de las escenas se creará un mapa apuntando a un fichero en formato HTML, guardado en una carpeta nombrada con el nombre de la escena de la cual se ha obtenido el mapa, incluyendo la fecha de captura.

Por último, los mapas creados deberán disponer de la escena en modo RGB de fondo, de manera que pueda facilitar la localización de la parcela, sumado a la integración de la geometría misma en el mapa. El índice de vegetación representado de esta forma quedará comprendido solamente para la parcela de interés definida por el usuario, mientras que en el resto del mapa se mostrará la imagen satelital de la colección para la fecha marcada. Además, Folium permite la integración de una serie de plugins de forma que sea más interactiva la navegación del usuario por el mapa. Para concluir con la estructura o flujo de trabajo seguido, una vez obtenido los productos finales de interés para el agricultor o empresa, se integrarán en la interfaz descrita en un inicio para la visualización de los resultados.

Así el flujo del modelo del negocio concluye integrando la función del programa con la creación de mapas que muestren el índice de la parcela, NDVI o NDWI, así como la gráfica de este, en una interfaz sencilla de manejar para el usuario, que compone la aplicación final perseguida.



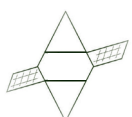
4 Resultados

Se ha obtenido una aplicación de escritorio para el uso de servicios cloud computing de Teledetección a través de una UI en un entorno local. La aplicación se ha desarrollado por código, dando lugar a una interfaz gráfica, que muestra tanto en mapa como en grafica el índice de una parcela de interés. Este índice se mostrará en el mapa en distintas tonalidades en función del valor del que tome este. Además, se puede proceder a la interpretación del índice mediante la gráfica, viendo como ha ido variando a lo largo del tiempo, en función del estado de la vegetación en ese momento. De esta forma es posible la visualización de forma rápida, sencilla y accesible de cualquier usuario, sin unos conocimientos previos avanzados, del estado de su parcela con el uso de la aplicación. Además, se ha elaborado una página web (Figura 5) para la aplicación. Esta recoge toda la información sobre cómo se ha confeccionado la aplicación, así como los principales objetivos que persigue además de un apartado destinado al manual o guía de usuario. Por parte, para facilitar el manejo, dispone además de un apartado para registrarse en la aplicación, de manera que puedan acceder a introducir sus datos en la página web para ser guardados para la identificación en la aplicación. Por otro lado, la página web de la aplicación aporta informa al usuario sobre las tecnologías en las que se basa, recogiendo información sobre índices de vegetación, teledetección y agricultura.

[Spatial Analysis of Agriculture \(webnode.es\)](http://webnode.es)



Figura 5. Captura de la sección de información para el usuario de la página web.



4.1 Manual de usuario

A continuación, se describirán los distintos pasos a seguir en la aplicación para su uso. El manual de usuario está compuesto por dos partes principalmente, diferenciando las dos ventanas de la aplicación, y posteriormente el uso de cada una de ellas. Por una parte, la ventana destinada a la identificación o *login* por parte del usuario, necesario para poder acceder a la segunda ventana que compone la aplicación, la ventana principal en la cual el usuario podrá interactuar para la adquisición de la información de su parcela.

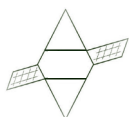
4.2 Manual de uso básico de la aplicación para usuarios

En este apartado se concretará todo el marco teórico anteriormente expuesto en un ejemplo real, para la realización de una guía destinada a la utilización de la aplicación por parte del usuario. Para ello, se trabajará con una parcela ejemplo, a la cual se le calcularán los índices de vegetación con el fin de evaluar su estado en distintas fechas, y hacer un análisis desde el punto de vista agronómico. Se seguirán todos los pasos necesarios a realizar desde el inicio de la aplicación hasta la obtención y comentario de los resultados.

En primer lugar, partimos con la geometría de una parcela. Esta parcela, que será usada como objeto de estudio para el ejemplo de la aplicación práctica del programa desarrollado, tiene las siguientes características:

- Nombre: Parcela El Carpio.
- Localización de la parcela: Se encuentra en el km nº4 en la carretera entre el municipio de El Carpio y la localidad de Bujalance, provincia de Córdoba, Andalucía.
- Coordenadas: Latitud: 37° 54' 4.38" N; Longitud: 4° 29' 8.85" W; ETRS89, huso UTM: 30.
- Extensión: La finca cuenta con una superficie total aprovechable de 350 ha.
- Es comúnmente aprovechada para cultivos en extensivo. (Plantación de cereal de invierno)

En la Figura 6 se muestra una pre-visualización de la localización de la parcela sobre la ortofotografía de máxima actualidad del CNIG (Instituto Geográfico Nacional, 2021), siendo su perímetro obtenido de SIGPAC, (Sistema de Identificación de Parcelas Agrícolas), (SIGPAC, 2021).



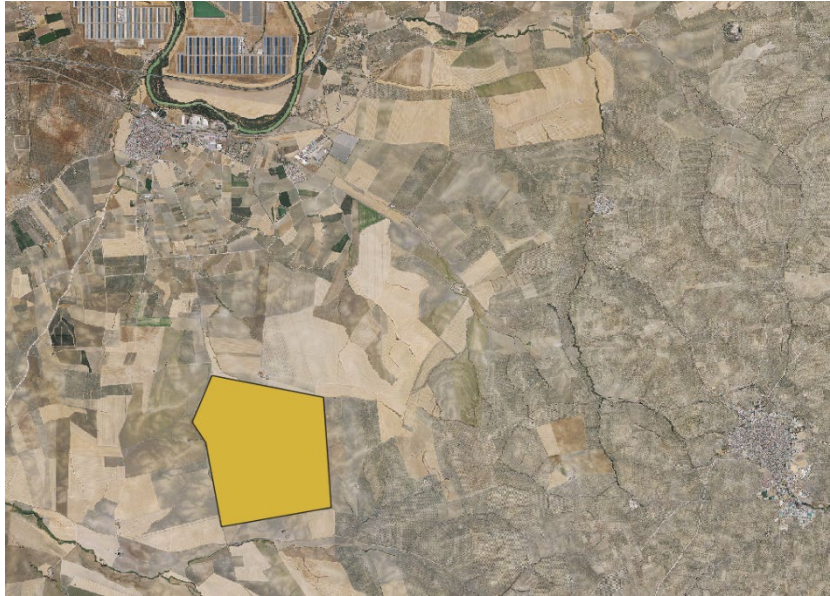


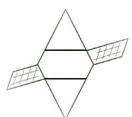
Figura 6. Ortofotografía con el croquis de situación de la parcela.

A continuación, una vez obtenida la geometría de la parcela, en el formato shapefile, se pasa a la ejecución de la aplicación. Se desglosarán cada uno de los pasos necesarios para la obtención de los resultados de los índices de vegetación de la parcela escogida.

- **Paso 1: Login o identificación del usuario**



Figura 7. Ventana de inicio de sesión en la aplicación



Como se puede observar en la Figura 7, en primer lugar, el usuario debe proceder a identificarse en la aplicación siguiendo los siguientes pasos:

- 1.1.- Definir tipo de cuenta a utilizar: Usuario o Administrador.
- 1.2.- Introducir el usuario correspondiente.
- 1.3.- Introducir la contraseña asociado al usuario.

En caso de no haberse registrado, será necesario acceder al enlace que se muestra en la parte inferior, o a través del teléfono móvil, escaneando el código QR de la pantalla.

Dentro de este enlace se muestra la página web de la aplicación donde se encuentra un apartado específico para el registro de usuarios, "Member Login".

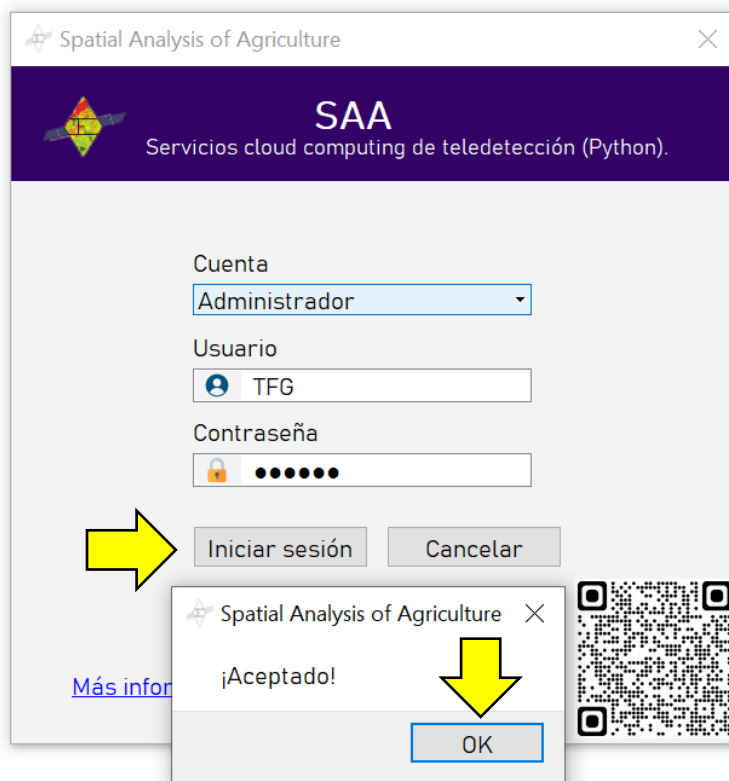
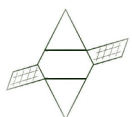


Figura 8. Ventana de inicio de sesión correcto.

- 1.4.- Una vez introducidos los datos personales, pulsar en "Iniciar sesión".
- 1.5.- Una ventana emergente informará de si los datos son válidos. En caso afirmativo, pulsar en el botón "OK", indicado en la Figura 8. Si todo está correcto la aplicación se redirigirá a la ventana principal del programa.
- 1.6.- En caso negativo, como en la Figura 9, la ventana emergente nos indicará que el usuario o la contraseña introducidas no son válidas y será redirigido de nuevo a la ventana de identificación en el sistema.



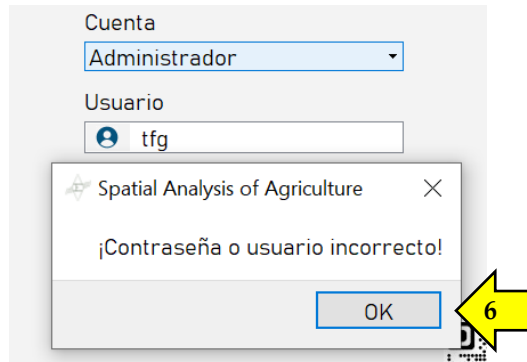
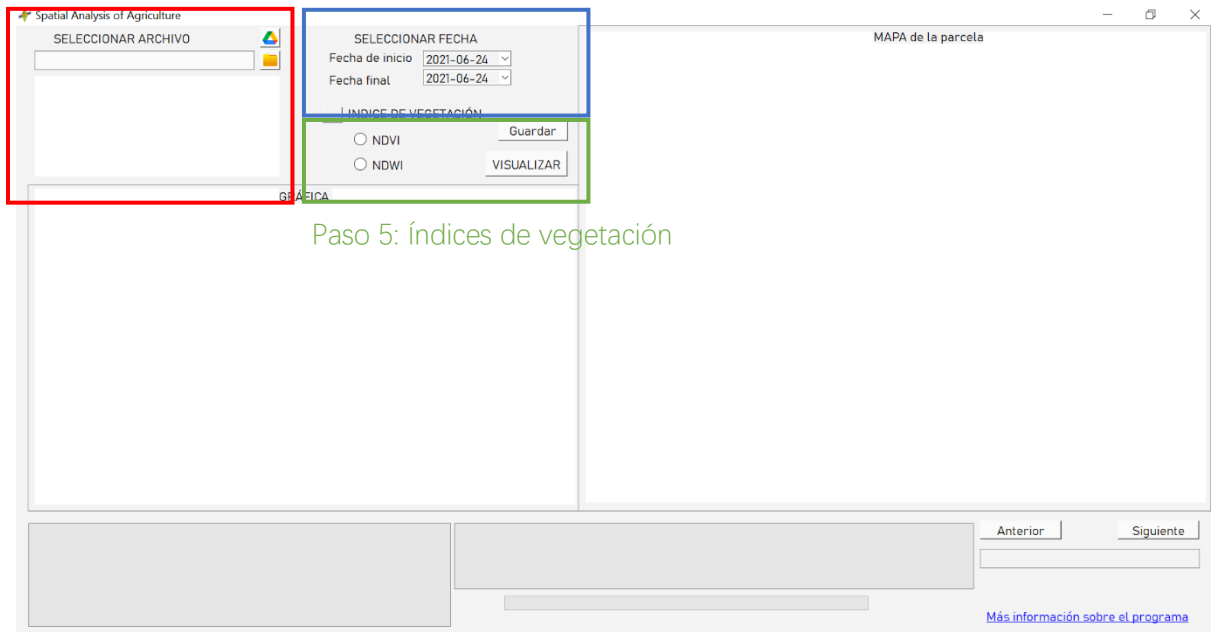


Figura 9. Ventana de inicio no válido.

- **Paso 2: Introducción a la ventana principal**

Paso 3: Selección parcela Paso 4: Ventana temporal

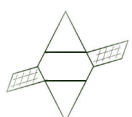


Paso 5: Índices de vegetación

Figura 10. Ventana principal de la aplicación.

Si los datos introducidos en la ventana de identificación son válidos, la ventana se cerrará y emergerá la ventana principal del programa (Figura 10). Esta se encuentra dividida en distintas secciones, de manera que habrá que ir cumplimentado cada uno de los datos requeridos en cada una de ellas en función del producto final que se desee obtener. De esta forma, los pasos a seguir dentro de la ventana principal son:

- Selección del archivo vectorial de delimitación de la parcela.
- Definición del marco temporal.
- Elección del índice de vegetación a calcular.
- Visualización de resultados.



- Guardar los resultados.
- **Paso 3: Selección del archivo vectorial de delimitación de la parcela**

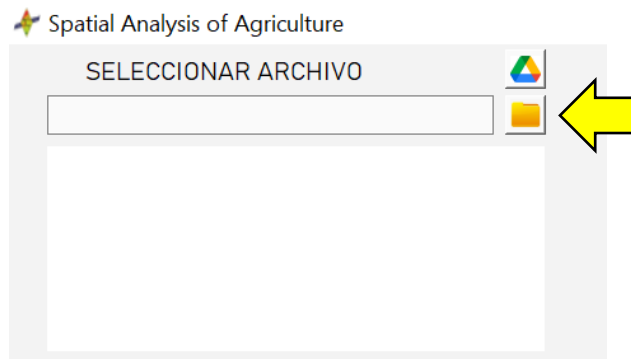


Figura 11. Selección del archivo de la geometría de la parcela.

Para la selección del archivo con la delimitación de la parcela el usuario encontrará dos botones posibles a seleccionar (Figura 11) en función de cómo se quiera cargar la geometría: almacenada en entorno local o en la nube.

3.1.a. - Pulsando sobre el botón con el icono de la carpeta se cargará un archivo local en formato “.shp”. En este caso concreto nos dirigimos hacia la ruta o directorio donde ha sido guardado el archivo con la geometría de la finca: “ParcelaElCarpio.shp” (Figura 12).

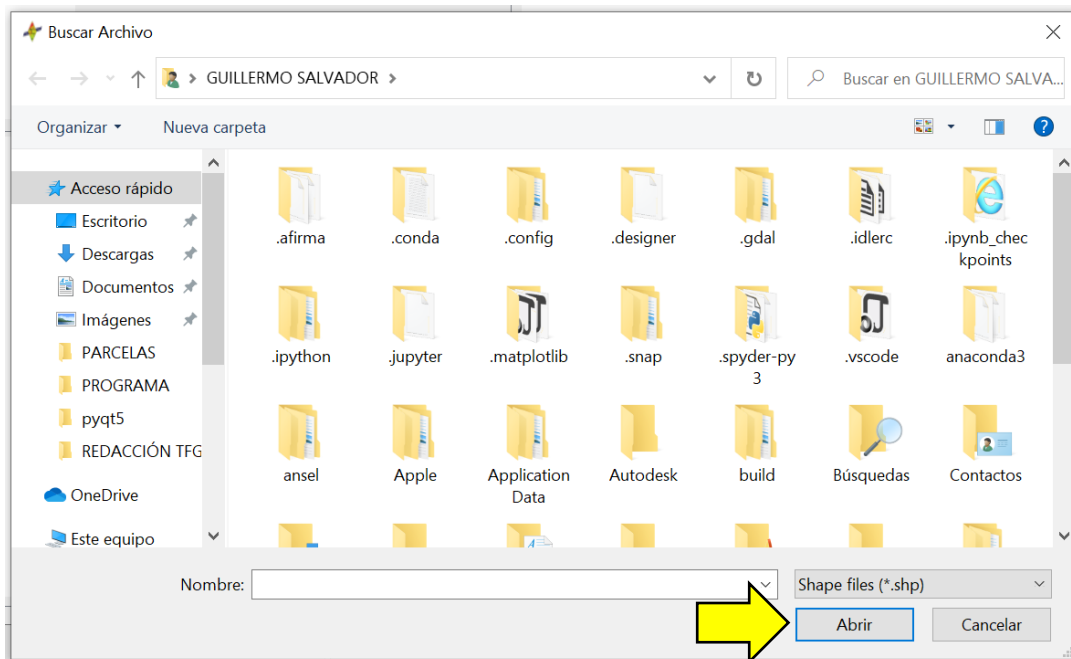
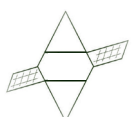


Figura 12. Buscador de archivos



3.1.b. – Presionando sobre el botón con la imagen de Google drive nos mostrará una ventana emergente como en la Figura 13, a partir de la cual podremos introducir el nombre del archivo y su IDE.

El IDE lo podemos encontrar, tal y como se indica en la ventana, obteniendo el enlace en el archivo subido a Google Drive.

Una vez que se haya cumplimentado los dos datos necesarios, la aplicación redirige al usuario a unas ventanas del buscador donde será necesario inicializar la sesión en el Google Drive del usuario y aceptar los permisos requeridos para que la aplicación pueda acceder a los archivos personales subidos a la plataforma.

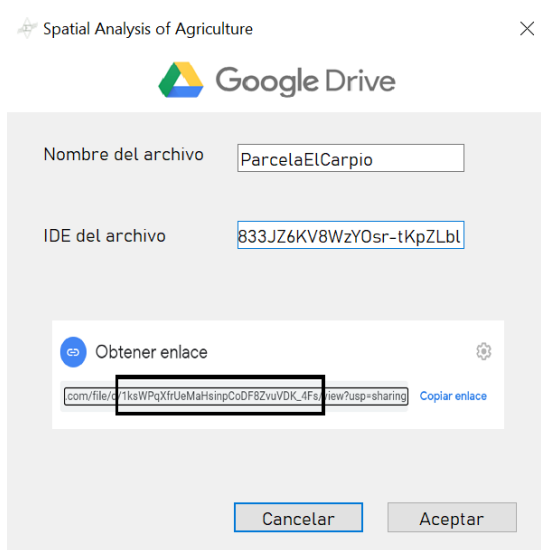


Figura 13. Cargar archivo desde Google Drive.

3.2.- Una vez seleccionado el archivo se seleccionará la opción abrir en caso de estar almacenado localmente o bien, en el caso de haberla introducido a partir de Google Drive, únicamente cerrando la ventana emergente se cargará el archivo y mostrará, en la pantalla principal, la ruta con el nombre del archivo cargado, así como una previsualización (Figura 14) de la geometría de la parcela de forma que se pueda comprobar si es la correcta.

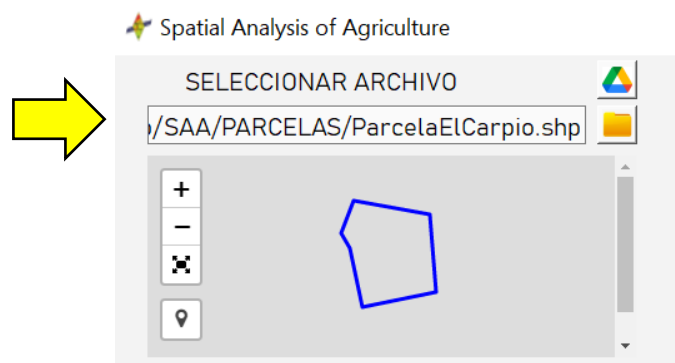
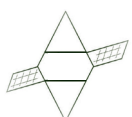


Figura 14. Archivo cargado con pre-visualización de la parcela



- **Paso 4: Definición del marco temporal**

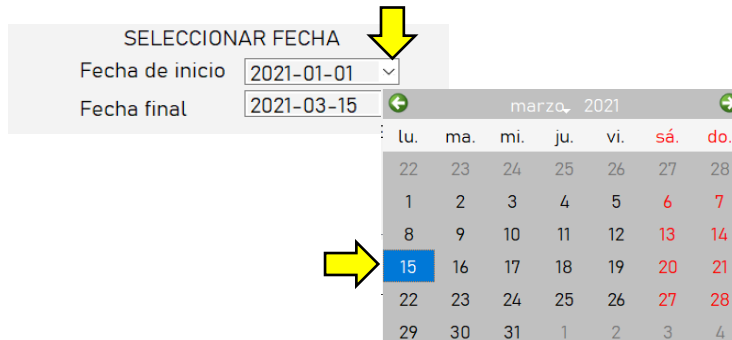


Figura 15. Selección del marco temporal

4.1.- Se clic en la flecha situada a la derecha de la fecha predeterminada y definida como la fecha actual.

4.2.- Se abrirá un calendario donde se puede seleccionar el día de interés. El proceso se realizará dos veces, seleccionando de este modo la ventana temporal de interés.

Hay que tener en cuenta cual es la fecha de inicio y la fecha final. Ya que el intervalo de tiempo debe ser positivo de manera que la fecha de inicio sea anterior a la fecha final. De la misma manera es necesario, y se recomienda, dejar un margen mínimo de dos días para poder obtener alguna imagen satelital en ese intervalo. En este ejemplo, debido a que se trata de una finca de extensivo con cereales de invierno, se han escogido las fechas de siembra y su evolución posterior hasta un estado vegetativo alto de la planta. De esta forma se selecciona desde el 01 de enero, hasta el 15 de marzo, de 2021, tal y como se indica en la Figura 15.

- **Paso 5: Elección del índice de vegetación a calcular**

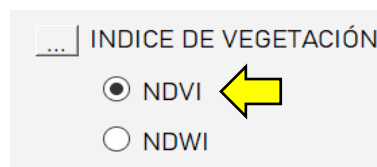


Figura 16. Selección del índice.

Se selecciona el índice en el cual se esté interesado en calcular para mostrarlo en el mapa y graficarlo. Únicamente permite la selección de uno de ellos. En primer lugar, se seleccionará el índice de vegetación del NDVI (Figura 16), el cual nos dará información sobre el desarrollo vegetativo de la planta. En el caso de que el usuario no tenga claro en un primer momento que índice calcular es posible ver una información breve sobre cada



uno de ellos, únicamente pulsando el botón situado a la izquierda del título, como en la Figura 17.



Figura 17. Ventana de información sobre índices.

- **Paso 6: Visualización de resultados**

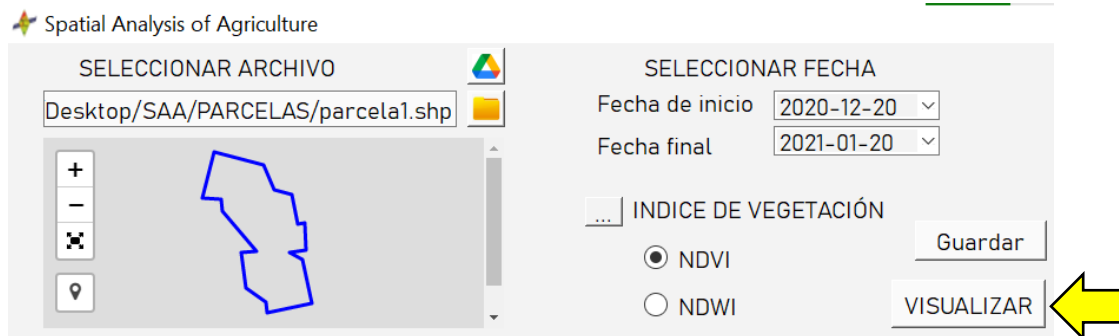


Figura 18. Botón para visualizar los resultados.

6.1.- Una vez que se han seleccionado los distintos parámetros necesarios, se puede proceder a la visualización del análisis de los datos satélite de la parcela mediante índices de vegetación. Para ello se presiona el botón “VISUALIZAR”. Figura 18

En este momento, la aplicación ejecutará la parte fundamental del modelo de negocio, creando los distintos mapas con las imágenes Sentinel obtenidas entre las fechas fijadas, las cuales contienen a la parcela objeto de análisis. Dado que el número de imágenes puede ser elevado y consume tiempo de ejecución, una barra de progreso indicará el estado de la generación y descarga de los resultados. Una vez realizado el proceso aparecerá el mapa interactivo en formato HTML y la gráfica de evolución del índice de la parcela. Ver Figura 19.

Para cada escena de interés la aplicación genera un fichero en formato HTML almacenado en una carpeta local de resultados, en la cual, se irán creando progresivamente ficheros en función del número de imágenes que la aplicación



pueda obtener en el intervalo establecido. Esta carpeta de resultados es temporal, es decir, que no se almacenan los resultados de forma indefinida, solo únicamente cuando se estén visualizando en la aplicación estos ficheros se encontrarán en el sistema local del usuario, debido a que el peso de visores no es elevado, pero en un gran volumen de datos puede ser pesado. Cada uno de los ficheros creados se denominará atendiendo a la fecha de captura por parte del satélite, almacenando en su nombre los datos de la fecha de obtención de la imagen, así como las distintas características del satélite, pudiendo reconocer cada fichero con el mapa adecuado. Cada uno de ellos contiene un visor interactivo desarrollado en Folium con los datos de satélite para una fecha concreta.



Figura 19. Visualización de los resultados

6.2.- La aplicación permitirá la navegación entre los diferentes visores generados para poder visualizar el estado y desarrollo de la vegetación en la parcela analizada. En este caso desde su inicio en enero hasta su máximo estado vegetativo en marzo. Es posible ir visualizando cada uno de los mapas, para ello únicamente se tendrá que ir pulsando sobre el botón de “siguiente”, Figura 20, en la parte inferior del mapa, pudiendo ir interactuando entre los distintos ficheros en formato HTML creados para la parcela y anteriormente descritos. La información del mapa mostrado en la parcela también se muestra en la parte inferior, donde distinguimos la información del satélite y la fecha de captura de la imagen.

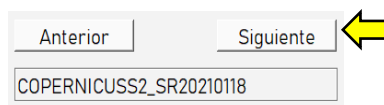
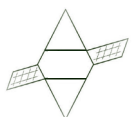


Figura 20. Botón siguiente.



A continuación, y a modo de ejemplo, se muestran en la siguiente página distintos mapas obtenidos de la parcela, así como la fecha en la que las imágenes se han tomado, con esta visión general podemos ver claramente la evolución de la parcela en estos meses.

Para ello únicamente hemos tenido que seguir los pasos que se han descrito hasta ahora y procediendo a visualizar se han realizado capturas de pantalla de l visor que aparece en pantalla e interactuando entre los distintos ficheros de las fechas seleccionadas, desde el inicio hasta la fecha final.

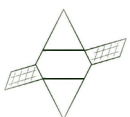
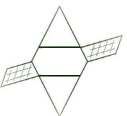




Figura 21. Mapa de evolución de NDVI



En los distintos mapas presentados se puede ver la evolución del índice NDVI del cultivo. Claramente se observa un valor bajo del índice al comienzo del ciclo fenológico, Figura 21.a , donde únicamente el valor del índice aparece en la porción de parcela ya sembrada, por la cual podremos ver la evolución de las dos zonas en paralelo. El valor bajo del índice, representado con un tono marrón claro corresponde a suelo desnudo. Posteriormente se produce un aumento notorio en del valor del índice, principalmente en la zona izquierda, donde se puede advertir que ha habido una siembra del cereal, en franjas, y el cual está creciendo (Figura 21.c). Más adelante, pasado el mes de febrero, se puede afirmar que la siembra ha terminado y el cultivo está alcanzando su máximo estado vegetativo, y que, por lo pronto, no ha habido ningún contratiempo en el cultivo. Esto se puede observar en los valores altos de NDVI (tonos verdes mucho más oscuro) que refleja el mapa, como en la zona ya sembrada desde un inicio, y a diferencia de la porción no sembrada con valores muy bajos de NDVI (zona con color marrón) (Ver Figura 21.g). Esta evolución del cultivo en su ciclo fenológico también es posible visualizarla gráficamente a través de los valores medios del índice a escala parcela (Figura 22).

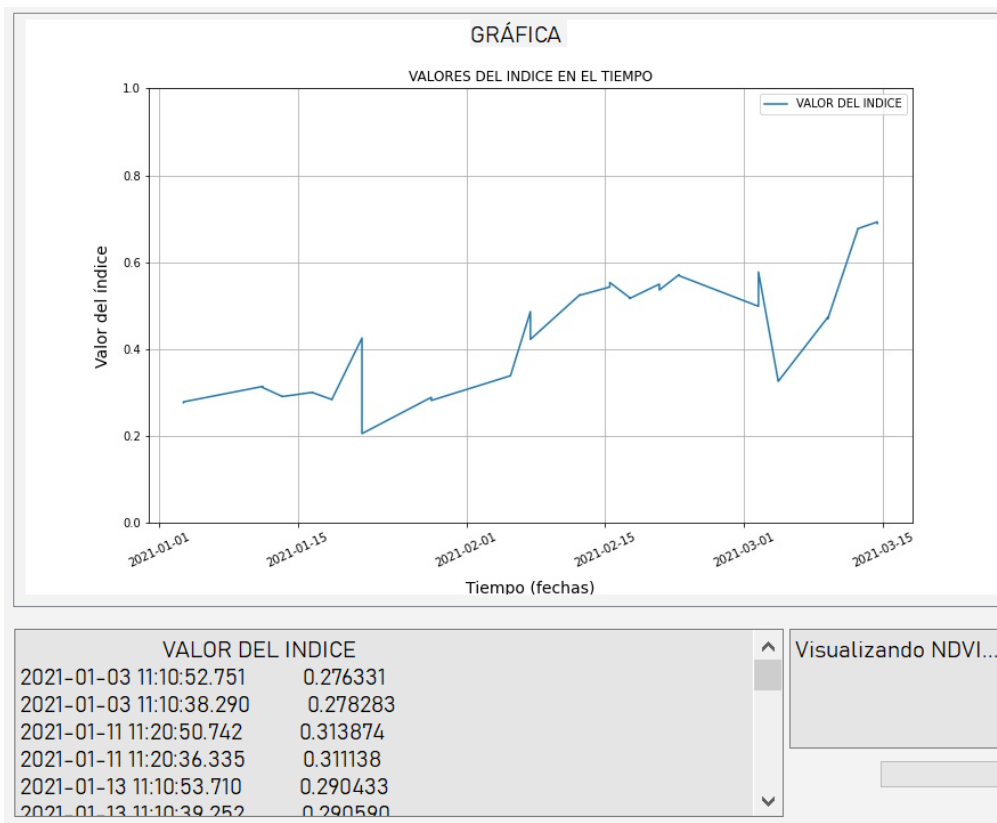


Figura 22. Gráfica de evolución del índice en la parcela.

De este modo, es posible estudiar la evolución del cultivo con una interpretación lógica de los valores del índice obtenidos. Debido a que se trabaja con un número



elevado de escenas la probabilidad de presencia de nubes hace que la gráfica de evolución del índice pueda aparecer ligeramente distorsionada. Esto se debe a la dificultad de modelar la detección de una nube por las posibles formas y estados en los que puede presentarse. Aun así, se puede observar una clara tendencia de la evolución en la gráfica. En un inicio el valor medio toma valores en torno a 0,3. En este estado el cultivo no cubre el suelo, por otro lado, la parcela no está sembrada por completo, lo cual justifica estos valores. Conforme se avanza en el ciclo del cultivo el valor del índice comienza a aumentar de forma considerable en la primera quincena de febrero, indicando un rápido desarrollo del cultivo, alcanzando un valor igual a 0,55. Así se puede ir analizando la gráfica hasta llegar a los valores más altos en el final del periodo establecido, de en torno a 0,65 y aún más importante, una tendencia a seguir aumentando o mantenerse.

Además, es posible analizar en la parcela el índice de humedad, de manera que se compruebe el estado hídrico del cultivo. Para eso únicamente es necesario seleccionar el índice NDWI (Figura 24).

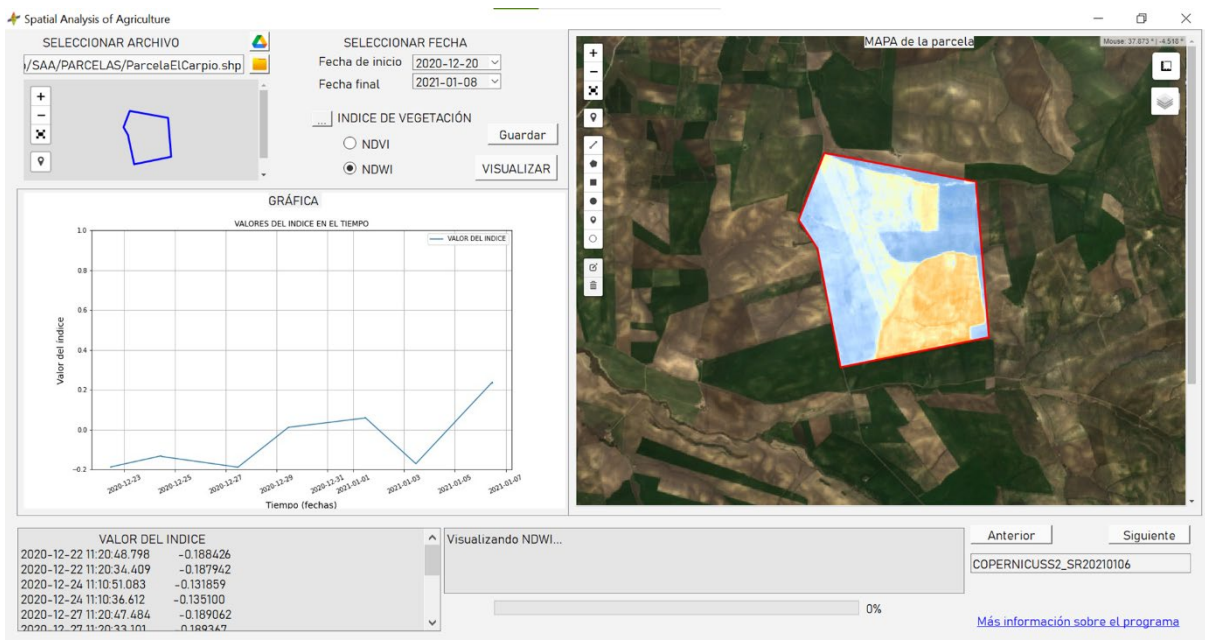


Figura 23. Cálculo del NDWI de la parcela.

Se ha escogido este índice de humedad para la siembra entre diciembre y febrero de la parcela. Se observa la tendencia que toma la humedad cuando está emergiendo el cultivo. Diferenciando entre las zonas con mayor demanda, advirtiendo como aumenta el índice conforme está creciendo el cultivo. También se pueden distinguir dos crestas, la primera correspondiente con la siembra de la zona inferior y posteriormente el incremento del índice debido a la siembra del resto de la parcela. Los valores de este índice suelen ser más bajos que en caso anterior, es por eso por lo que incluso en ocasiones puede ofrecer valores inferiores a 0, lo que indica un suelo sin cubierta vegetal, como en el inicio de nuestro caso.



Si se desea ver cómo ha ido evolucionando el índice a lo largo del crecimiento del cultivo en sus primeras etapas, con el fin de ver la demanda hídrica, es posible seleccionar únicamente el mes de febrero y comprobar la gráfica (Figura 25).

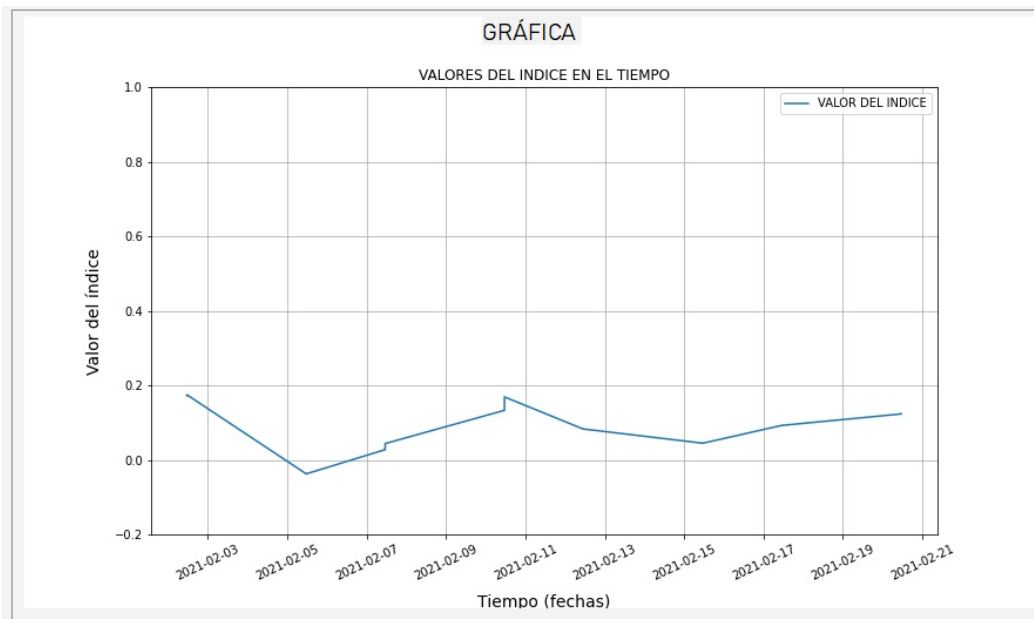


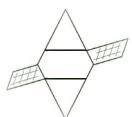
Figura 24. Gráfica de evolución del índice NDWI del mes de febrero.

Para terminar con la visualización de los mapas y gráficas del índice, es posible también hacer uso de las herramientas que ofrece la visualización del resultado en el mapa, pudiendo interactuar de forma libre con el ratón moviéndose por el mapa o realizando scroll para aumentar o alejar la vista del mapa. Además, es posible hacer uso de todas los plugins que hay a disposición del usuario para marcar o dibujar a la izquierda, desactivar la capa NDVI, NDWI o RGB de Sentinel, a la derecha.

- **Paso 7: Guardar los resultados**

Para concluir, con este ejemplo y guía de utilización de la aplicación por el usuario, indicar que es posible guardar los resultados de forma local, debido a que, como anteriormente se ha indicado, estos resultados visualizados por el usuario en la pantalla, no se guardan de forma permanente de manera que no ocupen demasiado espacio en el sistema.

Para guardar el mapa obtenido y visualizado en pantalla, así como la gráfica del índice, hay que dirigirse al botón "Guardar" (Figura 26). De esta forma, aparecerá una ventana emergente en la cual se podrá buscar la ruta donde almacenar los archivos. Previamente debe ser nombrado. Los archivos guardados serán dos, un HTML que muestra el mapa, y una imagen, JPG, que muestra la gráfica del índice.



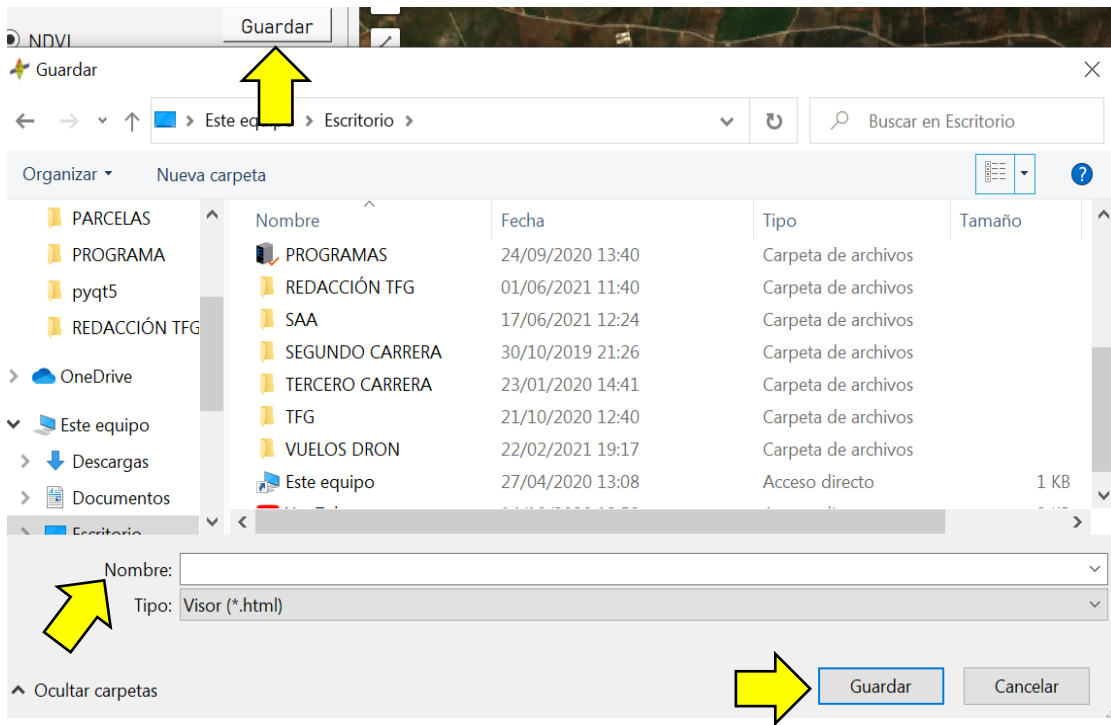
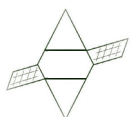


Figura 25. Ventana de búsqueda de ruta para guardar.

Para concluir con este capítulo, hay que añadir que se ha desarrollado una consola donde es posible visualizar los distintos mensajes que muestra la aplicación durante su uso, para lo que se ha dispuesto un cuadro de dialogo en la parte inferior de la pantalla donde se irán mostrando las distintas advertencias en caso de que haya algún error o en otro caso, únicamente informativo. A continuación, se muestran algunos ejemplos (Figura 27):



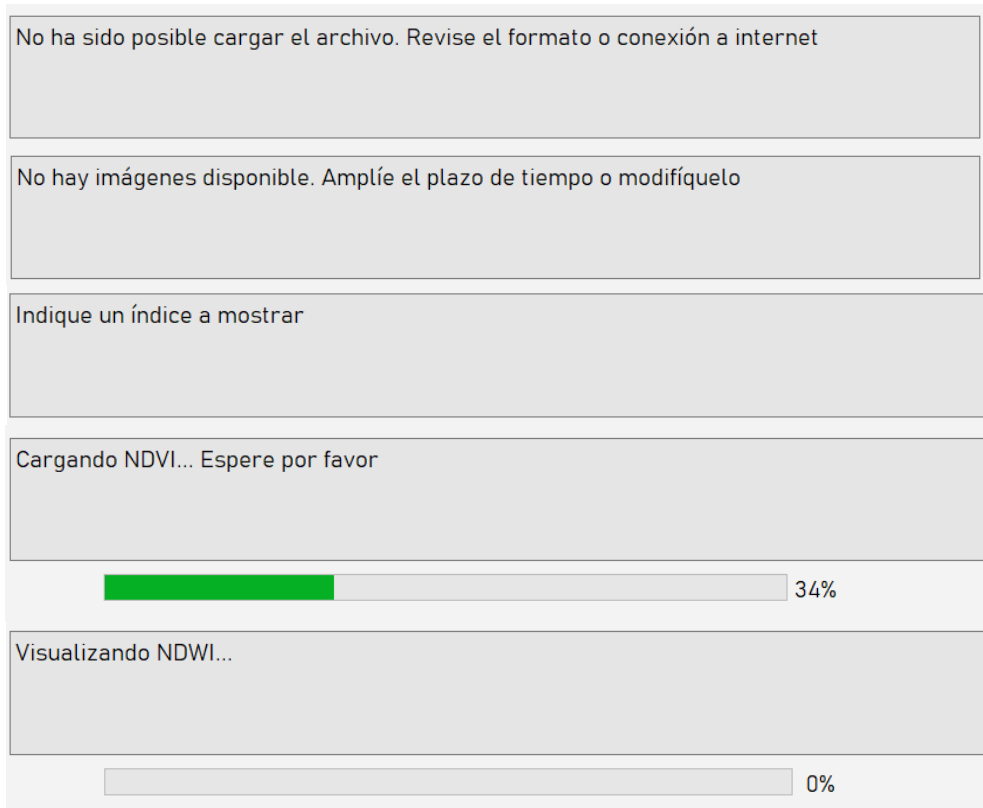


Figura 26. Cuadro de dialogo de mensajes de la aplicación.



5 Conclusión

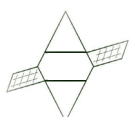
El uso de la teledetección está presente en muchos sectores y la introducción de esta hace ya varios años en la agricultura ha sido un gran paso para agricultores y empresas dedicadas a este sector.

Así, resulta muy importante que todos los agentes y actores de la cadena de valor agroalimentaria hagan uso de las nuevas tecnologías que se ponen a su alcance, ya que, si bien su implantación en un inicio resulta compleja a corto y/o medio plazo genera retornos positivos y necesarios. No obstante, estos cambios no están exentos de dificultades ya que existen muchos agricultores con sistemas de producción tradicionales, que han pasado de generación en generación, y el cambio en la actualidad supone un cambio importante.

Es por esto por lo que se debe acercar estas herramientas de la forma más sencilla posible, de forma que puedan obtener ventajas trabajando con herramientas y tecnologías como la teledetección, el cloud computing, etc, sin necesidad de que el usuario tenga unos conocimientos previos avanzados en estas áreas.

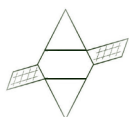
Pensando en una futura actualización de la aplicación se propone:

- Incluir más índices de vegetación.
- Hacer una comparativa de evolución entre campañas.
- Incluir datos meteorológicos de estaciones climáticas cercanas.
- Incorporar otros programas EO como Landsat.



Referencias bibliográficas

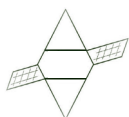
- Adoración Mozas Moral, & Enrique Bernal. (2014). Integración cooperativa y TIC's: presente y futuro. CIRIEC. *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*. 4, 153-160
- Aguilar, N., Mendoza, G., Fortanelli, J., & Contreras servin, C. (2010). Índice normalizado de vegetación en la Huasteca Potosina. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 14, 29-48.
- Alarcón Sueldo, J. C., & Msc. Ing. Edmundo Canchari Gutiérrez. (2019). Tesis NDWI evaluación de sequias regionales 2018. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. 2, 26-30.
- Alcaraz-Segura, D., Baldi, G., Durante, P., Garbulsky, M.F. (2008). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas* .17(3):108-117.
- Arboit, M. E., & Maglione, D. S. (2018a). Boletín de Estudios Geográficos Na 109-2018-ISSN 0374-6186 Boletín de Estudios Geográficos n (Vol. 109).
- Belen, A., Torres García, Mireya & Julián, A. (2017). Aplicaciones geomáticas en agricultura. Trabajo fin de grado en ingeniería geomática y topografía. *Universidad de Valencia*. (2) 3, (4) 17.
- Centro de Descargas del CNIG. Instituto geográfico nacional. Ortofotos e imágenes satélites. (s.f.). <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>. Fecha de último acceso: 2021-07-09
- Albontín, C., M. Odi, R. Poblete, J. Garrido, I. Campos y A. Calera. (2016). Uso de herramientas de teledetección y SIG para el manejo del riego en los cultivos. 50 p. Boletín INIA N°335. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Intihuasi, La Serena, Chile*.
- De La Casa, A., & Ovando, G. (2007). Integración del índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) y del ciclo fenológico de maíz para estimar el rendimiento a escala departamental en córdoba. *ARGENTINA AGRICULTURA TÉCNICA (CHILE)*. 67(4):362-371.
- Degioanni, A., Cisneros, ; J, & Rang, S. (2001). Teledetección y SIG para la gestión hidrológica del territorio. *Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto*. N°15, 4-6.
- LEAFLET. Leaflet - a JavaScript library for interactive maps. (2021). <https://leafletjs.com/download.html>. Fecha de último acceso: 2021-06-02



- The European Space Agency (ESA). *Earth Observation Programmes*. (2014). https://www.esa.int/About_Us/Business_with_ESA/Business_Opportunities/Earth_Observation_Programmes. Fecha de último acceso: 2021-07-05
- Fischer, J., & Schreiber, A. & S. M. (2000). *Script wrapper for software integration systems*. 560-563.
- Folium — Folium 0.12.1 documentation. (s.f.). <http://python-visualization.github.io/folium/>. Fecha de último acceso: 2021-07-11
- Qt. Get Qt - Download now. (s.f.). <https://www.qt.io/download>. Fecha de último acceso: 2021-07-11
- Spyder. Home — Spyder IDE. (s.f.). <https://www.spyder-ide.org/>. Fecha de último acceso: 2021-07-11
- Langtangen, H. P., B. T. J., & G. M. (2006). *Python scripting for computational science* (Vol. 3).
- Llovería, R. M., García-Martín, A., & Perez-Cabello, F. (2017). Análisis comparativo del producto Sentinel L-2A y valores de reflectividad extraídos mediante espectro-radiometría de campo. *View project Leire Sandonís-Pozo. Universidad de Zaragoza*.
- Manuel, J., Madueño, M., & Jefe, G. (2018). LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. *Consejería de Medio Ambiente. 2, 2-4*.
- Herrera Segura, Maricruz. (2020). Correlación entre la humedad del suelo y los índices NDVI y NDWI. *Universidad Técnica Nacional, Sede de Guanacaste. (2), 46-52*.
- Mark Altaweel. (2020). Python and Geospatial Analysis. *GIS LOUNGE*.
- Patricia Arias-, L., Joyanes-, L., & Patricia Rincón-, S. (2010). Mecanismos de articulación de infraestructuras de datos espaciales y programas de observación de la Tierra. *Centro de Investigaciones y Desarrollo - Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Manizales. (3), 36-40*.
- Peña Ros, R. (2015). *Python como primera aproximación a la programación*. 17-29
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *In Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 20, Issue 9, pp. 503–510).
- Picone, N., & Linares, S. (2014). Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante Teledetección y SIG. Ciudad de Tandil, Argentina. *In Revista Universitaria de Geografía* (Vol. 23, Issue 2).
- Pinilla Ruíz, C. (1995). *Elementos de Teledetección*. RA-MA Editorial. 286



- Prechelt, L. (2000). An empirical comparison of C, C++, Java, Perl, Python, Rexx, and Tcl. *Universidad de Karlsruhe*. 1-7.
- ExecuTrain. *Python, el lenguaje con mayor crecimiento*. (26 Septiembre 2017). Publicado en Big Data / Business Intelligence. <https://www.executrain.com.mx/blog/big-data/item/python-el-lenguaje-con-mayor-crecimiento>
- Python. *Python Release 3.9.2_ Python.org*. (s.f.). <https://www.python.org/downloads/>, 2021. Fecha de último acceso: 2021-07-05
- Remco Schrijver (2016). La agricultura de precisión y el futuro del sector agropecuario en Europa Evaluación de las Opciones Científicas y Tecnológicas ES. *Servicio de Estudios del Parlamento Europeo*. (2)4-17.
- Van Rossum, Guido., & Drake, F. L. (2003). An introduction to Python: release 2.2.2. *Network Theory Ltd*.
- Villalobos, G. M., Flórez Méndez, D., & Bravo Osorio, N. (2017). Desarrollo de un sistema web y móvil para la gestión de cultivos agrícolas. *Developing a web and mobile system for crop management*.
- SIGPAC. Sistema de información geográfica de parcelas agrícolas. Visor SigPac V 4.6. (s.f.). Junta de Andalucía. Gobierno de España. <https://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>. Fecha de último acceso: 2021-06-14
- Jakimow B., Van der Lindenb S., Thiela F., Frantza D., Hostertac P. (2020). Visualizing and labeling dense multi-sensor earth observation time series. *The EO Time Series Viewer – ScienceDirect*.
- Yebra, M. & Chuvieco, E. (2019). Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. *Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá*.
- Aguilar, N., Mendoza, G., Fortanelli, J., & Contreras servin, C. (2010). Índice normalizado de vegetación en la Huasteca Potosina. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 14, 29–48.



Anexo

```
import ee
ee.Initialize()
from PyQt5.Qt import *
from PyQt5.QtWidgets import *
from PyQt5.QtCore import Qt, QDir, pyqtSlot, QProcess
from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets, QtWebEngineWidgets, uic
from PyQt5.QtWebEngineWidgets import QWebEngineView, QWebEngineSettings
from PyQt5.QtGui import QIcon, QPalette, QColor, QPixmap, QFont
import folium
from folium import plugins
import geemap
import sys
from bokeh import plotting, embed, resources
from bokeh.plotting import figure, output_file, show, save
from bokeh.resources import CDN
import pandas as pd
import os
import sys
from threading import Thread
from PyQt5.QtWidgets import QApplication
from pyqtconsole.console import PythonConsole
import re
from os import stat
from os import chmod
from os import mkdir
from matplotlib.colors import ListedColormap, BoundaryNorm
from matplotlib.collections import LineCollection
import pandas as pd
import json
from ipygee import *
from geetools import batch
from datetime import datetime as dateTim
import matplotlib.dates as dt
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import osgeo
from osgeo import gdal
import geopandas
from pydrive.auth import GoogleAuth
from pydrive.drive import GoogleDrive
import zipfile
import time
import shutil
from geetools import batch

#####
# VENTANA DE INICIO DE SESION

class ventanaLogin(QDialog):

# Características de la ventana
    def __init__(self, parent=None):
        super(ventanaLogin, self).__init__(parent)
        self.setWindowTitle("Spatial Analysis of Agriculture")
        self.setWindowIcon(QIcon("prueba.png"))
        self.setWindowFlags(Qt.WindowCloseButtonHint |
Qt.MSWindowsFixedSizeDialogHint)
        self.setFixedSize(600, 560)
        paleta = QPalette()
        paleta.setColor(QPalette.Background, QColor(243, 243, 243))
        self.setPalette(paleta)
        self.initUI()

# Widgets de la ventana
```

```
def initUI(self):
    paleta = QPalette()
    paleta.setColor(QPalette.Background, QColor(51, 0, 102))
    frame = QFrame(self)
    frame.setFrameShape(QFrame.NoFrame)
    frame.setFrameShadow(QFrame.Sunken)
    frame.setAutoFillBackground(True)
    frame.setPalette(paleta)
    frame.setFixedWidth(800)
    frame.setFixedHeight(95)
    frame.move(0, 0)
    labelIcono = QLabel(frame)
    labelIcono.setFixedWidth(80)
    labelIcono.setFixedHeight(80)
    labelIcono.setPixmap(QPixmap("LOGO.png").scaled(80, 80,
Qt.KeepAspectRatio, Qt.SmoothTransformation))
    labelIcono.move(20, 10)
    fuenteTitulo = QFont()
    fuenteTitulo.setPointSize(16)
    fuenteTitulo.setBold(True)
    labelTitulo = QLabel("<font color='white'>SAA</font>", frame)
    labelTitulo.setFont(fuenteTitulo)
    labelTitulo.move(250, 20)
    fuenteSubtitulo = QFont()
    fuenteSubtitulo.setPointSize(9)
    labelSubtitulo = QLabel("<font color='white'>Servicios cloud computing
de teledetección " "(Python).</font>", frame)
    labelSubtitulo.setFont(fuenteSubtitulo)
    labelSubtitulo.move(111, 55)
    labelCuenta = QLabel("Cuenta", self)
    labelCuenta.move(150, 150)
    self.comboBoxCuenta = QComboBox(self)
    self.comboBoxCuenta.addItem("Administrador", "Usuario")
    self.comboBoxCuenta.setCurrentIndex(-1)
    self.comboBoxCuenta.setFixedWidth(280)
    self.comboBoxCuenta.setFixedHeight(26)
    self.comboBoxCuenta.move(150, 180)
    labelUsuario = QLabel("Usuario", self)
    labelUsuario.move(150, 220)
    frameUsuario = QFrame(self)
    frameUsuario.setFrameShape(QFrame.StyledPanel)
    frameUsuario.setFixedWidth(280)
    frameUsuario.setFixedHeight(28)
    frameUsuario.move(150, 250)
    imagenUsuario = QLabel(frameUsuario)
    imagenUsuario.setPixmap(QPixmap("usuario.png").scaled(20, 20,
Qt.KeepAspectRatio, Qt.SmoothTransformation))
    imagenUsuario.move(10, 4)
    self.lineEditUsuario = QLineEdit(frameUsuario)
    self.lineEditUsuario.setFrame(False)
    self.lineEditUsuario.setTextMargins(8, 0, 4, 1)
    self.lineEditUsuario.setFixedWidth(238)
    self.lineEditUsuario.setFixedHeight(26)
    self.lineEditUsuario.move(40, 1)
    labelContrasenia = QLabel("Contraseña", self)
    labelContrasenia.move(150, 290)
    labelContrasenia.setFixedWidth(180)
    frameContrasenia = QFrame(self)
    frameContrasenia.setFrameShape(QFrame.StyledPanel)
    frameContrasenia.setFixedWidth(280)
    frameContrasenia.setFixedHeight(28)
    frameContrasenia.move(150, 320)
    imagenContrasenia = QLabel(frameContrasenia)
    imagenContrasenia.setPixmap(QPixmap("contraseña.png").scaled(20, 20,
Qt.KeepAspectRatio, Qt.SmoothTransformation))
    imagenContrasenia.move(10, 4)
    self.lineEditContrasenia = QLineEdit(frameContrasenia)
```

```
self.lineEditContrasenia.setFrame(False)
self.lineEditContrasenia.setEchoMode(QLineEdit.Password)
self.lineEditContrasenia.setTextMargins(8, 0, 4, 1)
self.lineEditContrasenia.setFixedWidth(238)
self.lineEditContrasenia.setFixedHeight(26)
self.lineEditContrasenia.move(40, 1)
buttonLogin = QPushButton("Iniciar sesión", self)
buttonLogin.setFixedWidth(145)
buttonLogin.setFixedHeight(35)
buttonLogin.move(150, 380)
buttonCancelar = QPushButton("Cancelar", self)
buttonCancelar.setFixedWidth(145)
buttonCancelar.setFixedHeight(35)
buttonCancelar.move(310, 380)
labelInformacion = QLabel("<a href='https://espacial-analisis-of-
agriculture.webnode.es/' "sub_confirmation=1'>Más información sobre el
programa</a>.", self)
labelInformacion.setOpenExternalLinks(True)
labelInformacion.setToolTip("Web Spatial Analysis of Agriculture")
labelInformacion.move(50, 500)
labelInformacion.setFixedWidth(350)
labelqr = QLabel(self)
qr = QPixmap('QR.jpg')
labelqr.setPixmap(qr)
self.resize(qr.width(),qr.height())
labelqr.setFixedWidth(150)
labelqr.setFixedHeight(150)
labelqr.move(465,415)
buttonLogin.clicked.connect(self.Login)
buttonCancelar.clicked.connect(self.close)

# Funcion que realiza

def Login(self):
    cuenta = self.comboBoxCuenta.currentText()
    usuario = self.lineEditUsuario.text()
    contrasenia = self.lineEditContrasenia.text()
    msg = QMessageBox(self)

    if self.lineEditUsuario.text() == 'TFG' and
self.lineEditContrasenia.text() == '123456':
        msg.setText(';Aceptado!')
        msg.setWindowTitle("Spatial Analysis of Agriculture")
        msg.exec_()
        self.close()
        self.ventanaprincipal = MainWindow()
        self.ventanaprincipal.show()
    else:
        msg.setText(';Contraseña o usuario incorrecto!')
        msg.setWindowTitle("Spatial Analysis of Agriculture")
        msg.exec_()

#####

# VENTANA PRINCIPAL DEL PROGRAMA

#####

# Ventana de informacion de los indices

class INDICES(QWidget):
    def __init__(self):
```

```

        super().__init__()
        self.setWindowTitle("Spatial Analysis of Agriculture")
        self.setWindowIcon(QIcon("prueba.png"))
    self.setWindowFlags(Qt.WindowCloseButtonHint |
Qt.MSWindowsFixedSizeDialogHint)
        self.setFixedSize(600, 560)
        self.imagen()
    def imagen(self):
        hbox = QHBoxLayout(self)
        pixmap = QPixmap("infoindex.png").scaled(560, 530)
        lbl = QLabel(self)
        lbl.setPixmap(pixmap)
        hbox.addWidget(lbl)
        self.setLayout(hbox)
        self.move(600,100)
        self.setWindowTitle('INFORMACION')
        self.show()

# Ventana para Google Drive
class Dialog(QDialog):
    def __init__(self, parent=None):
        super(Dialog, self).__init__(parent)
        self.setWindowTitle("Spatial Analysis of Agriculture")
        self.setWindowIcon(QIcon("prueba.png"))
        self.setWindowFlags(Qt.WindowCloseButtonHint |
Qt.MSWindowsFixedSizeDialogHint)
        self.setFixedSize(600, 560)
        self.label = QtWidgets.QLabel("Nombre del archivo", self)
        self.label.setGeometry(QRect(40, 105, 241, 19))
        self.label_2 = QtWidgets.QLabel("IDE del archivo", self)
        self.label_2.setGeometry(QRect(40, 195, 241, 19))
        self.nombreakivo = QtWidgets.QLineEdit("", self)
        self.nombreakivo.setGeometry(QRect(255, 105, 251, 31))
        self.nombreakivo.setText("")
        self.ide = QtWidgets.QLineEdit("", self)
        self.ide.setGeometry(QRect(255, 190, 251, 31))
        self.ide.setText("")
        self.cancelar = QPushButton("Cancelar", self)
        self.cancelar.setFixedSize(145, 35)
        self.cancelar.move(250, 500)
        self.aceptar = QPushButton("Aceptar", self)
        self.aceptar.setFixedSize(145, 35)
        self.aceptar.move(420, 500)
        self.label_3 = QtWidgets.QLabel(self)
        imagen = QPixmap("googledriv.png").scaled(600,70)
        self.label_3.setPixmap(imagen)
        self.label_3.move(0,0)
        self.label_4 = QtWidgets.QLabel(self)
        imagen2 = QPixmap("IDE.png").scaled(500,120)
        self.label_4.setPixmap(imagen2)
        self.label_4.move(50,300)
        self.aceptar.clicked.connect(self.auten)

    def autent(self):
        self.ventanaprincipal2 = MainWindow()
        self.ventanaprincipal2.close()
        nombre_archivo = self.nombreakivo.text()
        ide = self.ide.text()
        gauth = GoogleAuth()
        gauth.LocalWebserverAuth()
        drive = GoogleDrive(gauth)
        gauth.CommandLineAuth()
        file_list = drive.ListFile({'q': "'root' in parents'}).GetList()
        for file1 in file_list:
            print('title: %s, id: %s' % (file1['title'], file1['id']))

```



```
file = drive.CreateFile({'id': '{}'.format(ide)})
file.GetContentFile("{} .zip".format(nombre_archivo))
zipfilename = "{}.zip".format(nombre_archivo)
z = zipfile.ZipFile(zipfilename, "r")
try:
    z.extractall(pwd=None)
except:
    msg = QMessageBox(self)
    msg.setText(';Nombre de la parcela o IDE incorrecto!')
    msg.setWindowTitle("Spatial Analysis of Agriculture")
    msg.exec_()
    pass
z.close()
self.msg = QMessageBox(self)
self.msg.setText(';Aceptado!')
self.msg.setWindowTitle("Spatial Analysis of Agriculture")
self.msg.exec_()
self.ventanaprincipal2 = MainWindow()
self.ventanaprincipal2.show()

self.ventanaprincipal2.label_6.setText("{} .shp".format(nombre_archivo))
parcela = geemap.shp_to_ee("{} .shp".format(nombre_archivo))
centroide = parcela.geometry().getInfo()['coordinates']
for i in centroide[0]:
    i.reverse()
def centroid(vertexes):
    _x_list = [vertex [0] for vertex in vertexes]
    _y_list = [vertex [1] for vertex in vertexes]
    _len = len(vertexes)
    _x = sum(_x_list) / _len
    _y = sum(_y_list) / _len
    return(_x, _y)
mapa = folium.Map(centroid(centroide[0]), zoom_start=12, height=190)
folium.Polygon(centroide, color='blue', fill=False,
tooltip='Parcela').add_to(mapa)
plugins.Fullscreen().add_to(mapa)
plugins.LocateControl().add_to(mapa)
mapa.save("C:/Users/GUILLERMO SALVADOR/Desktop/TFG/pyqt5/pre2.html")

self.ventanaprincipal2.webEngineView_3.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/TFG/pyqt5/pre2.html"))
self.close()

# Ventana del programa
class MainWindow(QMainWindow):
    def __init__(self, parent=None):

# Caracteristicas de la ventana fisica
    super(MainWindow, self).__init__(parent)
    self.setObjectName("Spatial Analysis of Agriculture")
    self.setWindowTitle("Spatial Analysis of Agriculture")
    self.setStyleSheet("\n" "font: 8pt \"Nirmala UI\";")
    self.setStyleSheet("background-color: rgb(243, 243, 243)")
    self.resize(2015, 1033)
    self.setWindowIcon(QtGui.QIcon('LOGO.png'))
    self.centralwidget = QtWidgets.QWidget()
    self.centralwidget.setObjectName("centralwidget")
    self.menubar = QtWidgets.QMenuBar()
    self.menubar.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 2015, 27))
    self.menubar.setObjectName("menubar")
    self.setMenuBar(self.menubar)
    self.statusbar = QtWidgets.QStatusBar()
    self.statusbar.setObjectName("statusbar")
    self.setStatusBar(self.statusbar)

# Recuadros para marcar la situacion de los widgets
    self.frame = QtWidgets.QFrame(self.centralwidget)
    self.frame_2 = QtWidgets.QFrame(self.centralwidget)
```

```
self.frame_2.setGeometry(QtCore.QRect(19, 254, 881, 521))
self.frame_2.setFrameShape(QtWidgets.QFrame.StyledPanel)
self.frame_2.setFrameShadow(QtWidgets.QFrame.Plain)
self.frame_2.raise_()
self.frame_3 = QtWidgets.QFrame(self.centralwidget)
self.frame_3.setGeometry(QtCore.QRect(898, 0, 1011, 775))
self.frame_3.setFrameShape(QtWidgets.QFrame.StyledPanel)
self.frame_3.setFrameShadow(QtWidgets.QFrame.Plain)
self.frame_3.raise_()
# Widgets para visualizar imágenes y mapas
self.webEngineView =
QtWebEngineWidgets.QWebEngineView(self.centralwidget)
self.webEngineView.setGeometry(QtCore.QRect(910, 10, 991, 751))
self.webEngineView.setUrl(QtCore.QUrl("about:blank"))
self.webEngineView_2 =
QtWebEngineWidgets.QWebEngineView(self.centralwidget)
self.webEngineView_2.setEnabled(True)
self.webEngineView_2.setGeometry(QtCore.QRect(30, 260, 864, 504))
self.webEngineView_2.setMouseTracking(False)
self.webEngineView_2.setTabletTracking(False)
self.webEngineView_2.setAutoFillBackground(False)
self.webEngineView_2.setUrl(QtCore.QUrl("about:blank"))
self.webEngineView_3 =
QtWebEngineWidgets.QWebEngineView(self.centralwidget)
self.webEngineView_3.setGeometry(QtCore.QRect(30, 80, 391, 161))
self.webEngineView_3.setUrl(QtCore.QUrl("about:blank"))
self.webEngineView.raise_()
self.webEngineView_2.raise_()
self.webEngineView_3.raise_()

# Etiquetas para marcar informacion
self.label = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label.setGeometry(QtCore.QRect(500, 40, 141, 19))
self.label.setText("Fecha de inicio")
self.label.raise_()
self.label_2 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_2.setGeometry(QtCore.QRect(540, 10, 241, 19))
self.label_2.setText("SELECCIONAR FECHA")
self.label_2.raise_()
self.label_3 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_3.setGeometry(QtCore.QRect(500, 70, 141, 31))
self.label_3.raise_()
self.label_3.setText("Fecha final")
self.label_4 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_4.setGeometry(QtCore.QRect(60, 10, 241, 19))
self.label_4.setText("SELECCIONAR ARCHIVO")
self.label_4.raise_()
self.label_5 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_5.setGeometry(QtCore.QRect(530, 130, 241, 19))
self.label_5.setText("INDICE DE VEGETACIÓN")
self.label_5.raise_()
self.label_6 = QtWidgets.QLineEdit(self.centralwidget)
self.label_6.setGeometry(QtCore.QRect(30, 40, 351, 31))
self.label_6.setText("")
self.label_6.setStyleSheet("background-color: rgb(250, 250, 250)")
self.label_6.raise_()
self.label_7 = QtWidgets.QLineEdit(self.centralwidget)
self.label_7.setGeometry(QtCore.QRect(1540, 835, 351, 31))
self.label_7.setText("")
self.label_7.raise_()
self.labelcuadros = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.labelcuadros.setText('MAPA de la parcela')
self.labelcuadros.move(1370,5)
self.labelcuadros.setFixedWidth(175)
self.labelcuadros2 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.labelcuadros2.setText('GRÁFICA')
self.labelcuadros2.move(420,260)
self.labelcuadros2.setFixedWidth(85)
```

```

        self.labelInformacion = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
        self.labelInformacion.setText("<a href='https://espacial-analisis-of-agriculture.webnode.es/" "sub_confirmation=1'>Más información sobre el programa</a>")
        self.labelInformacion.setOpenExternalLinks(True)
        self.labelInformacion.setToolTip("Web Spatial Analysis of Agriculture")
        self.labelInformacion.move(1550, 930)
        self.labelInformacion.setFixedWidth(350)
        self.setCentralWidget(self.centralwidget)

# Botones o pulsadores
        self.pushButton = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
        self.pushButton.setGeometry(QtCore.QRect(750, 200, 131, 41))
        self.pushButton.setText("VISUALIZAR")
        self.pushButton.setStyleSheet("background-color: rgb(250, 250, 250)")
        self.pushButton.raise_()
        self.pushButton_2 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
        self.pushButton_2.setGeometry(QtCore.QRect(770, 150, 112, 34))
        self.pushButton_2.setStyleSheet("background-color: rgb(250, 250, 250)")
        self.pushButton_2.setText("Guardar")
        self.pushButton_2.raise_()
        self.radioButton_2 = QtWidgets.QRadioButton(self.centralwidget)
        self.radioButton_2.setGeometry(QtCore.QRect(540, 210, 119, 23))
        self.radioButton_2.setText("NDWI")
        self.radioButton_2.raise_()
        self.radioButton_3 = QtWidgets.QRadioButton(self.centralwidget)
        self.radioButton_3.setGeometry(QtCore.QRect(540, 170, 119, 23))
        self.radioButton_3.setText("NDVI")
        self.radioButton_3.raise_()
        self.toolButton = QtWidgets.QToolButton(self.centralwidget)
        self.toolButton.setGeometry(QtCore.QRect(490, 130, 32, 25))
        self.toolButton.setText("...")
        self.toolButton.raise_()
        self.toolButton_2 = QtWidgets.QToolButton(self.centralwidget)
        self.toolButton_2.setGeometry(QtCore.QRect(390, 40, 32, 31))
        self.toolButton_2.setIcon(QtGui.QIcon('carpeta.jpg'))
        self.toolButton_2.setText("...")
        self.toolButton_2.setStyleSheet("background-color: rgb(250, 250, 250)")
        self.toolButton_2.raise_()
        self.gd = QtWidgets.QToolButton(self.centralwidget)
        self.gd.setGeometry(QtCore.QRect(390, 4, 32, 31))
        self.gd.setIcon(QtGui.QIcon('gd.png'))
        self.gd.setText("...")
        self.gd.setStyleSheet("background-color: rgb(250, 250, 250)")
        self.gd.raise_()
        self.botonsig = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
        self.botonsig.setGeometry(QtCore.QRect(1760, 790, 130, 30))
        self.botonsig.setText('Siguiente')
        self.botonsig.setStyleSheet("background-color: rgb(250, 250, 250)")
        self.botonant = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
        self.botonant.setGeometry(QtCore.QRect(1540, 790, 130, 30))
        self.botonant.setText('Anterior')
        self.botonant.setStyleSheet("background-color: rgb(250, 250, 250)")

# Widget del calendario
        self.cal = QDateTimeEdit(self.centralwidget)
        self.cal.setCalendarPopup(True)
        self.cal.setDisplayFormat("yyyy-MM-dd")
        self.cal.calendarWidget().setStyleSheet("background-color: rgb(192, 192, 192)")
        self.cal.setGeometry(QtCore.QRect(650, 40, 141, 25))
        self.cal.setDate(QtCore.QDate.currentDate())
        self.cal.setDateRange(QDate(2010,1,1),QDate(2024,12,12))
        self.cal2 = QDateTimeEdit(QDate.currentDate(),self)
        self.cal2.setCalendarPopup(True)
        self.cal2.setDisplayFormat("yyyy-MM-dd")

```

```

self.cal2.calendarWidget().setStyleSheet("background-color: rgb(192, 192, 192)")
    self.cal2.setGeometry(QtCore.QRect(650, 70, 141, 25))
    self.cal2.setDateRange(QDate(2010,1,1),QDate(2024,12,12))

# Consola de errores e indicaciones y recuadro de datos
self.consola = QtWidgets.QTextEdit(self.centralwidget)
self.consola.setGeometry(QtCore.QRect(700, 794, 830, 105))
self.consola.setStyleSheet("background-color: rgb(229, 229, 229)")
self.datosindice = QtWidgets.QTextEdit(self.centralwidget)
self.datosindice.setGeometry(QtCore.QRect(20, 794, 675, 165))
self.datosindice.setStyleSheet("background-color: rgb(229, 229, 229)")
self.cargando = QtWidgets.QProgressBar(self.centralwidget)
self.cargando.setGeometry(QtCore.QRect(780, 910, 631, 23))

# Funciones de los botones
self.toolButton.clicked.connect(self.indices)
self.pushButton.clicked.connect(self.mapa)
self.toolButton_2.clicked.connect(self.buscararchivo)
self.botonant.clicked.connect(self.anterior)
self.botonsig.clicked.connect(self.siguiete)
self.pushButton_2.clicked.connect(self.guardar)
self.gd.clicked.connect(self.googledrive)
self.submit_counter = 0

# Funcion del programa #####

def mapa(self):
    if self.label_6.text() == '':
        self.consola.setText('Archivo de la parcela no encontrado.
Cárguelo en la parte superior de la pantalla')
    else:
        if self.radioButton_3.isChecked() == True:

            # CALCULO DEL NDVI
            try:
                shutil.rmtree("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI")
                os.mkdir("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI")
            except:
                None
            self.consola.setText('Cargando NDVI... Espere por favor')
            for i in range(101):
                time.sleep(0.04)
                self.cargando.setValue(i)
            try:
                i_date = self.cal.date().toString("yyyy-MM-dd")
                f_date = self.cal2.date().toString("yyyy-MM-dd")
                file = self.label_6.text()
                parcela = geemap.shp_to_ee(file)
                centroide = parcela.geometry().getInfo()['coordinates']
                for i in centroide[0]:
                    i.reverse()
                def centroid(vertexes):
                    _x_list = [vertex [0] for vertex in vertexes]
                    _y_list = [vertex [1] for vertex in vertexes]
                    _len = len(vertexes)
                    _x = sum(_x_list) / _len
                    _y = sum(_y_list) / _len
                    return(_x, _y)

            # MÁSCARA DE NUBES
            def ESAcloudMask(img):
                qa = img.select('QA60')
                # bits 10 and 11 son nubes y cirros
                cloudBitMask = int(2**10)

```

```

        cirrusBitMask = int(2**11)
        # Si 0 indicates condiciones claras.
        clear = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).And(
            qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0))
        # Nubes no estan claras
        cloud = clear.Not().rename(['ESA_clouds'])
        # Devuelve la banda de máscara de nubes.
        return img.addBands(cloud)
        return img.updateMask(clear)

    # COLECCION
    coleccion = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR').filterDate(i_date,
f_date).filterBounds(parcela).map(ESAcloudMask)
        lista = coleccion.toList(coleccion.size())
        def centro(imagen):
            coordenadas = imagen.get('system:footprint').getInfo()['coordinates']
            longitud = 0
            latitud = 0
            for i in range(len(coordenadas)):
                longitud = longitud + coordenadas[i-1][0]
                latitud = latitud+coordenadas[i-1][1]
            longitud = longitud/(len(coordenadas))
            latitud = latitud/(len(coordenadas))
            return (longitud, latitud)

# CALCULO DEL NDVI A TODAS LAS IMAGENES CON UN REDUCER ALMACENANDO EN
DATAFRAME
df2 = pd.DataFrame()
for i in range(0, lista.size().getInfo()):
    imagen = ee.Image(lista.get(i))
    ndvi = imagen.addBands(imagen.normalizedDifference(['B8',
'B4'])).rename('NDVI').select('NDVI').clip(parcela)
    coleccion2 = ee.ImageCollection(ndvi)
    try:
        tabla = chart.Image.series(**{
            'imageCollection': coleccion2,
            'region': parcela,
            'reducer': ee.Reducer.mean(),
            'scale': 10,
            'bands': 'NDVI'
        })
    except:
        formatter = dt.DateFormatter('%Y-%m-%d')
        locator = dt.MonthLocator()
        df = tabla.dataframe
        df2 = df2.append(df, ignore_index=False)
    self.consola.setText('Cloudy scene')
    def add_ee_layer(self, ee_image_object, vis_params, name):
        map_id_dict = ee.Image(ee_image_object).getMapId(vis_params)
        folium.raster_layers.TileLayer(tiles=map_id_dict['tile_fetcher'].url_format,at
tr='Map Data &copy; <a href="https://earthengine.google.com/">Google Earth
Engine</a>',name=name,overlay=True,control=True).add_to(self)
        vis_params_RGB = {
            'min': 0,
            'max': 3500,
            'bands': ['B4', 'B3', 'B2']}
        ndvi_params = {'min': 0, 'max': 1,
            'palette': ['FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718',
            '74A901', '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201', '004C00','023B01',
            '012E01', '011D01', '011301']}
        folium.Map.add_ee_layer = add_ee_layer
        coordenadas_centrales = centro(imagen)
        longitud = coordenadas_centrales[0]
        latitud = coordenadas_centrales[1]
        mi_mapa = folium.Map(centroid(centroide[0]), zoom_start=10, height=1000)
        folium.Polygon(centroide, color='red', fill=False,
        tooltip='Parcela').add_to(mi_mapa)
        mi_mapa.add_ee_layer(imagen, vis_params_RGB, 'Sentinel')

```

```

mi_mapa.add_ee_layer(ndvi, ndvi_params, 'NDVI')

# PLUGINS
plugins.Fullscreen().add_to(mi_mapa)
plugins.LocateControl().add_to(mi_mapa)
fmtr = "function(num) {return L.Util.formatNum(num, 3) + ' ° ';;}"
plugins.MousePosition(position='topright', separator=' | ',prefix="Mouse:",
lat_formatter=fmtr, lng_formatter=fmtr).add_to(mi_mapa)
plugins.Draw(export=True, filename='data.geojson', position='topleft',
draw_options=None, edit_options=None).add_to(mi_mapa)
plugins.MeasureControl(position='topright', primary_length_unit='meters',
secondary_length_unit='miles',primary_area_unit='sqmeters',
secondary_area_unit='acres').add_to(mi_mapa)
mi_mapa.add_child(folium.LayerControl())

#Guardar
info = str(ndvi.getInfo()['id'])
info = re.sub("/", "", info)
try:
carpeta = os.mkdir("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI/{}".format(info))
except:
None
mi_mapa.save("C:/Users/GUILLERMOSALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI/{}NDVI.ht
ml".format(info))

#Valores NDVI para pintar
# df2.index.names = ['']
df2.rename(columns={'NDVI' : 'VALOR DEL INDICE'}, inplace=True)
df2 = df2.drop(df2[df2['VALOR DEL INDICE']<0.20].index)
# df2.plot(kind='bar')
# plt.ylim(0,1)

# PINTAR EN GRAFICA LOS RESULTADOS
dates = df2.index.values
indexes = df2.columns
index_count = 0
index_total = len(indexes)
plt.figure(figsize=(12,7))
ax = plt.gca()
ax.set_title('VALORES DEL INDICE EN EL TIEMPO')
ax.set_xlabel("Tiempo (fechas)", fontsize=14, labelpad=10)
ax.set_ylabel("Valor del índice", fontsize=14, labelpad=10)
ax.set_ylim(0, 1)
for i in range(index_total):
    index = indexes[i]
    data=df2[index]
    plt.plot(dates,data,label=index)
    plt.xticks(rotation=25)
    plt.grid()
    plt.legend()
    plt.savefig('C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI/Índice.jpg')

    self.datosindice.setText(str(df2))
    self.consola.setText('Visualizando NDVI...')
    self.webEngineView.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI/{}NDVI.html".format(info)))

self.webEngineView_2.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI/Índice.jpg"))
info = info[:23]
self.label_7.setText('{}'.format(info))
self.cargando.setValue(0)
except:
self.consola.setText('No hay imágenes disponible. Amplíe el plazo de tiempo o
modifíquelo')
elif self.radioButton_2.isChecked() == True:

```

```

# CALCULO DEL NDWI
try:
shutil.rmtree("C:/Users/GUILLERMO SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI")
os.mkdir("C:/Users/GUILLERMO SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI")
except:
    None
self.consola.setText('Cargando NDWI... Espere por favor')
for i in range(101):
    time.sleep(0.04)
    self.cargando.setValue(i)
try:
    i_date = self.cal.date().toString("yyyy-MM-dd")
    f_date = self.cal2.date().toString("yyyy-MM-dd")
    file = self.label_6.text()
    parcela = geemap.shp_to_ee(file)
    centroide = parcela.geometry().getInfo()['coordinates']
    for i in centroide[0]:
        i.reverse()
    def centroid(vertexes):
        _x_list = [vertex [0] for vertex in vertexes]
        _y_list = [vertex [1] for vertex in vertexes]
        _len = len(vertexes)
        _x = sum(_x_list) / _len
        _y = sum(_y_list) / _len
        return(_x, _y)

# MÁSCARA DE NUBES
def ESAcloudMask(img):
    qa = img.select('QA60')
    # bits 10 and 11 son nubes y cirros
    cloudBitMask = int(2**10)
    cirrusBitMask = int(2**11)
    # Si 0 indicates condiciones claras.
    clear = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).And(
        qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0))
    # Nubes no estan claras
    cloud = clear.Not().rename(['ESA_clouds'])
    # Devuelve la banda de máscara de nubes.
    return img.addBands(cloud)
    return img.updateMask(clear)

# COLECCION
coleccion = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR').filterDate(i_date,
f_date).filterBounds(parcela).map(ESAcloudMask)
lista = coleccion.toList(coleccion.size())
def centro(imagen):
    coordenadas = imagen.get('system:footprint').getInfo()['coordinates']
    longitud = 0
    latitud = 0
    for i in range(len(coordenadas)):
        longitud = longitud + coordenadas[i-1][0]
        latitud = latitud+coordenadas[i-1][1]
    longitud = longitud/(len(coordenadas))
    latitud = latitud/(len(coordenadas))
    return (longitud, latitud)

# CALCULO DEL NDVI A TODAS LAS IMAGENES CON UN REDUCER ALMACENANDO EN
DATAFRAME
df2 = pd.DataFrame()
for i in range(0, lista.size().getInfo()):
    imagen = ee.Image(lista.get(i))
    ndwi= imagen.addBands(imagen.normalizedDifference(['B8',
'B11'])).rename('NDWI').select('NDWI').clip(parcela)
    coleccion2 = ee.ImageCollection(ndwi)
    try:
        tabla = chart.Image.series(**{

```

```

        'imageCollection': coleccion2,
        'region': parcela,
        'reducer': ee.Reducer.mean(),
        'scale': 10,
        'bands': 'NDWI'
    })
    formatter = dt.DateFormatter('%Y-%m-%d')
    locator = dt.MonthLocator()
    df = tabla.dataframe
    df2 = df2.append(df, ignore_index=False)
except:
    self.consola.setText('Cloudy scene')
def add_ee_layer(self, ee_image_object, vis_params, name):
    map_id_dict = ee.Image(ee_image_object).getMapId(vis_params)
    folium.raster_layers.TileLayer(
        tiles=map_id_dict['tile_fetcher'].url_format,
attr='Map Data &copy; <a href="https://earthengine.google.com/">Google Earth
Engine</a>',
        name=name,
        overlay=True,
        control=True
    ).add_to(self)
    vis_params_RGB = {
        'min': 0,
        'max': 3500,
        'bands': ['B4', 'B3', 'B2']}
    ndwi_params = {'min': -0.5, 'max': 1.0,
        'palette': ['1A3678', '2955BC', '5699FF', '8DBAE9', 'ACD1FF', 'CAEBFF',
'E5F9FF', 'FDFFB4', 'FFE6A2', 'FFC969', 'FFA12D', 'FF7C', 'CA531A', 'FF0000',
'AB0000']}
    folium.Map.add_ee_layer = add_ee_layer
    coordenadas_centrales = centro(imagen)
    longitud = coordenadas_centrales[0]
    latitud = coordenadas_centrales[1]
    mi_mapa =folium.Map(centroid(centroide[0]), zoom_start=10,
height=1000)
    folium.Polygon(centroide, color='red', fill=False, t
ooltip='Parcela').add_to(mi_mapa)
mi_mapa.add_ee_layer(imagen, vis_params_RGB, 'Sentinel')
mi_mapa.add_ee_layer(ndwi, ndwi_params, 'NDWI')

# PLUGINS
plugins.Fullscreen().add_to(mi_mapa)
plugins.LocateControl().add_to(mi_mapa)
    fmtr = "function(num) {return L.Util.formatNum(num, 3) + ' ° ';;}"
plugins.MousePosition(position='topright', separator=' | ', prefix="Mouse:",
lat_formatter=fmtr,
lng_formatter=fmtr).add_to(mi_mapa)
plugins.Draw(export=True, filename='data.geojson', position='topleft',
draw_options=None, edit_options=None).add_to(mi_mapa)
plugins.MeasureControl(position='topright', primary_length_unit='meters',
secondary_length_unit='miles',
primary_area_unit='sqmeters', secondary_area_unit='acres').add_to(mi_mapa)
mi_mapa.add_child(folium.LayerControl())
info = str(ndwi.getInfo()['id'])
info = re.sub("/", "", info)

try:
carpeta = os.mkdir("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI/{}".format(info))
except:
    None
mi_mapa.save("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI/{}/NDWI.html".format(info))
# df2.index.names = ['']
df2.rename(columns={'NDWI' : 'VALOR DEL INDICE'}, inplace=True)
# df2.plot(kind='bar')
# plt.ylim(0,1)

```



```

# PINTAR EN GRAFICA LOS RESULTADOS
dates = df2.index.values
indexes = df2.columns
index_count = 0
index_total = len(indexes)
plt.figure(figsize=(12,7))
ax = plt.gca()
ax.set_title('VALORES DEL INDICE EN EL TIEMPO')
ax.set_xlabel("Tiempo (fechas)", fontsize=14, labelpad=10)
ax.set_ylabel("Valor del índice", fontsize=14, labelpad=10)
ax.set_ylim(-0.2, 1)
for i in range(index_total):
    index = indexes[i]
    data=df2[index]
    plt.plot(dates,data,label=index)
    plt.xticks(rotation=25)
    plt.grid()
    plt.legend()
    plt.savefig('C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI/Índice.jpg')
    self.datosindice.setText(str(df2))
    self.consola.setText('Visualizando NDWI...')
    self.webEngineView.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI/{}NDWI.html".format(info)))

self.webEngineView_2.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI/Índice.jpg"))
    info = info[:23]
    self.label_7.setText('{}'.format(info))
    self.cargando.setValue(0)
except:
    self.consola.setText('No hay imágenes disponible. Amplie
el plazo de tiempo o modifíquelo')
else:
    self.consola.setText('Indique un índice a mostrar')

##### OTRAS FUNCIONES DE BOTONES #####
def buscararchivo(self):
    try:
        file,_ = QFileDialog.getOpenFileName(None, 'Buscar Archivo',
QDir.homePath(), "All Files (*);; Shape files (*.shp)",)
        parcela = geemap.shp_to_ee(file)
        centroide = parcela.geometry().getInfo()['coordinates']
        for i in centroide[0]:
            i.reverse()
        def centroid(vertexes):
            _x_list = [vertex [0] for vertex in vertexes]
            _y_list = [vertex [1] for vertex in vertexes]
            _len = len(vertexes)
            _x = sum(_x_list) / _len
            _y = sum(_y_list) / _len
            return(_x, _y)
        mapa = folium.Map(centroid(centroide[0]), zoom_start=12,
height=190)
        folium.Polygon(centroide, color='blue', fill=False,
tooltip='Parcela').add_to(mapa)
        plugins.Fullscreen().add_to(mapa)
        plugins.LocateControl().add_to(mapa)
        mapa.save("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/TFG/pyqt5/pre.html")
        self.webEngineView_3.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/TFG/pyqt5/pre.html"))
        self.label_6.setText(file)
    except:
        self.consola.setText("No ha sido posible cargar el archivo. Revise
el formato o conexión a internet")

```

```
#####
#Informacion sobre los indices

def indices(self):
    self.infoindex = INDICES()
    self.infoindex.show()
#####
def googledrive(self):
    self.googledrivedef = Dialog()
    self.googledrivedef.show()
#####
#Pasar de un mapa a otro
def siguiente(self):
    if self.radioButton_3.isChecked() == True:
        fichero = "C:/Users/GUILLERMO SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI"
        contenido = os.listdir(fichero)
        i = len(contenido) - 1
        self.submit_counter += 1
        j = self.submit_counter - i
        if j > i:
            j = i
        self.webEngineView.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI/{}NDVI.html".format(contenido[j])))
        info2 = contenido[j]
        info2 = info2[:23]
        self.label_7.setText('{}'.format(info2))
        print(j)

    elif self.radioButton_2.isChecked() == True:
        fichero = "C:/Users/GUILLERMO SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI"
        contenido = os.listdir(fichero)
        i = len(contenido) - 1
        self.submit_counter += 1
        j = self.submit_counter - i
        if j < 0:
            j = 0
        self.webEngineView.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI/{}NDWI.html".format(contenido[j])))
        info2 = contenido[j]
        info2 = info2[:23]
        self.label_7.setText('{}'.format(info2))
        print(j)
    else:
        self.consola.setText('Indique un índice a mostrar')
def anterior(self):
    if self.radioButton_3.isChecked() == True:
        fichero = "C:/Users/GUILLERMO SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI"
        contenido = os.listdir(fichero)
        i = len(contenido) - 1
        self.submit_counter += 1
        j = (i - self.submit_counter)
        if j < 0:
            j = 0
        self.webEngineView.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDVI/{}NDVI.html".format(contenido[j])))
        info2 = contenido[j]
        info2 = info2[:23]
        self.label_7.setText('{}'.format(info2))
        print(j)

    elif self.radioButton_2.isChecked() == True:
        fichero = "C:/Users/GUILLERMO SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI"
        contenido = os.listdir(fichero)
        i = len(contenido) - 1
        self.submit_counter += 1
        j = (i - self.submit_counter)
        if j < 0:
```

```
        j = 0
        print(j)
        self.webEngineView.setUrl(QtCore.QUrl("C:/Users/GUILLERMO
SALVADOR/Desktop/SAA/ResultadosNDWI/{}NDWI.html".format(contenido[j])))
        info2 = contenido[j]
        info2 = info2[:23]
        self.label_7.setText('{}'.format(info2))
        print(j)
    else:
        self.consola.setText('Indique un índice a mostrar')

# Guardar el mapa y el grafico del índice
def guardar(self):
    savemap = str(self.webEngineView.url())
    savemap = re.sub("PyQt5.QtCore.QUrl" , "", savemap)
    rango = slice(10,128)
    savemapdef = savemap[rango]
    saveindex = str(self.webEngineView_2.url())
    saveindex = re.sub("PyQt5.QtCore.QUrl" , "", saveindex)
    rango2 = slice(10,75)
    saveindexdef = saveindex[rango2]
    filename, _ = QFileDialog.getSaveFileName(self, "Guardar", "", "Visor
(*.html);;" "Imágenes(*.jpg);;" "All files(*.*)" )
    fin = shutil.copy(savemapdef, filename)
    filename = re.sub(".html", ".jpg", filename)
    fin2 = shutil.copy(saveindexdef, filename)

##### MOSTRAR PROGRAMA #####

if __name__ == '__main__':
    import sys
    aplicacion = QApplication(sys.argv)
    fuente = QFont()
    fuente.setPointSize(10)
    fuente.setFamily("Bahnschrift Light")
    aplicacion.setFont(fuente)
    ventana = ventanaLogin()
    ventana.show()
    sys.exit(aplicacion.exec_())
```

Proyecto de diseño de 3,77 ha de olivar intensivo en riego por goteo en la finca “La Heredad” en el T.M. de Villa del Rio (Córdoba).

Directores:

-Emilio Camacho Ruiz

-Rafael González Perea

Autor:

- Francisco Vacas Carrillo

Córdoba a _28_ de Septiembre de 2021

Índice

Documento 1: Memoria	3
Anejo 1: Estudio climático.....	8
Anejo 2: Estudio edafológico.....	15
Anejo 4: Diseño de la plantación	20
Anejo 5: Técnicas de cultivo	33
Anejo 6: Diseño del riego	55
Anejo 7: Fertirrigación.....	76
Anejo 8: Estudio económico.....	81
Documento 2: Planos	92

Documento 1: Memoria

1.- Contexto

El propietario nos informa de la bajada de rentabilidad que observa en la finca, ya que se trata de una explotación olivarera que se estableció hace 30 años, bajo un diseño de plantación a tres pies y con prácticas de cultivo poco actualizadas, cuya producción empieza a comprometer los ingresos derivados de la recolección de la aceituna, pues con el incremento de precio de los insumos y la actualización de los costes apenas llegan a cubrir gastos.

La parcela cuenta con 3,77 ha de olivar en secano, provista de un pozo con abundante agua por lo que tras hablar con el dueño se le plantea la opción de implantar material vegetal nuevo, con un marco de plantación más reducido al existente (10 x 10 m) que incremente el número de árboles por hectárea. Finalmente, tras informarle sobre los sistemas de producción intensivo y superintensivo, éste nos pide la realización de un estudio de la rentabilidad del sistema intensivo.

2.- Objetivos

Como objetivos del proyecto, se establece el estudio del comportamiento de un olivar destinado a producir frutos para aceite adaptado a las características edafoclimáticas de la zona bajo un sistema de producción intensivo.

Para ello, se estudiarán todas las variables posibles que afecten a la productividad y rendimiento de dicho sistema y así poder ofrecer al propietario de la finca una opción en la que invertir para recuperar la productividad de la finca.

3.- Estudio climático

El anejo nº1, “Estudio climático”, recoge el análisis climático de la zona donde se encuentra la finca. Para su elaboración, se tomaron datos históricos de la estación meteorológica de El Carpio perteneciente a la red de estaciones agroclimáticas de la Junta de Andalucía. La elección de esta se debe a que es la más cercana a la finca, buscando unos datos más cercanos a la realidad.

4.- Estudio edafológico

En el anejo nº 2, “Estudio edafológico”, se muestra el estudio edafológico realizado en la finca. El suelo muestra una textura Franco-Arcillosa, caracterizado por una gran permeabilidad y aireación, lo que nos asegurará una buena circulación del agua sin problemas de drenaje, a la vez de una buena estructura debido a la acción agregante de las arcillas.

Desde la perspectiva de la fertilidad, nuestro análisis de suelo informa de niveles de materia orgánica bajos, íntimamente relacionados con bajo nivel de nitrógeno y una muy baja relación C/N, por lo que se piensa en la incorporación de estiércol en superficie en preplantación.

5.- Diseño de la plantación

el anejo nº 4 “Diseño de la plantación”, se recoge el estudio del diseño de la plantación que se implementará en la finca, el cual será un sistema intensivo de olivar, a petición del propietario, la variedad elegida, será la Picual, ya que satisface las exigencias de calidad del propietario con una buena productividad.

5.1.- Variedad y material vegetal

En cuanto a la variedad elegida, esta como ya se ha comentado anteriormente, será la variedad picual, a petición del propietario.

Es una variedad vigorosa, de elevada y precoz producción, suele ser constante en cuanto a niveles de producción. Es considerada una variedad rustica por su adaptación a diferentes condiciones de clima y suelo, particularmente se considera tolerante a heladas y exceso de humedad en el suelo.

5.2.- Marco de plantación intensivo

Para el marco de plantación, se estipula un modelo intensivo como ya se ha dicho anteriormente, se buscó más allá de la densidad de plantación, incluir un marco que permitiera una correcta iluminación de la copa e implementar mecanización sin ningún tipo de problema, los cuales no deben aparecer con el ancho de calle establecido. En nuestro caso el marco será de 7x5 metros, lo que supone una densidad de plantación de $285 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$.

5.3.- Orientación de las filas

En el caso de nuestra plantación, una orientación Norte-Sur sería adecuada para nuestra plantación.

6.- Técnicas de cultivo

6.1.- Establecimiento del plan anual de fertilización

Para elaborar el plan anual de fertilización de nuestra explotación, se recurrirá al uso de análisis foliares.

6.2.- Poda

En sistema de formación elegido para nuestro olivar intensivo, será de vaso libre, que como ventaja presenta, que respeta en gran medida la tendencia natural del olivo. La poda juega un papel fundamental en este sistema de formación, en la que se deben formar olivos de un solo pie que tengan una rápida entrada en producción, un buen aprovechamiento del medio productivo y permitir una buena mecanización.

6.3.- Riego

En nuestro proyecto, se realizará la instalación de riego por goteo para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. Los cálculos de la cantidad de riego, la red de tuberías, etc. Se encuentran recogidos en el anejo nº 5, '**Diseño del riego**'.

6.4.- Mantenimiento del suelo

En nuestra explotación, la opción elegida será la del uso de cubierta vegetal, que, aunque al principio pueda suponer un inconveniente para el riego, en los pies de los olivos y entre los goteros, se empleará el uso de herbicidas para evitar la competencia del agua con nuestro cultivo.

6.5.- Plagas y enfermedades

En este anejo, se explicará cuales son las principales plagas y enfermedades del olivo y su control.

6.6.- Recolección

En nuestra explotación al tratarse de olivar intensivo, durante los primeros años de vida del proyecto, la recolección se llevará a cabo manualmente para evitar daños en los arboles debido a su juventud y evitar lesiones en los troncos causados por la vibración.

Cuando los arboles alcancen 5 años, será cuando se lleve a cabo la mecanización de la recolección, mediante el uso de un vibrador de tronco con paraguas invertido acoplado a un tractor.

7.- Diseño del riego

En el anejo nº 5 '**Diseño del riego**' se recogen los estudios necesarios para determinar tanto las necesidades hídricas del cultivo como el estudio de las tuberías necesarias.

7.1.- Diseño agronómico

7.2.- Programación de riegos

En nuestro proyecto, a petición del dueño de la finca vamos a realizar un estudio de tres estrategias de riego diferentes, la primera estrategia, será riego a plena producción según

el clima, la segunda estrategia, será riego a plena producción teniendo en cuenta las reservas de agua en el suelo, y por último, la tercera estrategia será riego deficitario, en el cual se ha decidido concentrar el déficit hídrico entre el 15 de julio y el 15 de agosto.

7.3.- Riego a plena producción según clima

En este apartado, se estudia las necesidades hídricas a plena producción del olivar, es decir, reponiendo todo gasto que este pueda tener.

7.4.- Riego a plena producción teniendo en cuenta las reservas de agua en el suelo

En este caso, se calculan las necesidades hídricas teniendo en cuenta el suelo como un depósito de agua que puede abastecer al árbol en los momentos en los que no se riega, lo que conlleva un importante ahorro de los recursos hídricos sin que el árbol sufra un importante estrés hídrico.

7.5.- Riego deficitario controlado

Esta estrategia, lo que pretende es conocer los diferentes efectos del déficit hídrico en el olivar, y regar así en los momentos clave para no reducir notablemente la producción.

7.6.- Numero de emisores por árbol

En este caso, se ha optado por colocar un total de 4 emisores por árbol, distanciados 1 metro entre sí.

7.8.- Diseño hidráulico

El objetivo, es dimensionar las tuberías de riego para obtener la mayor uniformidad de riego posible.

7.9.- Elección del emisor.

En la elección del emisor, se ha optado por un gotero autocompensante, el cual mantiene un caudal uniforme, siempre que la presión de trabajo sea la adecuada, la cual oscila entre 0,7 atm y 4,1 atm, establecemos una presión mínima de trabajo de 1 atm por seguridad.

7.10.- Diseño tuberías

Como resultado hemos obtenido tres estrategias diferentes de riego en la que se plantean tres escenarios, riego a máxima producción, riego teniendo en cuenta las reservas del suelo y riego deficitario controlado, en este caso a la hora de diseñar el riego, se ha realizado con la primera estrategia que es la más restrictiva al ser la que mayor caudal demanda y así si el propietario elegida otra estrategia no tener problemas con los diámetros de tubería elegidos, los cuales han sido de 20mm para ramales de PE, y 63mm

para portaramales de PE. Los emisores elegidos son goteros autocompensantes con un caudal de 4 l/h y con un total de 4 emisores por árbol.

8.- Fertirrigación

El establecimiento de un abonado racional en el olivar basado en la realización de análisis foliares rutinarios, por lo que, para el establecimiento del plan de fertilización, y el posterior cálculo de la dosis de abonado, debemos esperar a que la plantación este establecida.

9.- Estudio económico

Con vistas a decidir si se lleva acabo el proyecto, se procedió a realizar el estudio económico, el cual se presenta en el anejo nº 8 “Estudio económico”.

Para el estudio, se tuvo en cuenta la inversión inicial, y se realizó el análisis de varios indicadores de rentabilidad. Concretamente, se calculó el Valor Añadido Neto (VAN), la relación beneficio- inversión, el plazo de recuperación (Pay-Back) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). A forma de síntesis, se recoge a continuación un resumen del estudio económico:

	Modelo intensivo
Indicadores de rentabilidad	
VAN	79401,23702
Relacion beneficio-inversion	7,14
Plazo de recuperacion	8 años
TIR	32,26%

Con relación a los resultados, se informará al promotor de las ventajas que supondrá la implantación del nuevo sistema de cultivo de olivar intensivo, ya que su análisis ha demostrado que este es rentable.

Anejo 1: Estudio climático

Índice

1. Introducción.....	11
2. Datos climáticos.....	11
2.1. Datos de temperaturas.....	11
2.2. Datos pluviométricos	11
2.3. Datos de humedad relativa.....	12
2.4. Periodos y fechas de heladas.....	12
2.5. Datos del viento.....	12
3. Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	13
4. Conclusiones.....	14

1.- Introducción

Para el desarrollo del estudio climático de la zona donde se sitúa la finca, se han tomado los datos de la estación meteorológica de El Carpio, que pertenecen a la red de estaciones agroclimáticas de la junta de Andalucía, ya que es la estación mas cercana a la zona donde se va a ejecutar el proyecto. Para llevar a cabo el estudio se han tomado datos históricos desde 2010-2021, y se llevara a cabo un promedio de todos ellos.

Estación meteorológica de El Carpio

- Código de estación: 5
- Provincia: Córdoba
- Coordenadas:
X: 367791
Y: 4197330

2.- Datos climáticos

2.1.- Datos de temperaturas

Tabla 1: datos de temperatura medias mensuales.

FECHA	AÑO	T Max	T min	T med
2010-2021		°C	°C	°C
DICIEMBRE	2010/2021	15,38	2,89	8,46
NOVIEMBRE	2010/2021	18,15	6,14	11,57
OCTUBRE	2010/2021	25,09	11,06	17,59
SEPTIEMBRE	2010/2021	31,95	15,57	23,60
AGOSTO	2010/2021	37,24	18,85	28,24
JULIO	2010/2021	38,53	18,79	29,12
JUNIO	2010/2021	34,68	15,48	25,47
MAYO	2010/2021	29,66	11,89	20,81
ABRIL	2010/2021	24,31	9,35	16,43
MARZO	2010/2021	20,21	5,36	12,53
FEBRERO	2010/2021	17,34	3,83	10,16
ENERO	2010/2021	15,10	2,86	8,47

T Max: temperatura máxima media en grados centígrados

T min: temperatura mínima media en grados centígrados

T med: temperatura media en grados centígrados

2.2.- Datos pluviométricos

Tabla 2: precipitación mensual medida en milímetros y días de lluvia mensuales.

FECHA	AÑO	Precip mm/día	NDL días/mes
2010-2021			
DICIEMBRE	2010/2021	1,74	6,69
NOVIEMBRE	2010/2021	2,65	6,84
OCTUBRE	2010/2021	1,81	9,14
SEPTIEMBRE	2010/2021	0,83	5,51
AGOSTO	2010/2021	0,58	3,26
JULIO	2010/2021	0,01	0,54
JUNIO	2010/2021	0,04	0,74
MAYO	2010/2021	0,80	1,29
ABRIL	2010/2021	1,97	3,92
MARZO	2010/2021	1,46	6,48
FEBRERO	2010/2021	1,86	7,51
ENERO	2010/2021	1,37	6,59

2.3.- Datos de humedad relativa

Tabla 3: humedad relativa máxima, humedad relativa mínima y humedad relativa media

FECHA	AÑO	HR Max %	HR min %	HR med %
2010-2021				
DICIEMBRE	2010/2021	96,93	54,24	81,73
NOVIEMBRE	2010/2021	96,42	53,06	79,98
OCTUBRE	2010/2021	87,70	38,66	65,47
SEPTIEMBRE	2010/2021	73,38	25,13	48,47
AGOSTO	2010/2021	61,74	16,98	37,35
JULIO	2010/2021	61,49	14,64	35,09
JUNIO	2010/2021	73,56	19,60	43,02
MAYO	2010/2021	85,89	26,73	55,18
ABRIL	2010/2021	93,64	37,09	68,10
MARZO	2010/2021	94,74	40,11	70,62
FEBRERO	2010/2021	96,43	48,10	77,13
ENERO	2010/2021	97,94	54,69	82,51

2.4.- Heladas

Tabla 4: fechas de heladas.

Periodo de heladas	Media
Primera helada	25 de Diciembre
Última helada	2 de Febrero
Nº de días del periodo de heladas	40 días
Nº de días del periodo libre de heladas	325 días

2.5.-Datos de viento.

Tabla 5: velocidad media del viento.

FECHA	AÑO	U media
2010-2021		m/s
DICIEMBRE	2010/2021	1,37
NOVIEMBRE	2010/2021	1,45
OCTUBRE	2010/2021	1,58
SEPTIEMBRE	2010/2021	1,83
AGOSTO	2010/2021	1,99
JULIO	2010/2021	1,82
JUNIO	2010/2021	1,59
MAYO	2010/2021	1,40
ABRIL	2010/2021	1,63
MARZO	2010/2021	1,81
FEBRERO	2010/2021	1,92
ENERO	2010/2021	1,62

3.- Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Con los datos obtenidos anteriormente, obtenemos los valores de la ET_o según Penman-Monteith.

Tabla 7: ET_o según el método de Penman-Monteith

FECHA	Eto Penman-Monteith
2010-2021	mm/día
DICIEMBRE	1,59
NOVIEMBRE	1,54
OCTUBRE	2,19
SEPTIEMBRE	3,65
AGOSTO	5,43
JULIO	7,03
JUNIO	7,41
MAYO	6,92

ABRIL	5,52
MARZO	3,94
FEBRERO	2,91
ENERO	1,91

4.- Conclusiones

En conclusión, nos encontramos ante un clima mediterráneo de interior, el cual se caracteriza por inviernos templados y lluviosos, lo cual puede suponer un problema para la realización de algunas operaciones, veranos secos y calurosos, y con otoños y primaveras variables tanto en temperaturas como en precipitaciones.

El olivo prospera adecuadamente en zonas con el clima mediterráneo, el cultivo soporta altas temperaturas de hasta 40°C en verano, siempre y cuando la humedad del suelo sea la adecuada, por lo que no se vera afectado en nuestra zona, ya que el mes mas cálido no excede los 38,53°, y hasta -10° o -12° cuando este se encuentra en reposo invernal, por lo que no se vera afectado por el invierno en nuestra zona.

En el caso de la precipitación, aunque el olivo este bien adaptado al secano, si pudiera suponer un inconveniente, pero en este caso nuestra explotación contara con sistema de riego por goteo para cubrir las necesidades en los meses mas secos.

Anejo 2: Estudio edafológico

Índice

1.- Introducción.....	17
2.- Limitaciones físicas.....	17
3.- Limitaciones químicas.....	17
4.- Análisis del suelo.....	17
4.1.- Propiedades físicas	17
4.2.- pH.....	17
4.3.- Materia orgánica.....	17
4.4.- Relación C/N.....	18
4.5.- Salinidad	18
4.6.- Nitrógeno.....	18



4.7.- Fosforo.....	18
4.8.- Potasio.....	18
4.9.- Micronutrientes.....	18
5.- Interpretación de los resultados.....	18

1.-Introduccion

El olivo es una especie frutal que no presenta exigentes requerimientos edafológicos, por lo que ocupa una gran diversidad de suelos, algunos marginales para otros cultivos. Todo esto no quiere decir que el olivo no tenga una serie óptimos para su correcto desarrollo y producción.

El conocimiento de las características el suelo, es imprescindible para el establecimiento de planes de fertilización, el manejo adecuado del riego, y el empleo de sistemas de mantenimiento del suelo compatibles con este. El estudio del suelo antes de establecer la plantación permite realizar las labores previas adecuadas y anticipar soluciones a posibles problemas y limitaciones en el crecimiento de los arboles

2.- Limitaciones físicas

Las propiedades físicas que mas condicionan la aptitud del suelo para el cultivo del olivo son: textura, estructura, condiciones de aireación y profundidad. El conocimiento de estas características es de gran ayuda en la planificación de la fertilización, el manejo del riego y el mantenimiento del suelo. El medio mas conveniente para evaluar la condición física del suelo es la observación directa del perfil excavando catas en lugares representativos de la plantación.

3.- Limitaciones químicas

Las propiedades químicas mas importantes del suelo son el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes, la salinidad y la presencia de sustancias toxicas. El

conocimiento de todas ellas, así como de los componentes minerales y orgánicos que influyen en su dinámica, requieren del análisis de laboratorio, que es preciso efectuar antes de realizar una nueva plantación, para decidir como corregirlas.

4.- Análisis del suelo

Las muestras de suelo han sido analizadas en los laboratorios de la Universidad de Córdoba.

Los resultados obtenidos han sido:

4.1.- Propiedades físicas

En cuanto a la textura, se han obtenido unos resultados de de arcilla 40%, limo 26% y por último arena 36%. Un tipo de suelo de textura franco-arcillosa.

4.2.- pH

Es suelo ha arrojado unos niveles de pH de 8,1, es decir un suelo básico.

4.3.- Materia orgánica

El suelo ha presentado unos niveles de materia orgánica bajos (1,6%) por lo que deberemos aportar alguna enmienda antes de establecer la plantación.

4.4.-Relacion carbono/nitrógeno

Al arrojar unos niveles bajo de materia orgánica, podemos esperar unos niveles bajos de C/N, los cuales han sido de 6,8. Unos buenos niveles estarían comprendidos entre 9-11.

4.5.-Salinidad

Este dato, nos informa acerca de los niveles de sales disueltas en el suelo, según el análisis, realizado en un extracto 1/5 a 25°, la conductividad eléctrica es de $0,18 \frac{dS}{m}$, por lo que no debemos esperar problemas de salinidad, aunque hay que prestar especial atención al manejo del agua de riego, ya que se encuentra cerca de los niveles superiores.

4.6.- Nitrógeno

Nuestro análisis nos ha arrojado unos niveles de nitrógeno de 1,4%, por lo que se encuentra dentro de los niveles adecuados.

4.7.- Fosforo

Los niveles de fosforo, se encuentra dentro de los niveles normales. (0,12%)

4.8.- Potasio

El análisis ha mostrado unos niveles de potasio de 203 ppm. Este nivel se encuentra dentro de los niveles adecuados, por lo que no debemos preocuparnos por este elemento.

4.9.- Micronutrientes

Todos los micronutrientes, han mostrado unos niveles normales, por lo que no debemos preocuparnos por ellos.

5.- Interpretación de los resultados

Tabla 1: Umbrales de valor para las diferentes cantidades de nutrientes en el olivar.

<i>Elemento</i>	<i>Deficiente</i>	<i>Adecuado</i>	<i>Tóxico</i>
Nitrógeno, N (%)	1,4	1,5-2,0	-
Fósforo, P (%)	0,05	0,1-0,3	-
Potasio, K (%)	0,4	>0'8	-
Calcio, Ca (%)	0'3	>1	-
Magnesio, Mg (%)	0'08	>0'1	-
Manganeso, Mn (ppm)	-	>20	-
Cinc, Zn (ppm)	-	>10	-
Cobre, Cu (ppm)	-	>4	-
Boro, B (ppm)	14	19-150	185
Sodio, Na (%)	-	-	>0'2
Cloro, Cl (%)	-	-	>0'5

Según la tabla anterior, todos los valores excepto el nitrógeno, el cual era de esperar debido a la baja relación C/N, están en niveles adecuados.



Anejo 3: Diseño de la plantación

Índice

1. Introducción.....	22
2.Variedad y material vegetal	22
2.1. Picual.....	23
2.1.1 Distribución geográfica e importancia	23
2.1.2. Características agronómicas.....	24
2.1.3. Hoja, fruto y hueso	25
2.1.4. Aceite	26
3. Preparación del suelo.....	27



3.1. Arranque de árboles	27
3.2. Nivelación	27
3.3 Laboreo profundo.....	27
3.4. Aplicación de enmiendas.....	28
4. Densidad de plantacion.....	28
5. Plantación	30
5.1.- Replanteo.....	31
5.2.- Apertura de hoyos.....	31
5.3.- Colocación de tutores	31
5.4.- Adquisición de plantones	32

1.- Introducción

Cuando un agricultor decide realizar una nueva plantación de olivar, debe apostar por la obtención de productos de máxima calidad, ya que esto nos permitirá obtener el mejor precio de mercado, en los que se deberá buscar la mejor relación calidad-precio.

Se ha de extremar los cuidados para que el fruto llegue en buen estado a la almazara, conservando todas sus características, y así obtener un producto de excelente calidad. Estas características de los aceites, sobre todo las organolépticas, están muy ligadas al manejo de la explotación y sobre todo con la variedad elegida, de la que depende en gran parte el tipo de aceite obtenido.

2.- Variedad y material vegetal

En el momento de diseñar una explotación de olivar, la elección de la variedad puede marcar la diferencia a la hora de asegurar el éxito.

La variedad utilizada debe tener abundante producción y una precoz entrada en producción, buena respuesta al clima de la zona, resistencia a plagas y enfermedades, características organolépticas,

etc. No todas las variedades cumplen estos requisitos, aunque estos también van estrechamente ligados al manejo y cuidados de la explotación, algunas variedades como ‘Picual’, ‘Arbequina’, ‘Manzanilla’ entre otras, destacan por su precocidad, el cual es un aspecto que tener muy en cuenta.

El material vegetal empleado, tiene también una gran importancia, y afecta a muchos factores, por lo que se recomienda la utilización de plantones procedentes de autoenraizamiento de estaquillas semileñosas bajo nebulización, y libres de enfermedades.

En este caso, en nuestra explotación la variedad elegida es ‘Picual’, por las características de su aceite la cual nos ofrece una buena calidad del aceite, y con un alto contenido en oleico y alta estabilidad, además nos brinda un mayor equilibrio en sus características agronómicas.

Tabla 1: Producción de aceituna media kg/árbol

Variedad	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Acumulada
Arbequina	6,16	16,00	21,96	31,11	31,76	45,76	35,92	188,66
Cornicabra	1,16	10,98	11,72	25,10	36,02	24,79	35,01	144,78
Empeltre		3,79	12,04	15,99	34,36	19,60	35,30	114,72
Frantoio	0,77	8,40	18,56	30,18	38,65	47,16	33,39	176,49
Hojiblanca	0,78	9,81	18,59	22,68	40,10	13,98	55,14	159,48
Oblonga	1,97	9,70	22,07	35,45	36,94	56,12	21,12	183,08
Picual	4,46	12,71	20,33	29,60	30,10	53,34	29,34	176,04
Picudo	1,51	14,85	19,36	21,72	45,31	16,53	51,34	169,71
Morisca	1,85	11,71	22,01	11,10	47,65	19,42	53,24	160,63
Pico limón	2,58	13,54	19,83	31,46	29,51	43,71	32,35	172,99
Verdial Bad.	1,21	5,88	17,48	24,54	37,70	47,91	23,27	157,15

2.1.- Variedad Picual

2.1.1.- Distribución geográfica e importancia

Es la principal variedad en Andalucía por la importancia de la superficie plantada, estimándose que uno de cada dos olivos de esta Comunidad Autónoma es de esta variedad. Existe un cierto interés por esta variedad a causa de la calidad que se atribuye a su aceite se cultiva fundamentalmente en las provincias de Jaén y Córdoba.

En cuanto a la resistencia a enfermedades, la variedad picual tolera bien la tuberculosis y es menos apetecible para la mosca del olivo que otras variedades, sin embargo, su hoja es sensible al hongo del repilo y es atacado por las plagas del Prays y la Cochinilla.



Figura 1: Plantación olivar en intensivo, variedad picual

2.1.2.- Características agronómicas

Es una variedad vigorosa, de elevada y precoz producción, suele ser constante en cuanto a niveles de producción. Es considerada una variedad rústica por su adaptación a diferentes condiciones de clima y suelo, particularmente se considera tolerante a heladas y exceso de humedad en el suelo.

En cuanto a la época de floración, es media y normalmente brinda unos buenos niveles de cuajado de fruto con autopolinización, por lo que no existe la necesidad del empleo de variedades polinizantes. Posee un buen enraizamiento, tanto por estaca de garrote, como por estaca semileñosa en nebulización. Madura precozmente y el fruto tiene baja resistencia a la caída, aunque aguanta bien en el árbol hasta el momento de la recolección.

El árbol es muy vigoroso, de porte abierto y densidad de copa espesa. Los ramos fructíferos presentan entrenudos de longitud corta y son de color gris claro.

En cuanto a la resistencia a enfermedades, la variedad picual tolera bien la tuberculosis y es menos apetecible para la mosca del olivo que otras variedades, sin embargo, su hoja es sensible al hongo del repilo y es atacado por las plagas del Prays y la Cochinilla.

2.1.3.- Hojas, fruto y hueso

La hoja tiene una forma elíptica-lanceolada, de longitud media y curvatura hiponástica, el color del haz es verde, mientras que el de envés es de un color verde grisáceo.



Figura 2: detalle hoja variedad picual

El fruto es de color negro en maduración, de tamaño mediano, con forma elíptica y asimétrica. El ápice es apuntado y no suele presentar pezón, o si lo muestra es pequeño. La sección transversal máxima es circular a elíptica y está centrada. La relación pulpa/hueso es media-alta.



Figura 3: Fruto y secciones de la variedad picual.

El hueso tiene forma alargada a elíptica y asimétrica. La superficie es escabrosa, con siete a diez surcos fibrovasculares uniformemente distribuidos. La base es apuntada o redondeada y el ápice es apuntado. Este último no presenta mucrón. La sección transversal máxima es circular a elíptica y está centrada.



Figura 4: Detalle de hueso de aceituna variedad picual.

2.1.4.- Aceite

La aceituna de la variedad picual tiene un rendimiento elevado de aceite, el rendimiento graso dependerá del estado nutritivo del olivo, nivel de carga, maduración de la aceituna, condiciones climáticas de la zona, etc...

El aceite, posee numerosas ventajas tales como su alta capacidad de conservación, su gran contenido en ácido oleico (78%) y es uno de los aceites más estables y resistentes a oxidación y enranciamiento.

El aceite picual es de sabor fuerte afrutado, destaca por su amargor y picor cuando la aceituna es cosechada temprano. Posee aromas afrutados a tomate, hoja de olivo, higuera, hierba, etc.

3.- Preparación del suelo

El establecimiento de una plantación es una operación lo suficientemente costosa como para justificar todo tipo de estudios previos que aseguren el éxito de la misma, antes de la plantación de los árboles, es necesario preparar el suelo mediante una serie de labores de fácil ejecución en terreno desnudo, pero difíciles o imposibles una vez realizada la plantación. La nivelación del terreno, el laboreo profundo, la aplicación de enmiendas y la desinfección del suelo son operaciones que se realizan con anterioridad a la plantación. La necesidad de cada una depende de las características de nuestro suelo.

Dichas labores constituyen un importante desembolso económico, aunque solo se van a realizar una vez y son fundamentales para el asegurar el éxito del proyecto.

3.1.- Arranque de árboles

La explotación a modificar ya se encuentra en funcionamiento, pero los árboles que la constituyen, son de edad avanzada y se encuentran en condiciones de semi-abandono, por lo que su producción es limitada. Así para llevar a cabo el proyecto, en primer lugar, se deberá llevar a cabo el arranque de los árboles que constituyen la explotación, para realizar esta labor, se contactará con una empresa de servicios agrícolas, que retiren los árboles, la cual realiza la labor a coste cero, a cambio de quedarse los árboles para utilizarlos como plantas ornamentales. Así de esta manera no se llevará a cabo ningún desembolso económico para realizar esta primera labor.

3.2.- Nivelación

En nuestro caso la nivelación no es una labor necesaria, pues solo es necesario para plantaciones que van a ser regadas por inundación o surcos. Y nuestra explotación será regada por goteo.

3.3. Laboreo profundo

El laboreo profundo tiene por objeto romper las capas del subsuelo que puedan limitar o restringir el crecimiento de las raíces, ya sean naturales o inducidas por la compactación del suelo como consecuencia de del laboreo en los cultivos anteriores.

Se realizará una labor de desfonde y vertedera, ya que con el arranque de árboles realizado previamente, se constituye de forma indirecta una apertura de grandes hoyos, en el lugar que ocuparan los árboles, de esta manera se crea una ruptura de los horizontes donde se realice y con el posterior desfonde, se mezclaran.

3.4. Aplicación de enmiendas y de productos fitosanitarios

La aplicación de cualquier tipo de enmienda tiene por objeto la mejora de las condiciones del suelo. No obstante, hay que tener en cuenta que su efecto no es eterno, pero pueden mejorar las condiciones en los primeros años de la plantación.

Las enmiendas húmicas son siempre de interés antes de la plantación, es bien conocido el efecto que la materia orgánica humificada tiene en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, así como su efecto directo en el crecimiento de las plantas. Estas deben aplicarse al suelo mediante una labor de vertedera, por lo que se aplicaran en el momento de la realización el laboreo profundo para así optimizar las labores y los recursos económicos.

En el caso de la desinfección de suelos ya sea bien por medios químicos o bien por la utilización de técnicas como la solarización, es necesaria en el caso de la presencia de algún organismo fitopatógenos en el suelo, los cuales no van a necesarios.

4.- Densidad de plantación

Las densidades utilizadas en olivares tradicionales son muy variables, según las zonas de cultivo, yendo desde $20 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$ en olivares de Sfax (Túnez), con precipitaciones anuales inferiores a los 200 mm, hasta $400 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$ en algunas comarcas de Toscana (Italia). Como término medio, en Grecia se han utilizado densidades altas, próximas a los $200 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$; en Italia se han empleado densidades algo superiores a $100 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$ y en España, las plantaciones tradicionales tenían alrededor de $75 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$.

En Andalucía, tradicionalmente se establecían densidades de $70-80 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$ pero con una media de 3 pies por olivo, por lo que en total se disponían en torno a 210-240 pies por cada hectárea. Fue a partir de los años 60 cuando se comenzaron a hacer plantaciones a mayor densidad ($200-250 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$) y un solo pie.

Con el tiempo, se fue constatando que este tipo de sistemas son más precoces en cuanto a entrada de producción, y que a partir de 9 o 10 años desde la implantación superan en producción a los tradicionales. Este hecho unido al aumento de la mecanización, sobre todo en la recolección, posibilitado por la reducción a un solo pie, han hecho que el número de hectáreas destinadas a olivares en seto e intensivo aumenten desde mediados del siglo pasado.

El aumento de la densidad del cultivo se consigue mediante un estrechamiento del marco de plantación, es decir dejar menos espacio entre olivos en la misma fila y entre filas.

No podemos dejar de lado que se han evidenciado pérdidas de producción y problemas de manejo en altas densidades, relacionados con un desarrollo excesivo, que llegan a rebasar el volumen de copa óptimo. Como consecuencia de un mal manejo se produce sombreado excesivo y que deriva en una merma de la producción. También recalcar que los datos conocidos no permiten conclusiones más allá de los 16 años de la plantación, aunque en la actualidad la tendencia a realizar una poda de renovación está en auge, consistiendo en podar hasta la cruz y volver a formar a partir de 3 yemas las ramas principales que serán la base de la copa del seto, aunque aún existe mucha controversia en cuanto a la efectividad de los resultados con relación a la vuelta a una óptima producción, y son necesarios más estudios.¹

4.1.- Marco de plantación intensivo

Para nuestro proyecto, se ha elegido el marco intensivo de plantación. Este modelo es un tipo de plantación permanente, es decir, el número de olivos, se mantendrá durante toda la vida de la explotación. Para facilitar algunas operaciones como la de recolección, es aconsejable disponer de una calle de trabajo de una anchura mínima entre 6 y 7 metros, por lo que el marco de plantación definitivo será de 7x5 metros, lo que supone una densidad de plantación de $285 \frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$.

4.2.- Orientación de las filas

La orientación de los setos modifica la cantidad y distribución de la radiación dentro de la copa del olivo y su efecto en los procesos fisiológicos. La mayor diferencia de orientación radica en la radiación recibida en las caras de la copa del olivo, así pues, una orientación N-S, las caras norte y sur reciben una radiación similar a lo largo del día, mientras que las caras este recibe radiación durante la primera mitad del día, y la cara oeste durante la otra mitad. En la orientación E-O, sin embargo, la cara sur queda expuesta a la radiación durante todo el día, mientras que la cara norte permanece sombreada.

La orientación no tiene por qué ser estrictamente N-S, pues puede modificarse algunos grados, teniendo en cuenta algunas características como el viento, el cual sería un inconveniente si se canaliza por las calles afectando a todos los árboles, para decidir la orientación definitiva de nuestra plantación nos fijaremos en la rosa de los vientos de la zona.

¹ Barranco, D, Fernandez-Escobar, Rallo, L. (2017). El cultivo del olivo. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

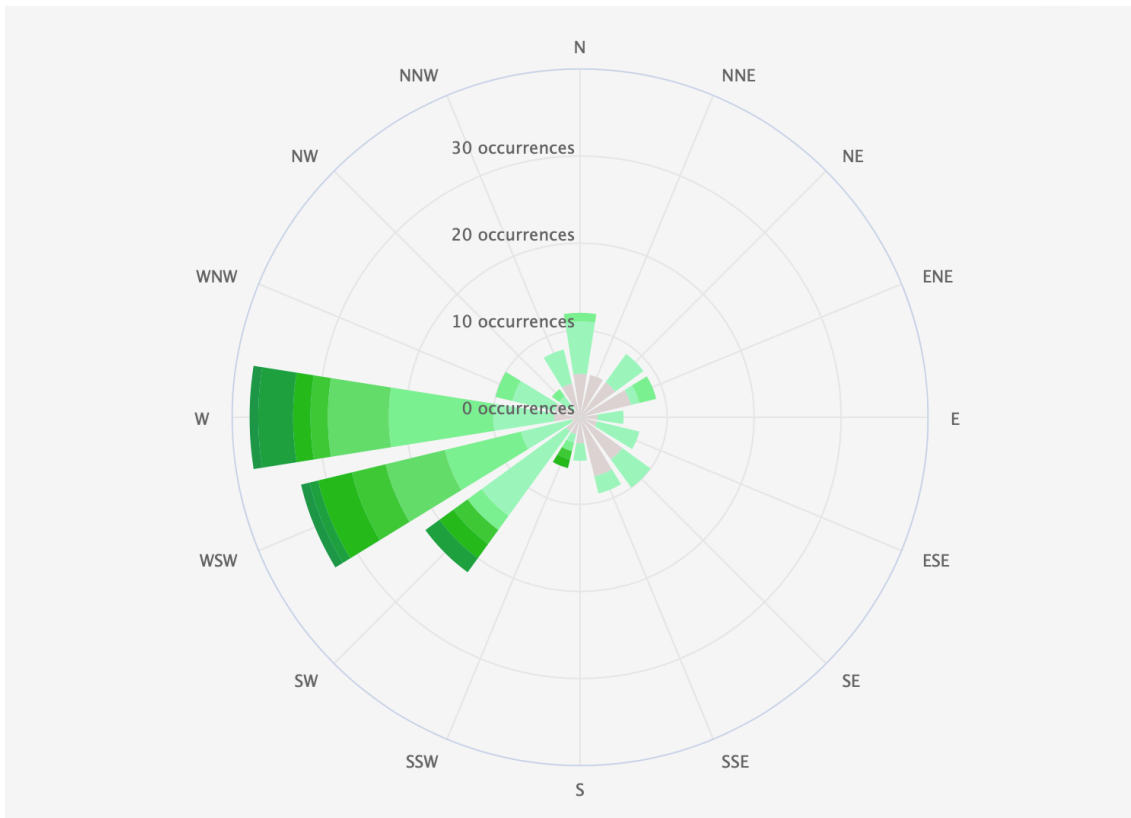


Figura 5: Rosa de los vientos de Córdoba

Como podemos observar el viento predominante viene de la dirección oeste y ligeramente suroeste, por lo que una orientación N-S sería adecuada para nuestra plantación.

5.- Plantación

La plantación es una práctica que trata de reproducir en el campo el diseño de la misma realizado en el plano previamente elaborado, y proporcionar a los plántones las condiciones y los cuidados necesarios para asegurar un buen anclaje en el terreno. Esto permite un rápido desarrollo de los árboles con el mínimo de pérdidas y, consiguientemente una entrada en producción más rápida.

La plantación puede realizarse en cualquier momento, dependiendo de las condiciones del plánton y las del medio, pero es recomendable cuando el árbol se encuentre en reposo invernal, pues en este estado los plántones pueden modificarse sin que sufran daños importantes y, además permite que cuando el árbol entre en crecimiento, ya se encuentre en el terreno.

Con independencia del tipo de plantación, esta comprende una serie de operaciones como el replanteo, la apertura de hoyos, la colocación e tutores si son necesarios, la colocación

de los árboles en el terreno y las operaciones necesarias para el mantenimiento en buen estado físico desde su recepción hasta la colocación en el terreno.

5.1.-Replanteo

El replanteo consiste en señalar la posición que ocupara cada árbol en el terreno. Antes de ello, conviene trazar los caminos y las calles de servicio que limitan las parcelas de plantación.

Actualmente el replanteo de la plantación suele hacerse mediante un tractor guiado por GPS e, incluso con una plantadora guiada por GPS, que realiza la plantación al mismo tiempo. El método resulta preciso y económico. A continuación, se describe el método tradicional.

En las plantaciones intensivas de marco regular, se comienza por trazar una línea base recta, a continuación, se establece una línea perpendicular a la base en cada uno de los extremos de la parcela. Sobre las líneas base y sus perpendiculares ya trazadas, se señala la posición de cada árbol con una cinta métrica o con cuerdas marcadas a la distancia del marco de plantación, la posición de los demás árboles se consigue fácilmente apoyándose en esas líneas con las mismas cuerdas marcadas a la distancia de la plantación, lo que exige como mínimo, un grupo de tres personas.

Para un replanteo de un marco rectangular de 7x5, con apoyo en la línea base y en su perpendicular. Situada la posición de cada árbol en dichas líneas, dos personas que portan los extremos de una cuerda de 12 metros, se sitúan en las posiciones A y C, una tercera persona sujeta la cuerda a 7 metros de A y 5 metros de C, que, al tensarla, ocupa la posición B, de un árbol de la plantación. Al pasar A y C a las posiciones A' y C', B pasara a ocupar la posición B' al tensar de nuevo la cuerda, señalando la posición de un nuevo árbol. Y así sucesivamente hasta completar toda la plantación.

5.2.-Apertura de hoyos y colocación de las plantas

Una vez replanteado el terreno, se ha de proceder a la apertura de hoyos, esta labor se realizada mediante una plantadora guiada por GPS, que realiza al mismo tiempo tanto la apertura de hoyos, como la colocación de la planta, suponiendo así un importante ahorro en tiempo y mano de obra. En este punto se aprovechará para realizar la red de riego

5.3.-Colocacion de tutores

Los soportes se reducen a la colocación de un postre o tutor clavado en el suelo junto al tronco de los árboles, que sujetaran a los mismos. Los tutores deben tener como mínimo una longitud enterrada de 50 cm para ofrecer un soporte eficaz a la planta, y sobresalir hasta la altura donde se quiera establecer la cruz, en este caso entre 100-120 cm. Si los tutores son de madera, deberán tener un diámetro de al menos 5 cm para resistir a la humedad, y aguantar al menos 3 años.

5.4.-Adquisicion de plantones

El material vegetal utilizado para realizar la plantación debe ser un plantón procedente de viveros autorizados y especializados en propagación del olivo, cuya multiplicación se realiza por el método de estaquillas semileñosas enraizadas bajo nebulización, que tenga un buen sistema radical, con una altura de 1 metro, y una edad comprendida entre 1 y 1,5 años.



Figura 6: Estaquillas de olivo propagadas en vivero con nebulizador

La utilización de material certificado nos garantiza la sanidad y autenticidad varietal y clonal de la planta.

Anejo 4: Técnicas de cultivo

Índice

1.- Fertilización.....	35
2.- Poda.....	38
3.- Riego localizado	40
4.- Mantenimiento del suelo	40
5.- Plagas del olivo.....	41
6.- Enfermedades del olivo.....	47
7.- Tratamientos fitosanitarios.....	52
8.- Recolección.....	53

1.- Fertilización

La fertilización tiene por objetivo la restitución de los elementos extraídos por la planta para ser utilizados en los procesos fisiológicos, que tienen por resultado la nutrición de la planta para formar las diferentes partes tales como, hojas, tallos y frutos. También tiene la posibilidad de poder corregir las posibles deficiencias del suelo. Para programar la fertilización de nuestra finca recurriremos a análisis foliares.

1.1.- Establecimiento del plan anual de fertilización

Un buen programa de análisis foliares evalúa el estado nutritivo actual y anticipa las necesidades nutritivas de la campaña siguiente.

El objetivo de planificar un buen programa de fertilización es mantener los elementos minerales dentro del nivel adecuado, una vez realizado el diagnóstico sobre cada elemento nutritivo en base al análisis foliar, se procederá a establecer el plan de fertilización de la campaña siguiente. Si todos los elementos se encuentran en su intervalo adecuado en hojas, sería recomendable no realizar abonado alguno en la siguiente campaña, y repetir el análisis el mes de julio de la campaña siguiente. Si varios nutrientes se encuentran bajos o deficientes, bastaría a veces con aplicar el más deficiente de todos para corregir la situación.

Un plan anual de fertilización será aquel que optimice el uso de los fertilizantes, de tal modo que se aporte solo lo necesario para corregir las deficiencias del cultivo sin comprometer la producción.

Para elaborar el plan anual de fertilización de nuestra explotación, se recurrirá al uso de análisis foliares.

1.2.-análisis foliares

Para utilizar los análisis foliares como guía de fertilización se han establecido los niveles críticos de cada elemento nutritivo, esto es, la concentración de cada elemento en las hojas por debajo del cual el crecimiento o la producción de un árbol disminuye si se compara con otros que tienen concentraciones más altas. Se observa que cuando un determinado elemento se encuentra deficiente, aparecen síntomas asociados a un bajo crecimiento, un pequeño aumento de la concentración tiene una gran respuesta en el crecimiento que alcanza el máximo relativo al rebasar la concentración crítica.

Con estos análisis, lo que se busca es conocer la concentración de nutrientes en el árbol con el fin de decidir el correcto plan de fertilización.

El punto más importante del análisis foliar como guía de la fertilización es el muestro de hojas que han de ser analizadas en la época de muestro de hojas. En el olivo esta época

se da en el mes de julio, pues es cuando la concentración de nutrientes en las hojas se mantiene estable, y estas deben proceder de brotes de una edad comprendida entre los 3 y 5 meses en la posición media a basal del brote y que contengan el peciolo.

1.2.1.-Nitrogeno

El nitrógeno es el mayor componente nutritivo de las plantas, por lo que suele ser el elemento mineral que mas se emplea en los programas de fertilización, su deficiencia, se caracteriza por una perdida generalizada de clorofila, la cual da lugar a una clorosis inespecífica en el limbo, se recomienda realizar aplicaciones de 0,5 kg de nitrógeno por árbol, sin que llegue a superar los 100 kg por hectárea , para corregir en olivares adultos la deficiencia y elevar la concentración a su intervalo adecuado.

La dosis optima dependerá del tamaño del árbol, de su nivel productivo y del medio de cultivo y habrá que ajustarla mediante análisis foliares, que indicaran la necesidad de aumentar o reducir la dosis.

1.2.2.- Fosforo

El fosforo es un elemento importante en la fertilización de cultivos anuales, pero en el caso del olivar y otros cultivos leñosos, disminuye su importancia debido a la facilidad de reutilización que presenta y sus bajas extracciones, por consiguiente, la baja respuesta al abonado que presenta. Es muy difícil encontrar bajos niveles de fosforo en el cultivo, solo se han encontrado en suelos pobres en los que puede probarse con la aplicación de 0,5 kg de fosforo en árbol en forma de superfosfato.

1.2.3.- Potasio

El potasio, es el elemento que se extrae en mayor cantidad por el cultivo en la cosecha. Esto quiere decir que el potasio es de gran importancia en la nutrición del cultivo.

Las deficiencias de potasio son comunes en olivar, los arboles con bajos niveles muestran necrosis apical o lateral en hojas y defoliación en ramitas. Los olivares con deficiencias de potasio son difíciles de corregir, pues el potasio aportado en forma de abono se absorbe en menores cantidades en arboles deficientes y en arboles con estrés hídrico, aun aplicándolo vía foliar. Por ello para corregir los bajos niveles, es conveniente realizar inyecciones en el suelo alrededor del tronco del árbol, las cuales se realizarán mediante fertirrigación, al contar la finca con riego localizado.

1.2.4.- Calcio, hierro, boro, manganeso, cinc, cobre, sodio y cloro

En el caso del calcio, si el cultivo presenta deficiencias, las aplicaciones normales oscilan entre 2,5 y 7,5 t/ha de carbonato cálcico, dependiendo esta dosis en gran medida del pH del suelo. En caso de encontrar deficiencias de calcio no asociadas al pH, puede probarse con la aplicación de calcio vía foliar.

La deficiencia del hierro conocida como clorosis férrica, es un desequilibrio nutritivo que puede estar asociado a suelos muy calizos o con un pH elevado. La corrección de la clorosis férrica es difícil y costosa, la mejor solución es utilizar variedades tolerantes a esta anomalía, en caso de plantaciones ya establecidas, el remedio para por la aplicación anual de quelatos de hierro al suelo.

Con respecto al boro, la disponibilidad de boro por las plantas disminuye en condiciones de sequía y de un suelo con pH elevado, para una deficiencia diagnosticada, se puede corregir fácilmente con la aplicación de 25-40 gramos de boro por árbol al suelo.

Del manganeso y el cinc se conoce muy poco en relación del olivo, y la concentración en hoja de cobre suele ser muy alta, pues el cobre se aporta normalmente como producto fungicida en el olivar.

En el caso de los iones de sodio y cloro, puede causar toxicidad en plantas, afortunadamente, el olivo es una planta muy tolerante a la salinidad y a las altas concentraciones de cloruros, no obstante, hay que controlar que no existan altos niveles que puedan causar toxicidad habría que realizar un lavado de sales aumentando el volumen de riego, y en caso del sodio, aplicar compuestos ricos en calcio, pues se ha demostrado que inhiben el transporte de sodio.

1.2.5.- Aplicación de fertilizantes

Existen tres formas de aplicar fertilizantes a los arboles, al suelo para favorecer su absorción por las raíces, a las hojas en pulverización para producir su penetración, y al sistema vascular mediante inyecciones la tronco o a las ramas.

En nuestro caso la manera de aplicar los fertilizantes, al contar en la explotación con riego por goteo, será mediante aplicaciones al suelo de fertilizantes disueltos en agua, este método se llama fertirrigación.

2.- Poda

La poda consiste en la eliminación de masa vegetal con el fin de establecer un equilibrio entre función reproductiva y vegetativa, alcanzando la máxima producción posible y además mejorar la vitalidad del árbol. También tiene como objetivo alargar el periodo productivo del árbol retrasando la vejez y la senescencia.

La mejor fecha para realizar la poda corresponde a la parada invernal y justo después de la recolección. En lugares con heladas frecuentes es recomendable retrasar la poda en los meses más fríos para que la masa foliar del olivo aun no podado haga efecto pantalla, disminuyendo de esta manera la radiación de calor del suelo a la atmosfera.

En sistema de formación elegido para nuestro olivar intensivo, será de vaso libre, que como ventaja presenta, que respeta en gran medida la tendencia natural del olivo. La poda juega un papel fundamental en este sistema de formación, en la que se deben formar olivos de un solo pie que tengan una rápida entrada en producción, un buen aprovechamiento del medio productivo y permitir una buena mecanización.

2.1.- Poda de formación en vaso libre

La poda de formación de vaso libre tiene como objetivo fundamental conseguir de la manera más rápida posible un armazón o esqueleto robusto compuesto por un solo tronco y rama principales que sirvan de soporte a los órganos vegetativos, así como de la cosecha durante la vida productiva del árbol. El tronco permanecerá toda la vida del árbol y las ramas principales lo harán mientras no muestren signos de decadencia, tras los cuales se procederá a una poda de rejuvenecimiento.

Para conseguir dicha formación, como ya se comentó anteriormente en el anejo “diseño de plantación” en el momento de la plantación se colocará un tutor de madera, situado en el lado donde proviene dominante para paliar los posibles efectos del mismo, en el se realizara una atadura a una altura de un metro aproximadamente, este punto se denominara cruz, y es el punto de referencia para la poda de formación, pues durante los tres primeros años, se dejara crecer libremente todo lo que este por encima de la cruz y eliminar todos los brotes que estén por debajo de la misma. De esta manera también se conseguirá maximizar el crecimiento de las raíces, troncos y copa del árbol.

Durante estos tres primeros años, se revisará que el tronco permanezca vertical, y revisará también si se han producido heridas por rozamiento o estrangulamiento de las ataduras de la cruz.

A partir del cuarto año, comenzaran las primeras operaciones de poda en el olivo, para ello se observarán todas las ramas que se han formado en el primer periodo de formación libre, y se elegirán las tres ramas que estén mejor situadas, que serán aquellas que estén mejor repartidas en el espacio, y que tengan una inclinación aproximada de unos 60º con respecto a al horizontal. Para favorecer el crecimiento de estas, se procederá año tras año a eliminar posibles ramas que entorpezcan a estas. En el caso de haber más de tres ramas que cumplan las características para ser principales, se permitirá el desarrollo de todas ellas y con la ayuda de podas muy ligeras, en un futuro se vera cuales son las más adecuadas. En cambio, si el olivo solo presenta dos ramas opuestas entre si, y con una inclinación adecuada, se pueden dejar estas dos ramas como principales, favoreciendo el desarrollo de dos ramas orientadas hacia cada lateral y bifurcadas dicotómicamente.

2.2.- Poda de producción

Cuando la estructura esta consolidada, se comienza de forma progresiva la poda de producción, con el objetivo de alcanzar lo antes posible el volumen optimo de copa del árbol para que la absorción de radiación sea la máxima posible, dependiendo del marco de plantación, y el medio productivo. Estas podas deben ser ligeras con el fin de mantener la alta relación madera-hojas propia de un árbol joven.

El volumen optimo de copa del árbol, es aquel mediante el cual el olivo aprovecha al máximo el potencial del medio productivo en el que se encuentra.

Una correcta poda de producción debe evitar el exceso de volumen de copa manteniéndolo cerca del optimo a lo largo de los años, de la misma manera unas podas severas que rebajen demasiado este volumen optimo van a desaprovechar gran parte del potencial productivo.

2.3.- Poda de renovación

Con el tiempo, los olivos empiezan a disminuir su producción y aumentan la vecería, para solucionar esta situación, es recomendable realizar una poda de renovación, que consiste en potenciar el crecimiento de las yemas de madera, que pueden llegar a convertirse en brotes vigorosos, gracias a un buen manejo de la poda.

En el caso de que no existan yemas potenciales en el lugar donde se quiere renovar el olivo, se puede inducir el crecimiento de estas mediante incisiones en el tronco y eliminando las ramas que produzcan sombra en esta zona si las hubiese, de no ser posible esta practica, se tendrá que recurrir a eliminar la rama principal, con la consecuencia de la reducción de la producción.

4.- Riego localizado

En nuestro proyecto, se realizará la instalación de riego por goteo para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. Los cálculos de la cantidad de riego, la red de tuberías, etc. Se encuentran recogidos en el anejo nº 5, '**Diseño del riego**'.

5.-Mantenimiento del suelo

En los últimos años han surgido numerosos sistemas de mantenimiento del suelo, los cuales van desde el no laboreo a aquellos en los que resulta indispensable el uso de laboreo y productos químicos para mantener las malas hierbas a raya.

En nuestra explotación, la opción elegida será la del uso de cubierta vegetal, que, aunque al principio pueda suponer un inconveniente para el riego, en los pies de los olivos y entre los goteros, se empleará el uso de herbicidas para evitar la competencia del agua con nuestro cultivo.

Las cubiertas vegetales, se definen como especies que crecen expresamente para prevenir la erosión, añadir materia orgánica, mantener o incrementar la disponibilidad de nutrientes, mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y en algunos casos reducir las enfermedades del suelo. Sin embargo esta definición no es completa, ya que las cubiertas vegetales conllevan más beneficios como, reducir la contaminación de las aguas superficiales, mejorar el balance de agua en el suelo, reciclar nitrógeno no usado y algunos beneficios más.

Las cubiertas vegetales son un cultivo herbáceo que se sitúa en el centro de las calles de nuestro olivar, lo que conlleva una competencia por los recursos hídricos y nutritivos del suelo, por lo que se recurrirá a la siega de la cubierta vegetal a principios de la primavera, coincidiendo con la brotación del olivo.

6.-Plagas del olivo

Las plagas del olivo han cambiado muy poco desde que empezó a cultivarse, actualmente siguen siendo la mosca y el prays las más importantes, mientras que, en el caso de la cochinilla, tercera en importancia a partir de los años 60.

Mosca del olivo (*Bactrocera oleae*)

1. Descripción

Pertenece al orden de los dípteros, y es considerada la plaga más importante del olivo, extendiéndose por todas las zonas olivareras a excepción de Australia y Sudamérica.

Los adultos son moscas de 4-5 mm similares a la doméstica. La cabeza es ancha y de color amarillento, provista de grandes ojos. El tórax es amarillo con cuatro bandas grises. Entre la cabeza y el tórax, se distingue una mancha color marfil denominada "escudete". Las alas son transparentes y en los extremos presenta unas manchas de color negro llamadas "terostigmas". Los huevos son alargados y cilíndricos, blancos y con unas dimensiones de 0,70 mm de longitud y 0,20 mm de diámetro. Recién nacidas, las larvas miden 1 mm alcanzando al final del desarrollo los 7-8 mm.

2. Ciclo biológico.

La mayor parte de la población pasa el invierno en el suelo en forma de pupa, al finalizar la estación emergen de las pupas los adultos, los cuales se dispersan en el propio olivar o en los alrededores hasta finales de primavera o principios de verano. Cuando se produce el cuajado del fruto y este llega al estado fenológico H “endurecimiento del hueso”, las hembras comienzan a tantear las aceitunas, eligiendo aquellas más sanas y desarrolladas para realizar la picadura con el oviscapto y depositar en el interior del fruto un huevo. Tras un periodo de incubación variable (en función de climatología), en el que las larvas generan un túnel en la pulpa que llega a ocupar gran parte del fruto, se produce la ruptura de la dermis, para seguidamente volver al interior y generar la pupa. Los adultos emergerán entre los meses de julio-septiembre, saliendo al exterior por el orificio que generaron las larvas, para poder realizar una nueva puesta que, en los últimos meses de verano, principio de otoño, se hará sobre aceitunas en pleno envero. Estas generaciones de otoño pasarán el invierno en el suelo en forma de pupa, cerrando de esta forma el ciclo.

La duración del ciclo de verano depende del clima, por lo que los insectos de verano tendrán un ciclo de 30-80 días, mientras que los de invierno serán mayor, alcanzándose los 130- 160 días.

3. Daños

En relación a los daños ocasionados por esta plaga, podemos englobarlos en dos categorías: mermas en la producción y disminución de la calidad del fruto/aceite.

- Las aceitunas picadas pueden presentar reducciones de peso en torno al 5-10%, pero existe otro tanto que llega a presentar la caída prematura y reduce la producción media.
- En el caso de aceituna para aceite, los daños son a nivel de composición y cualidades organolépticas. Esto es debido a que en las galerías excavadas por las larvas se desarrollan, si las condiciones de humedad y temperatura son propicias, hongos que provocan podredumbres y alteran los niveles de acidez y calidad organoléptica del aceite. Estos inconvenientes pueden ser solventados si la aceituna se recoge antes de su caída.
- En el caso de la aceituna de mesa, los daños son mucho más graves, dado que las aceitunas picadas no son aptas para el comercio.
- Antes de realizar cualquier tipo de tratamiento, al igual que se hace con otras plagas se debe hacer un seguimiento de los individuos presentes. Para ello el Ministerio de Agricultura establece una serie de umbrales para la gestión integrada de plagas, en las que se recuenta el número de huevos o larvas encontrados en frutos al azar o adultos atrapados en trampas olfativas y cromáticas sexuales.

El control de la mosca del olivo puede afrontarse desde diferentes perspectivas:

a) Lucha química

se basa en aplicación de insecticidas que regula el número de individuos dentro de la población. Cabe destacar que la mayor parte de los insecticidas registrados en España, son de aplicación en cebo, se añaden junto con una proteína hidrolizable que actúa como atrayente alimenticio. Están enfocados en la fase adulta, y su aplicación se realiza a una sola parte de los olivos, ya sea una aplicación en bandas, entre las cuales hay una superficie no tratada, o parcheando una única parte orientada al sur de todos los olivos (2 m^2). La aplicación puede hacerse de forma aérea, bajo una reglamentación y condiciones de uso bastante estrictas. Suele ser la solución más rentable para grandes extensiones.

Como formulado, se usará en la explotación Dimetoato 40% [ec] p/v entre finales de primavera y comienzo de verano.

Para la fase larvaria existen muy pocos insecticidas registrados, por los que lo ideal es hacer una buena gestión de la plaga en sus primeros estadios tras la emergencia post invernal.

b) Control biológico

Se utilizan como agentes de control biológico hongos entomopatógenos bastante selectivos contra la mosca del olivo. De esta forma, sea cual sea la fase del ciclo biológico en la que se aplique, cuando las esporas espolvoreadas entran en contacto con el cuerpo del insecto, crece un micelio que lo parasita y destruye.

El paisaje también puede proporcionar el control de esta plaga. Manchas de vegetación con especies vegetales como *Dittrichia viscosa*, albergan predadores naturales, entre los que destacan *Eupelmus urozonus*.

c) Otras técnicas

en producción ecológica, junto con el control biológico, se puede recurrir a un trapeo masivo, cebado con atrayente alimenticio normalmente, que tiene como objetivo acabar con la población adulta. Para que sea efectivo, se debe colocar a principio de verano y el número de trampas por hectárea difiere según el fabricante. Otro recurso es el uso de caolín, mineral de arcilla que hace los frutos poco atractivos para las hembras, ocasionando que estas no piquen las aceitunas.

Como métodos culturales, destacan el laboreo del suelo en la proyección de las copas tras la recolección, en vistas a disminuir las poblaciones invernales, y la recogida temprana que limite las generaciones otoñales.

Prays o polilla del olivo (*Prays olea* Bern.)

1. Descripción

Pertenece al orden lepidóptera, y es considerada la segunda plaga mas importante dentro de la producción olivarera. Esta presente en la mayoría de los países de la cuenca mediterránea.

El adulto es una pequeña polilla de color gris-plata de unos 13-14 mm de ancho (alas abiertas) por 6 mm de largo. En los extremos de las alas, presenta mechones en los bordes. Los huevos son lenticulares, aplastados, blancos en el momento de la puesta y se vuelven amarillentos conforme pasa el periodo de incubación. En relación con el tamaño de los mismos, alcanzan los 0,5 mm de diámetro. La oruga es de color avellana, aunque las tonalidades varían en función del tejido del cual se alimenta. Su crisálida esta recubierta por un capullo sedoso poco tupido.

2. Ciclo biológico

Tiene tres generaciones al año bastante sincronizadas con la evolución del olivo: una afecta a la hoja (filófaga), otra a la flor (antófaga) y la ultima, que suele ser la mas dañina, al fruto (carpófaga).

Filófaga: esta generación parte de la eclosión de los huevos depositados en octubre-noviembre en las hojas, normalmente en el haz y próximos a la nervadura central. Las larvas tras nacer penetran en la hoja realizando una galería, lugar donde pasan el invierno. Cuando las temperaturas aumentan (febrero-marzo), recobran la actividad y pasan a otras hojas a la vez que mudan, y con el cambio de estadio larvario las cavidades pasan de tener forma de "C", subcirculares o circulares (2º, 3º y 4º estadio respectivamente). La larva de 5º edad, al no caber en la hoja, come parte del envés o de las yemas terminales de los brotes. Por último, se convierte en crisálida, en el envés de la hoja o en la corteza del tronco, y hacia abril aparecerá la mariposa.

Antófaga: los adultos de abril hacen la puesta en los botones florales, aún cerrados (abril-mayo). Las larvas recién nacidas penetran dentro y se alimentan, en primer lugar, del polen de las anteras y después, a medida que se abren las flores de los estigmas y ovarios. Al final de su desarrollo, dejan un capullo en los restos de las flores secas donde realizan la crisálida.

Carpófaga: las mariposas surgidas de la generación anterior depositan sus huevos en la aceituna recién cuajada (junio), cerca al pedúnculo. Al nacer, las larvas penetran por la inserción del pedúnculo provocado las primeras caídas. Solo una de las larvas llega al centro del fruto consiguiendo desarrollarse, para en septiembre salir por la misma zona por la que entró en la aceituna, provocando de esta forma la segunda caída del fruto (caída de San Miguel). Las larvas alojadas en los frutos precipitados realizan la crisálida entre dos hojas, el tronco o en el propio suelo, de donde surgirán los adultos en septiembre-octubre que darán lugar a la puesta de huevos que iniciará la generación filófaga.

3. Daños

Los daños ocasionados por las etapas filófagas suelen ser de poca importancia, debido al bajo nivel de ataque en Andalucía y a lo poco que come de las hojas al alimentarse. Sin embargo,

pueden ser relevantes en arboles jóvenes y viveros, en los que se dañen los brotes. Se pueden confundir muchas veces con ataques de glifodes.

Los ocasionados por la fase antófaga, dependen de numerosos factores, como son el nivel de población, la intensidad de floración y el destino del fruto. Las larvas suelen destruir de 20 a 30 flores, pero contando con que el olivo tiene un coeficiente de cuajado muy bajo (2 o 3 de cada 100 flores llegan a fruto) y que este suele compensar la caída de la flor con mayor tamaño de frutos este daño es relativo. El problema llegaría en campañas de baja floración o de altísimas poblaciones de prays.

Los daños mas problemáticos, los ocasiona la fase carpófaga, siendo los de la primera caída (junio) de menor relevancia debido a que coincide con una caída fisiológica importante y a que suele ser compensado con un mayor cuajado y tamaño de aceituna. En cambio, los relativos a la caída de septiembre, con fruto de gran tamaño, y que no pueden ser compensados de forma natural, suelen ser muy dañinos.

4. Regulación de las poblaciones

Hay dos momentos claros de actuación:

- Al inicio de la floración (20-30% flores abiertas) en el que los productores son mas eficaces por ser el único periodo en el que las larvas se encuentran en el exterior. Tiene los inconvenientes de ser un período de aplicación corto y que no es la generación que produce mas daño.
- Cuando las larvas se están introduciendo en el fruto, lo que viene a coincidir con el 50-100% de los huevos eclosionados. La eficacia de los productos es menor y hay que mojar muy bien el árbol, pero es la generación mas daño hace.

Se deben utilizar productos que respeten el medio ambiente y a los enemigos naturales, así como conservar las poblaciones de estos mediante la utilización de diferentes infraestructuras de vegetación ya que se ha determinado que la presencia de manchas de vegetación herbácea y grandes manchas de vegetación leñosa, contribuyen a reducir la población de prays.

El seguimiento de las poblaciones adultas se suele hacer mediante trampas cebadas con feromonas sexuales específicas.

Existen umbrales establecidos a la hora de tomar decisiones antes de actuar, pero son muy relativos pues dependen de factores difíciles de predecir o estimar, como son producción y calor del verano.

Cochinilla de la tizne (*Saissetia oleae* Bern.)

1. Descripción

Se encuentra ampliamente distribuida en todos los continentes, pero tiene especial relevancia en la cuenca mediterránea.

En Europa no se ha registrado presencia de machos adultos, los cuales son alados. La hembra, recuerda a medio grano de pimienta, es de color pardo oscuro, con una envergadura de 3-4 mm y en el caparazón muestra el relieve de una especie de "H", característica de esta. Cuando no tiene huevos, es mas aplanada y de color mas claro.

Los huevos son ovalados de unos 0,3x0,8 mm, de un color rosáceo y se disponen en el interior e las hembras maduras en cantidades de 1000 a 2000 unidades.

Las ninfas recién nacidas son mas claras que las hembras adultas, mas alargadas, pero de pequeño tamaño 0,6 x 0,3 mm. Son el estadio mas vulnerable a los insecticidas y condiciones climáticas adversas. Tiene dos estadios ninfales mas, en los que aumenta su tamaño y aparece la "H" característica.

2. Ciclo biológico

Presenta dos generaciones. Una de ellas completa donde la nascencia de las ninfas comienza en mayo, teniendo el máximo en julio, y disminuyendo en septiembre. Las temperaturas de otoño van a ser las que condicionen la nascencia de nuevas ninfas.

Las hembras mueren tras poner los huevos, quedando adheridas en hojas y tallos. Las ninfas al nacer pasan unas horas dentro de la madre, después salen hasta fijarse en el envés de las hojas y ramas jóvenes. Las ninfas de tercera edad, al llegar la primavera, se trasladan hasta ramos leñosos, transformándose en hembras adultas, que ya no se moverán más. Éstas por partenogénesis dan lugar a los huevos de la nueva generación.

3. Daños

Los daños de esta plaga no son tan importantes por ella misma, sino como por los problemas derivados de su alimentación. Al succionar la savia, la cochinilla excreta una serie de sustancias azucaradas (melaza) que sirven de alimento a unos hongos negros (negrilla, fumígena), que en condiciones de alta humedad se propagan con gran rapidez, incluso con poblaciones bajas de cochinilla. Este hongo provoca un decaimiento generalizado del árbol, debido a una disminución de la capacidad fotosintética del olivo, el cual queda recubierto de una capa negra, causando problemas de brotación y producción.

4. Regulación de las poblaciones

En esta plaga juega un papel muy importante la correcta ejecución de la poda, ya que la cochinilla es muy sensible a los veranos cálidos y secos, y una poda que facilite la aireación disminuirá las posibilidades de alcanzar altas poblaciones. En cambio, si se observan niveles elevados de cochinilla, siguiendo los consejos de los umbrales de actuación, existen tratamientos químicos y biológicos para paliar los ataques.

En cuanto al control químico, se llevará a cabo cuando hayan eclosionado todos o casi todos los huevos, para saber cuando es ese momento, se procederá a observar 40-50 adultos y estos deben tener en su interior escamas blancas que corresponden a huevos eclosionados. El producto recomendado es *Deltametrin* 1,75% [SC] p/v, mojando bien el árbol para un buen funcionamiento.

Como enemigos naturales de la *cochinilla de la tizne*, cabe destacar unas pequeñas avispas, himenópteros parasitoides como *Scutellysta cyanea*, las cuales depositan los huevos en el interior de las hembras maduras que se alimentaran del cuerpo de éstas y sus huevos. Otros insectos auxiliares destacados en el control de las poblaciones de *S. oleae* son *Chilocorus bipustulatus*, *Coccinella septempunctata* y *Chrysoperla carnea*.

Como apunte, recalcar la importancia de mantener áreas vegetales naturales dentro de la propia explotación y en los lindes, que favorezcan los predadores de la plaga, así como evitar el uso de insecticidas que puedan disminuir las poblaciones de los predadores.

7.-Enfermedades del olivo

A continuación, se describen las principales enfermedades y daños de naturaleza abiótica que afectan al olivar.

Repilo

1. Descripción

El repilo o caído de las hojas del olivo, esta considerado como la enfermedad mas importante del olivar español, tanto por su amplia extensión, como por los daños ocasionados. El agente que la causa es un hongo (*Venturia oleaginea*) el cual se desarrolla en ambientes favorables, como son años lluviosos, plantaciones de alta densidad y poco aireadas, y general olivares situados en zonas húmedas.

La principal consecuencia de la enfermedad es la defoliación generalizada del árbol, y ocasionalmente se han observado infecciones en pedúnculo del fruto, y al propio fruto.

2. Sintomatología

El síntoma más característico de la enfermedad se presenta en el haz de las hojas, en forma de manchas circulares de color pardo-negro, que tornan a blancas cuando la lesión es vieja. El color negro lo toma de las esporas del hongo. Las lesiones suelen estar rodeadas de un halo amarillento, mucho más acusado en primavera.

También pueden darse síntomas en el fruto, aunque es más raro encontrarlo. Cuando ataca al pedúnculo, suele producirse el arrugamiento de la aceituna y caída prematura, acompañada del pedúnculo. En el supuesto caso de presentarse síntomas en el propio fruto, si aún está en desarrollo se produce la deformación de este en la zona afectada. En cambio, si el fruto ya es maduro, no se produce deformación alguna, pero la zona afectada permanece por más tiempo verde con ligeros matices marrones causadas por las esporas del hongo. En ataques de gran severidad, el hongo forma una costra sobre la aceituna, agrietándola.

Debido a las lesiones en hojas, las ramas más bajas son las que presentan mayor incidencia y quedan defoliadas o “peladas”, de donde toma el nombre la enfermedad.

3. Etiología

El agente que causa la enfermedad, como ya se ha mencionado es un hongo Hifomiceto conocido desde 1953 con el nombre de *Spilocaea oleagina*, y en la actualidad se recomienda nombrarlo como *Venturia oleagina*.

El hongo se desarrolla en la cutícula de los tejidos infectados, extendiendo en ellos hifas de las que surgen conidióforos, que producirán las esporas asexuales o conidios. En tejido muerto, el desarrollo de hifas es más exacerbado.

Este hongo es solo patógeno del olivo, aunque debido a la dificultad de su cultivo in vitro, no se conoce muy bien su variabilidad patogénica.

4. Epidemiología

El patógeno sobrevive en los periodos desfavorables (secos y calurosos) en las hojas, caídas y en la copa. Los conidios, por sí solos tienen poca supervivencia (una semana), pero unidos a los conidióforos pueden aguantar varios meses. Sin embargo, se pueden producir nuevos conidios tras un periodo húmedo en las manchas foliares, por lo que en nuestros climas aparecen conidios viables para dispersarse e infectar (inóculo) todo el año, existiendo dos periodos de repunte germinativo: otoño y principio de primavera. La dispersión de los conidios es fundamentalmente por el agua de lluvia.

Tras el contacto de los conidios con tejido susceptible de ser infectado, estos solo germinará si existe agua libre o humedad superior al 98%, con un rango de temperatura comprendido entre los 0 y 27 °C, con su óptimo en 15 °C. Tras esto, se requiere entre 24-48h de saturación de humedad atmosférica, o agua libre o la infestación no surtirá efecto y temperaturas cercanas a los 15 °C. Tras la infección, el micelio se extiende por la cutícula, que le proporciona un medio ideal de desarrollo y alimento.

Las condiciones climáticas y la variedad de olivo van a condicionar el tiempo de incubación, pudiendo aparecer los síntomas a las 2 semanas de la infección o a los 10 meses. Tras la expansión de la emisión de hifas que sucede al desarrollo del hongo en la cutícula, si las

condiciones no se vuelven desfavorables, el patógeno procederá a desarrollar los conidióforos, que tras esporular y generar los conidios darán lugar a la aparición de las manchas características de la enfermedad.

5. Control

Debido a la necesidad de agua libre o alta humedad para la infección y desarrollo de la enfermedad, se aconsejan como medidas culturales: podas que favorezcan la buena aireación, evitar marcos de plantación que generen copas densas o solapamientos, evitar las zonas cercanas a riberas y humedales etc.

La nutrición juega también un papel importante en el control de la enfermedad. De modo que excesos de nitrógeno son contraproducentes para evitar esta enfermedad, al igual que las carencias en potasio.

Debido a las dificultades de predecir el repilo, se suelen hacer tratamientos preventivos. Para ello, los momentos óptimos coinciden con los repuntes de infección, es decir otoño y principio de primavera. Como formulado, se utilizará en nuestra explotación Oxicloruro de cobre.

Verticilosis

1. Descripción

La verticilosis es una enfermedad cuyo agente causal es un hongo (*Verticillium dahliae*) que se presenta en forma de microesclerocios en el suelo, provocando nuevas infestaciones tras colonizar las raíces de las plantas sanas.

Afecta generalmente a hojas y ramas, provocando su secado y muerte por medio de apoplejía o decaimiento lento.

2. Sintomatología

La enfermedad no siempre se manifiesta de la misma forma, pudiéndose destacar dos síntomas derivados de la verticilosis: apoplejía y decaimiento lento.

- La apoplejía se caracteriza por la muerte rápida de ramas o de la planta completa, produciéndose en otoño-inverno. Se inicia con una pérdida de coloración intensa en las hojas de los extremos de las ramas y está asociado con otoños lluviosos y otoños-inviernos de temperatura moderada.
- El decaimiento lento, en contraposición, aparece habitualmente en primavera, provocando la desecación y momificación de las inflorescencias, quedando estas adheridas mientras que las hojas se desprenden. Las ramas afectadas, suelen tomar una coloración morada característica, acompañada en algunas ocasiones de coloración marrón-rojiza de los tejidos vasculares.

Las plantas jóvenes pueden llegar a morir a causa de la infección y los adultos suelen mostrar unas ramas afectadas y otras no. La raíz no suele morir, por lo que existen rebrotes de árboles, aunque no quedan exentos de poder recaer en la enfermedad en los años futuros.

3. Etiología

El agente causal es el hongo *Verticillium dahliae*, el cual se reproduce asexualmente mediante conidios. En caso de condiciones adversas, genera unos cuerpos de resistencia denominados microesclerocios, medio que le sirve para persistir en el suelo durante años. Entre las plantas susceptibles de ser huéspedes se encuentran desde arvenses de hoja ancha hasta cultivares como el algodón o el tomate. Los restos de estas plantas traspasan el inóculo al suelo pudiéndose éste quedar latente durante 12-14 años.

V. dahliae presenta una variedad patogénica elevada, variando entre virulencia moderada hasta los llamados “defoliantes”, los cuales están desbancando a los de menor virulencia.

4. Epidemiología

El ciclo se inicia con los microesclerocios presentes en el suelo, los cuales colonizan las raíces hasta alcanzar el sistema vascular. También puede penetrar en la planta mediante heridas, o puede ser introducido en la explotación mediante material vegetal infestado que esté en fase asintomática.

Una vez que alcanza el xilema, el micelio genera conidios que se depositan en un primer lugar en los sistemas conductores, colonizando la planta mediante viajes en la corriente de savia. Al alcanzarse cierto grado de nivel de severidad, se empiezan a generar microesclerocios, primero en el xilema, y más tarde en el resto de los tejidos. La planta enferma pierde las hojas, y los microesclerocios que en ella se forman alcanzan el suelo, donde cierran el ciclo, quedando latentes para nuevas infecciones.

El inóculo se transmite con gran facilidad en campo, pudiéndose transportar en los aperos, material vegetal, agua de riego, instrumental etc.

Los síntomas de la enfermedad suelen aparecer, en nuevas infecciones, a partir del segundo año, aunque la cantidad de enfermedad que se produce en el olivar está íntimamente relacionada con la cantidad de inóculo presente en el suelo y por la tasa de infección, es decir la eficacia del inóculo en relación a factores externos al mismo como pueden ser las técnicas de cultivo, la variedad empleada etc.

5. Control

El control de la verticilosis presenta numerosas dificultades, debido generalmente a la gran longevidad del inóculo en el suelo, la inaccesibilidad del hongo por su presencia en el xilema y la gran variedad de cultivos susceptibles de ser infectados. Pero a pesar de todo, existen medidas de control que, aunque por sí solas son de efectividad limitada, en conjunto pueden ayudar a minimizar la presencia de la enfermedad.

Como prevención, se recomienda evitar suelos infestados y utilizar material vegetal libre del patógeno. Si se decide partir de suelo infestado, existen medidas de control cultural (rotaciones con cultivos no susceptibles previas a la siembra, eliminación de arvenses...) y de desinfección del suelo (solarización y lucha química) que pueden minimizar la presencia de la enfermedad, pero va a depender en gran medida de la cantidad de inóculo presente en el suelo y de la virulencia del patógeno. En ambos casos, lo ideal es utilizar cultivares con resistencia moderada-alta a la enfermedad.

Tuberculosis

1. Descripción

La tuberculosis, verrugas, tumores o agallas del olivo, es una enfermedad distribuida en toda el área del cultivo del olivo. El termino mas utilizado, tuberculosis hace referencia al síntoma característico de la enfermedad.

Aunque la enfermedad esta ampliamente distribuida, no existe una estimación precisa de las perdidas que ocasiona, las cuales se estiman en alrededor del 1,3% (De Andres, 1991)

2. Sintomatología

Los síntomas son claros y conocidos por todos los olivicultores. El mas común es el tumor o agalla de forma redondeada que llega a alcanzar varios cm de diámetro. Los tumores se forman en troncos, ramas, tallos y brotes. Las hojas, raíces y cuello de la planta pueden verse afectadas, aunque con menor frecuencia e intensidad. Las infecciones en fruto son infrecuentes y por ello han pasado desapercibidas.

3. Etiología

La bacteria causante de la Tuberculosis se denomina actualmente *Pseudomonas savastanoi* pv. *Savastanaoi*, considerándose una variedad patogénica o patovar de la especie *P. savastanoi*. Posee de 1 a 4 flagelos y pertenece al grupo de las pseudomonas fluorescentes, llamadas así debido a que producen fluorescencia al ser expuestas a la luz ultravioleta.

4. Epidemiología

Pasa el periodo desfavorable en los tumores de la estación anterior, en presencia de agua libre se producen exudados que arrastran las bacterias propagándose de este modo por el mismo árbol o sobre los vecinos. También la bacteria es capaz de vivir y multiplicarse en el ambiente sin causar infecciones al olivo, lo que contribuye a generar nuevos inóculos.

Para infectar al vegetal necesitan una vía de penetración por lo que utilizan las heridas, ya sean producidas naturalmente (caída de hojas) o accidentes (granizo, heladas, recolección a vareo, poda o limpia, ataque de animales, injerto).

Los periodos más favorables para la infección son en otoño y primavera. En las infecciones de otoño e invierno los síntomas no aparecen hasta la primavera siguiente, en tanto que las infecciones de primavera-verano muestran los síntomas transcurridos unas dos semanas.

5. Control

Fundamentalmente la lucha contra la tuberculosis del olivo es preventiva, ya que el uso de bactericidas no proporciona los resultados esperados además de tener un alto coste. Así citaremos algunas medidas para tener en cuenta para no propagar la enfermedad:

- Eliminar los tejidos afectados
- Hacer las podas en tiempo seco, periodo más desfavorable para el desarrollo de la enfermedad.
- Hacer la recolección produciendo el mínimo número de heridas.
- No recolectar con lluvias.
- Desinfectar las herramientas de poda.
- No utilizar estacas o injertos afectados.
- Empleo de variedades menos susceptibles.
- Hacer tratamientos contra aquellas enfermedades que produzcan la caída de las hojas.
- Mantener un abonado equilibrado, sin abuso de nitrogenados.

8.-Tratamientos fitosanitarios

Todos los años, se realizarán tratamientos contra plagas y enfermedades para poder los controlar los posibles daños causados por estas en el olivar. Los tratamientos, se realizarán usando un atomizador (pulverizador de presión de liquido), en el cual el liquido dividido en pequeñas gotas en las boquillas es transportado por una corriente de aire generada en un ventilador o turbina que las dirige hacia el cultivo. Este sistema permite agitar la masa vegetal creando huecos para la penetración de las gotas en su interior con el fin de depositarse en ambos lados de la hoja.

La dosis de aplicación con este sistema oscila entre 400 y 2000 $\frac{\text{litros}}{\text{hectarea}}$.

Tabla 1: calendario, productos y nº de tratamientos recomendados en el olivar

Plaga-Enfermedad	Época	Materia Activa	Número de tratamientos
Mosca del olivo (<i>Bractocera oleae</i>)	Junio	Dimetoato	1
Prays (Prays oleae Bern)	Marzo-Junio	Dimetoato	2
Cochinilla de la tizne (<i>Saissetia oleae Bern</i>)*	-	-	-
Glifodes (<i>Palpita unionalis</i>)	Primavera-Verano	Fosmet	1
Repilo (<i>Venturia oleaginea</i>)	Otoño-Primaver	Oxicloruro de cobre	2
Verticilosis (<i>Verticillium dahliae</i>)	-	-	-
<i>Xylella fastidiosa</i>	-	-	-

* En relación con el tratamiento de la cochinilla, se deberá realizar un estudio anual, y en el caso de sobrepasar el umbral de actuación, se establecerá un plan de tratamientos.

9.-Recolección

Hoy en día, la recolección de la aceituna ha sufrido numerosas evoluciones constante basadas en el desprendimiento de la aceituna mediante la vibración, sacudidores de copa o cosechadoras integrales.

Tradicionalmente la recogida de aceituna se llevaba a cabo mediante la recogida en el suelo, el ordeño de ramas o el desprendimiento manual y el vareo, hoy en día se han desarrollado numerosas técnicas como las cosechadoras en el caso del olivar superintensivo, o los sacudidores de copas en el caso del olivar intensivo entre otros muchos sistemas.

En nuestra explotación al tratarse de olivar intensivo, durante los primeros años de vida del proyecto, la recolección se llevará a cabo manualmente para evitar daños en los arboles debido a su juventud y evitar lesiones en los troncos causados por la vibración.

Cuando los arboles alcancen 5 años, será cuando se lleve a cabo la mecanización de la recolección, mediante el uso de un vibrador de tronco con paraguas invertido acoplado a un tractor.



Figura 1: recolección olivar mediante paraguas invertido y vibrador de tronco

El funcionamiento del vibrador de troncos consiste en: una carcasa o cabeza vibradora, denominada comúnmente pinza, en cuyo interior se muestra una o varias masas excéntricas, dotada de un sistema de agarre al tronco del árbol, formado por almohadillas de goma; una estructura de soporte y un sistema hidráulico. La pinza y el resto del vibrador se montan sobre un tractor u otro vehículo capaz de proporcionar la potencia hidráulica necesaria para su accionamiento.

Para mejorar la eficiencia del 90% que presentan los vibradores de tronco, en esta labor, se requerirá la ayuda de algunos jornaleros que mediante varas sacudan las copas de los olivos con el fin de incrementar la caída de aceituna.

Con respecto al tiempo de recolección, se estima que un vibrador acoplado como en este caso, puede recolectar unas $0,118 \frac{\text{hectarea}}{\text{hora}}$. Por lo que se precisaran de 4,12 jornadas de 8 horas para recolectar toda la finca.



Anejo 5: Diseño del riego

Índice

1.- Introducción.....	57
2.- Diseño agronómico.....	57
3.- Riego deficitario controlado.....	64
4.- Numero de emisores por árbol.....	66
5.- Caudal ficticio continuo.....	68
6.- Diseño hidráulico.....	69

1.- Introducción

Tradicionalmente el riego se ha considerado en las zonas áridas y semiáridas como un modelo para incrementar el desarrollo económico de una región. Actualmente, se está cuestionando, si se debiera emplear un porcentaje tan importante de los recursos hídricos en el regadío, pues en España dicho porcentaje asciende al 80%, y en otras regiones como California, es del 85%, lo que plantea diversos dilemas tales como el de mejorar la eficiencia del agua en los cultivos, pues es un recurso que cada vez con toda seguridad será más escaso y caro.

El olivar es un cultivo tradicionalmente de secano, ya que es un cultivo bien adaptado a las condiciones climáticas del mediterráneo, teniendo como únicas aportaciones de agua, las provenientes de las precipitaciones y las reservas de agua del suelo, manteniendo unas producciones aceptables capaz de sobrevivir a periodos de intensa sequía. Sin embargo, se ha comprobado que el olivo tiene una excelente respuesta al regadío aumentado notablemente el rendimiento del cultivo, aun cuando las aportaciones de agua son muy reducidas. En la actualidad la práctica del riego del olivar ha aumentado considerablemente, si se comparan con el pequeño porcentaje de las más de dos millones de hectáreas de olivar que se regaban, hasta que en 1990, se dieron una serie de circunstancias entre las que destacan el incremento del precio del aceite, las intensas sequías acaecidas en las zonas productoras y las constantes innovaciones en el sector del riego localizado, dieron lugar a una impulsión a la puesta en riego del olivar, particularmente en algunas zonas de Andalucía.

Para el diseño del riego de nuestro proyecto, debemos responder a una serie de preguntas tales como:

- ¿Cuáles son las necesidades hídricas del olivo para máxima producción?
- ¿Cómo debo repartir el agua?
- ¿Cómo he de regar?
- ¿Cada cuánto he de regar?

Estas y otras preguntas son algunas de las que debemos de responder para un buen diseño del riego en la plantación.

2.- Diseño agronómico

2.1.- Evapotranspiración máxima (ET_c)

El concepto de evapotranspiración viene dado por la cantidad de agua que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo, unida a la transpiración, que es el proceso por el cual la planta pierde vapor de agua por los estomas a costa de permitir la entrada de CO₂, este es el coste que debe pagar el cultivo para producir biomasa.

Este termino, nos servirá para poder determinar la cantidad de agua que debemos aportar para que la producción del cultivo no se vea reducida como consecuencia de un déficit hídrico.

Tabla 1: efectos del déficit hídrico en los diferentes procesos del olivar.

PROCESO	PERÍODO	EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO
Crecimiento vegetativo	Todo el año	Reducción del crecimiento y del número de flores al año siguiente
Desarrollo de yemas florales	Febrero-Abril	Reducción del número de flores. Aborto ovárico
Floración	Mayo	Reduce la fecundación
Cuajado de frutos	Mayo-Junio	Aumenta la alternancia
Crecimiento inicial del fruto	Junio-Julio	Disminuye el tamaño del fruto (menor número de células/fruto)
Crecimiento posterior del fruto	Agosto-Cosecha	Disminuye el tamaño del fruto (menor tamaño de las células del fruto)
Acumulación de aceite	Julio- Noviembre	Disminuye el contenido en aceite del fruto

El método mas utilizado para determinar la ET_c del cultivo es el recomendado por la FAO, en el que la ET_c , es el resultado del producto de dos términos:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \times K_r$$

Donde:

- ET_c = evapotranspiración máxima del cultivo ($\frac{mm}{día}$).
- ET_0 = evapotranspiración de referencia ($\frac{mm}{día}$).
- K_c = coeficiente del cultivo.
- K_r = coeficiente de localización.

2.1.1.- Calculo de la ET_0

Para poder conocer la ET_c , primero debemos calcular la evaporación de referencia (ET_0) que se produce en la zona de la explotación. Este parámetro cuantifica la demanda evaporativa de la atmosfera y corresponde a la evapotranspiración de una superficie de gramíneas con una altura de 8-10 cm que crece sin limitaciones de agua y/o nutrientes en el suelo.

Este parámetro fue calculado en el anejo nº1 'Estudio climático'. El método según Penman-Monteith, será el método escogido a la hora de calcular las necesidades hídricas para el diseño del riego.

Los valores de la ET_0 , han sido obtenidos de los datos de la estación mas cercana de la red de estaciones agroclimáticas de Andalucía, en un estudio que recogía los datos históricos de los últimos 10 años.

FECHA	Eto
2010-2021	mm/día
DICIEMBRE	1,59
NOVIEMBRE	1,54
OCTUBRE	2,19
SEPTIEMBRE	3,65
AGOSTO	5,43
JULIO	7,03
JUNIO	7,41
MAYO	6,92
ABRIL	5,52
MARZO	3,94
FEBRERO	2,91
ENERO	1,91

2.1.2.- Coeficiente de cultivo (K_c)

El coeficiente de cultivo (K_c) expresa la relación entre la evo transpiración de un cultivo y la ET_0 . El K_c varia con la cobertura del suelo y, en condiciones de suelo parcialmente cubierto, con la frecuencia de lluvias. (Barranco et al., 2017). Los valores de K_c varían dentro de un mismo cultivo, dependiendo de la fase en la que se encuentre.

Para calcular estos valores mensuales, en cualquier olivar y clima, se ha desarrollado un método, que ha sido puesto a punto conjuntamente por el Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba y la Universidad de Córdoba.

Los valores mensuales para la K_c del olivo son los siguientes:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
K_c	0,65	0,65	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,55	0,6	0,65	0,65

2.1.3.- Coeficiente de localización (K_r)

La ET_c de un olivar varia según el marco de plantación del cultivo, para determinarlo se usa la siguiente expresión de la FAO:

$$K_r = 0,0226 \times S_s - 0,00012 \times S_s^2$$

Siendo:

- S_s = porcentaje de sombreado.

S_s hace referencia al porcentaje de sombreado del suelo a mediodía por la copa del árbol, y su cálculo está relacionado con la densidad de plantación y con el diámetro máximo de copa de los olivos en pleno desarrollo:

$$S_s = \frac{\pi \times r^2}{\text{Marco de plantación}} \times 100$$

Donde:

- r = radio máximo de copa (m).

En nuestro proyecto contamos con un marco de plantación de 7 x 5 m, lo que nos ofrece una densidad de 283 $\frac{\text{olivos}}{\text{ha}}$. En los que consideraremos un diámetro de copa de 4 metros como máximo, que se mantendrán mediante labores de poda. El cálculo de la S_s queda:

$$S_s = \frac{\pi \times 2^2}{35} \times 100 = 35,90 \%$$

Conocido este valor, ya puede ser hallado el valor de K_r .

$$K_r = 0,0226 \times 35,90 - 0,00012 \times 35,90^2 = 0,65$$

Conocidos los valores anteriores, junto con los de ET_0 , K_c y K_r se puede calcular la ET_c mensual.

Tabla 2: valores de ET_c mensuales

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ET_0 ($\frac{mm}{día}$)	1,91	2,91	3,94	5,52	6,92	7,41	7,03	5,43	3,65	2,19	1,54	1,59
K_c	0,65	0,65	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,55	0,6	0,65	0,65
K_r	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
ET_c ($\frac{mm}{día}$)	0,81	1,23	1,66	2,15	2,47	2,65	2,28	1,76	1,3	0,85	0,65	0,67

2.2.- Programación de riegos

En nuestro proyecto, a petición del dueño de la finca vamos a realizar un estudio de tres estrategias de riego diferentes, la primera estrategia, será riego a plena producción según el clima, la segunda estrategia, será riego a plena producción teniendo en cuenta las

reservas de agua en el suelo, y por último, la tercera estrategia será riego deficitario, en el cual se ha decidido concentrar el déficit hídrico entre el 15 de julio y el 15 de agosto.

3.1.- Riego a plena producción según clima

Para la primera estrategia únicamente se va a considerar el ET_c de cada mes para planificar el riego, así la cantidad de agua a aportar será igual a la ET_c mensual.

2.2.1.- Dosis de riego

Para calcular la dosis de riego mensual para la estrategia 1, únicamente vamos a establecer como criterio los valores de ET_c y la precipitación efectiva, cada mes vamos a obtener una dosis de riego diferente, la suma de todas las dosis, nos daría un valor de $257 \frac{mm}{año}$.

2.2.2.- Necesidades totales de riego (N_t)

Para diseñar la red de tuberías y el riego, partiremos del mes con máxima demanda hídrica.

Teniendo en cuenta la dosis de riego a aplicar, podemos calcular los litros por olivo y hectárea mensuales necesarios para satisfacer las necesidades del cultivo en el mes de máxima demanda. El cultivo en esta estrategia requerirá $78 \frac{mm}{día}$ lo que equivale a $78 \frac{litros}{m^2}$, con estos datos y teniendo en cuenta el marco de plantación, podemos calcular las necesidades mensuales, que serán

$$N_o \text{ (necesidades por olivo)} = 78 \frac{\text{litros}}{\text{mes}} \times \frac{7 \times 5 \text{ m}}{\text{olivo}} = 2730 \frac{\text{litros}}{\text{olivo} \times \text{mes}}$$

Por lo tanto, para averiguar las necesidades netas por hectárea basta con multiplicar los litros obtenidos por el número de árboles por hectárea que es de 285 olivos.

$$N_n = 2730 \frac{\text{litros}}{\text{olivo} \times \text{mes}} \times 285 \frac{\text{olivos}}{\text{hectarea}} = 778,05 \frac{m^3}{\text{mes} \times ha}$$

Si consideramos que la eficiencia de aplicación de un buen sistema de riego por goteo está en torno al 90%, esta estrategia equivaldría a necesidades totales mensuales de

$$N_t = 864,50 \frac{m^3}{\text{mes} \times ha}$$

$$N_t = 28,81 \frac{m^3}{día \times ha}$$

2.2.3.- Riego a plena producción teniendo en cuenta las reservas de agua en el suelo

Para la segunda estrategia, uno de los métodos más extendidos es el del balance de agua, que consiste en calcular las variaciones del contenido de agua en el suelo como la diferencia entre las entradas de agua y las salidas. Para programar los riegos resulta conveniente expresar el contenido de agua en el suelo en términos de *déficit de agua en el suelo* (DAS) o lo que es lo mismo la cantidad de agua que falta en el suelo para estar lleno.

$$DAS_t = DAS_{t-1} + ET_c - RN - PE$$

Siendo:

- DAS_t = Déficit de agua en el suelo final y DAS_{t-1} en contenido inicial.
- ET_c = Evo transpiración del cultivo.
- Rn = Riego neto.
- Pe = Precipitación efectiva.

El cálculo de DAS mediante esta expresión permite programar los riegos adoptado como regla de decisión que el DAS ha de ser siempre inferior a un umbral, denominado *déficit permisible* (DP) para que la producción no se vea afectada por el déficit hídrico.

El DASP depende de las características del suelo, en función de su textura y la profundidad explorada por las raíces. A efectos de la programación de riegos, el suelo se considera como un depósito de agua en el suelo cuyo nivel superior se denominada *capacidad de campo* (CC) y el nivel inferior *nivel de agotamiento permisible* (NAP), para poder determinar el nivel de agua disponible para el cultivo, se utiliza la siguiente expresión:

$$DP = IHD \times Z_r \times NAP$$

Donde:

- DP = Déficit de agua permisible.
- IHD = Humedad disponible en el suelo, según la gráfica, suponemos un valor de 0,16 para suelos franco-arcilloso.
- Z_r = Profundidad explorada por las raíces, en la que suponemos 1m.
- NAP = Nivel de agotamiento permisible del cultivo, en el caso del olivar, sería de 0,5 para olivar joven, y 0,75 para olivar adulto, utilizaremos el valor de olivar adulto.

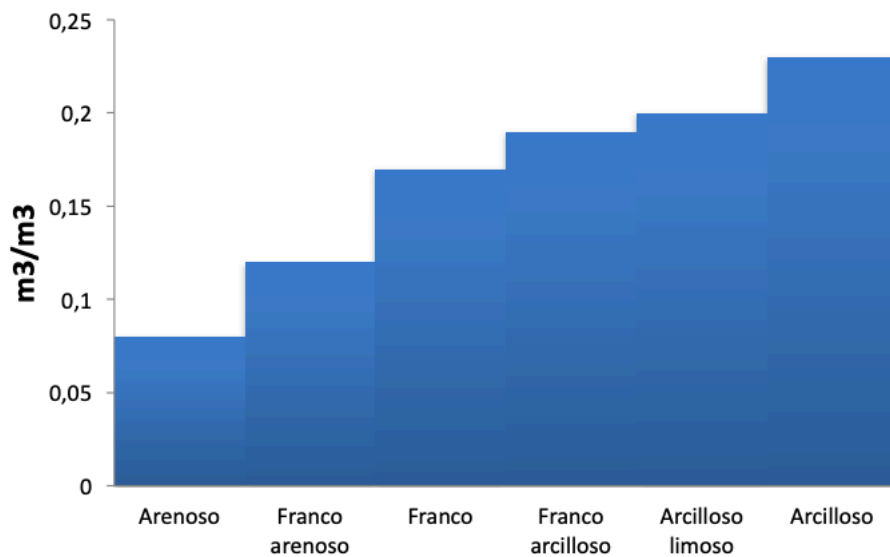


Figura 3: valores de déficit permisible según tipo de suelo

Por lo que nos sale un valor del DP de 120 mm, este valor es el máximo que se puede obtener de la suma de los distintos déficits que se van acumulando, obtenido mediante la fórmula expuesta anteriormente (DAS).

2.2.4.- Cálculo dosis de riego

Para calcular la dosis de riego mensual de la segunda estrategia, primero vamos a calcular cuál sería el déficit de agua total, y después dividirlo entre los meses a regar, teniendo en cuenta que el déficit total no puede superar los 120 mm.

El déficit total en caso de no regar sería de 257 mm, y el déficit permisible en nuestro caso es de 120 mm, por lo que para calcular la dosis de riego restaremos ambos valores, dejando un margen de déficit de 10 mm por lo que el resultado, sería de $257 - 130 = 127$ mm, esta sería la cantidad de riego total a aportar. Que dividida entre el número de meses que se va a regar, nos daría como resultado la dosis de riego mensual, que teniendo en cuenta que se va a regar durante los meses de Abril a Septiembre, la dosis mensual de riego para la segunda estrategia teniendo en cuenta la reserva de agua del suelo, es de $26 \frac{mm}{mes}$.

2.2.5.- Necesidades totales de riego (Nt)

Para diseñar la red de tuberías y el riego, partiremos del mes con máxima demanda hídrica.

Teniendo en cuenta la dosis de riego a aplicar, podemos calcular los litros por olivo y hectárea mensuales necesarios para satisfacer las necesidades del cultivo en el mes de máxima demanda. El cultivo en esta estrategia requerirá $26 \frac{mm}{dia}$ lo que equivale a $26 \frac{litros}{m^2}$,

con estos datos y teniendo en cuenta el marco de plantación, podemos calcular las necesidades mensuales, que serán

$$N_o \text{ (necesidades por olivo)} = 26 \frac{\text{litros}}{\text{mes}} \times \frac{7 \times 5 \text{ m}}{\text{olivo}} = 910 \frac{\text{litros}}{\text{olivo} \times \text{mes}}$$

Por lo tanto, para averiguar las necesidades netas por hectárea basta con multiplicar los litros obtenidos por el número de árboles por hectárea que es de 285 olivos.

$$N_n = 910 \frac{\text{litros}}{\text{olivo} \times \text{mes}} \times 285 \frac{\text{olivos}}{\text{hectarea}} = 259,35 \frac{\text{m}^3}{\text{mes} \times \text{ha}}$$

Si consideramos que la eficiencia de aplicación de un buen sistema de riego por goteo esta en torno al 90%, esta estrategia equivaldría a necesidades totales mensuales de

$$N_t = 288,16 \frac{\text{m}^3}{\text{mes} \times \text{ha}}$$

$$N_t = 9,60 \frac{\text{m}^3}{\text{dia} \times \text{ha}}$$

3.- Riego deficitario controlado

En los apartados anteriores se ha desarrollado una metodología aplicada para aproximar los programas de riego para máxima producción del olivar. Las cantidades de riego a aplicar son muy variables dependiendo del clima, del tipo de suelo y el volumen de copa del olivar. Las estrategias de riego deficitario intentan maximizar el beneficio por unidad de agua aplicada. Ello requiere un conocimiento de las respuestas productivas del cultivo a aplicaciones deficitarias de riego en las distintas fases de desarrollo del árbol.

Es necesario responder a las siguientes cuestiones básicas:

- Cuanto se reduce la producción cuando se reduce la dosis de riego por debajo de los requisitos mínimos de demanda.
- Como repartir el agua para minimizar el impacto de la producción.
- Como repartirla en la superficie a regar.

Estas preguntas no tienen una respuesta simple, ya que entran en juego muchos factores como el tipo de clima, el tipo de olivar, etc.

Un trabajo pionero en el que se obtuvieron muchas respuestas a las cuestiones anteriormente planteadas para el olivar fue publicado por *Moriana et al. (2003)*. El experimento de cuatro años de duración, se realizó en un olivar de 'picual' adulto plantado a un marco de 6x6 m en el CIFA de Córdoba; y consistió en aplicación de cinco tratamientos de riego:

- Control. Se riega para máxima producción reponiendo toda el agua consumida por el olivo, sin contemplar la reserva de agua del suelo.

- RDL. Un riego deficitario orientado a cubrir aproximadamente el 50% de la ET_c del cultivo, aplicado uniforme a lo largo de toda la estación seca.
- RDC. Un riego deficitario similar al anterior, pero concentrando el déficit entre el 15 de julio y el 15 de septiembre, periodo en el que no se riega en absoluto.
- AYV. Se riega igual que en control en los años de carga, mientras que de secano los años de descarga.
- Secano. No se aplica ningún tipo de riego.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)			
	Riego (mm/año)	ET_c (mm/año)	Fruto (kg/ha)	Aceite(kg/ha)
Control	538	817	11.100	1.950
RDL	152	621	8.450	1.650
RDC	131	572	8.150	1.550
AYV	337	703	7.800	1.450
Secano	0	527	6.500	1.150

tabla 4: Rendimiento de un olivar en función de las diferentes estrategias de riego (Control: riego a plena producción, RDC: riego deficitario controlado, RDL: riego deficitario controlado concentrando déficit hídrico en meses de verano, AYV: alternando riegos, en años de carga se riega, y en secano los años de descarga)

Para poder decidir la estrategia más adecuada, también sería conveniente conocer los efectos del déficit hídrico sobre los procesos del olivo.

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

tabla 5: efectos del déficit hídrico en los diferentes procesos del olivar.

En nuestro caso, la estrategia elegida, será la de RDC, ya que los efectos del déficit hídrico, en el periodo en que no se regará, no son muy significativos, tal y como se recoge en la figura 4, en la que se observa que tan solo varía en 100 kg/ha de aceite.

3.3.1.- Dosis de riego

Para calcular la dosis de riego, se calculará la necesidad del olivo de cada mes, teniendo en cuenta la ET_c , y la precipitación efectiva, y se multiplicará por 0,5 para así satisfacer el 50% de las necesidades mensuales, excepto desde el 15 de julio, hasta el 15 de septiembre, periodo en el que no se regará.

Tabla 6: calculo de dosis de riego mensuales para las diferentes estrategias y déficit de agua.

	ET_0	PE	ET_c	Estrategia 1	Estrategia 2	Estrategia 3	D	DAS	D (E3)	DAS (eE3)
Enero	57,3	41,1	24,3	0	0	0	-17	0	-17	0
Febrero	87,3	55,8	36,9	0	0	0	-19	0	-19	0
Marzo	118,2	43,8	49,8	6	0	0	6	6	6	6
Abril	165,6	59,1	64,5	5,4	26	0	-21	-15	5,4	11,4
Mayo	207,6	24	74,1	50,1	26	25,05	24,1	9,5	25,6	36,5
Junio	222,3	1,2	79,5	78,3	26	39,15	52,3	61,8	39,2	75,6
Julio	210,9	0,3	68,4	68,1	26	34,05	42,1	104	34,1	110
Agosto	162,9	17,4	52,8	35,4	26	0	9,4	113	35,4	145
Septiembre	109,5	24,9	39	14,1	26	5,25	-12	101	8,85	154
Octubre	65,7	54,3	25,5	0	0	0	-29	72,6	-29	102
Noviembre	46,2	79,5	19,5	0	0	0	-60	12,6	-60	41,9
Diciembre	47,7	52,2	20,1	0	0	0	-32	-20	-32	9,75
TOTAL	1453,5	453,6	534,3	257,4	156	103,5				

Para nuestro proyecto, la estrategia de riego mas recomendable es la estrategia 2, aunque la elección de la misma, quedara en manos del propietario de la finca, en función del agua disponible en la finca.

4.- Numero de emisores por árbol

El caudal del gotero elegido será de $4 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$, mas adelante se explicará el tipo de gotero elegido.

Se colocarán 4 emisores por árbol espaciados entre si a 1 metro.

4.2.- Tiempo de riego (Tr)

En la explotación se regará todos los días, y a continuación vamos a determinar cuantas horas se debe regar al día para satisfacer las necesidades del cultivo, para ello utilizaremos la siguiente formula.

$$T_r = \frac{N_t \times I_r}{q_e \times N_e}$$

Siendo:

- N_t = Necesidades totales ($\frac{L}{día}$)
- I_r = intervalo entre riegos (días)
- q_e = Caudal del emisor ($\frac{L}{h}$)
- N_e = Número de emisores por árbol

Para la estrategia 1

$$T_r = \frac{N_t \times I_r}{q_e \times N_e} = \frac{101,10 \times 1}{4 \times 4} = 6,31 \text{ h}$$

Para la estrategia 2

$$T_r = \frac{N_t \times I_r}{q_e \times N_e} = \frac{33,70 \times 1}{4 \times 4} = 2,10 \text{ h}$$

Para la estrategia 3

$$T_r = \frac{N_t \times I_r}{q_e \times N_e} = \frac{75,83 \times 1}{4 \times 4} = 4,73 \text{ h}$$

5.- Caudal ficticio continuo

El caudal ficticio continuo, (Q) es el caudal necesario para poder abastecer el riego de la finca y viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{N_t \times 10.000}{24 \times 3.600}$$

Siendo:

- q = caudal ficticio necesario ($\frac{L}{s \times ha}$)
- N_t = necesidades totales de riego
- $1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$
- $1 \text{ día} = 24 \text{ horas}$
- $1 \text{ hora} = 3.600 \text{ segundos}$

$$Q = \frac{28,81 \times 10.000}{24 \times 3.600}$$

6.- Diseño hidráulico

6.1.- Criterio hidráulico

El objetivo, es dimensionar las tuberías de riego para obtener la mayor uniformidad de riego posible.

En la elección del emisor, se ha optado por un gotero autocompensante, el cual mantiene un caudal uniforme, siempre que la presión de trabajo sea la adecuada, la cual oscila entre 0,7 atm y 4,1 atm, establecemos una presión mínima de trabajo de 1 atm por seguridad.

El criterio hidráulico será:

$$dH_{adm} = P_{max} - P_{min} = 4 - 1 = 3 \text{ atm}$$

En cuanto a la pérdida de carga admisible, se ha constatado que el coste mínimo de la explotación se produce cuando el 55% de las pérdidas de carga se produce en el ramal, siendo el 45% restante producidas en la tubería portaramales. Por lo que dichas pérdidas serán:

Pérdidas de carga admisibles en ramales:

$$HR_{adm\ pe} = 0,55 \times dH_{adm} = 1,65 \text{ atm}$$

Pérdidas de carga admisibles en la tubería portaramales:

$$HR_{adm\ pr} = 0,45 \times dH_{adm} = 1,35 \text{ atm}$$

6.2.- Elección del emisor

Para nuestra instalación hidráulica, se va a elegir un emisor de tipo autocompensante, para el que el fabricante otorga unas características técnicas recogidas a continuación:

- Caudal constante en régimen de trabajo comprendido entre 1 y 4 atm, sin provocar picos durante la puesta en marcha la instalación y alcanzándose rápidamente la presión de trabajo.
- Membrana resistente de silicona de propiedades químicas y mecánicas especiales, encargadas de mantener constante el caudal de salida para el intervalo de presiones considerado. La membrana es resistente a los productos químicos usados asiduamente en la agricultura (fertilizantes, herbicidas, ácidos...) y soporta un pH mínimo de 2.
- Los goteros constan de tres puntos de emisión, lo cual reduce las posibilidades de obstrucción por succión de partículas e impiden que el agua quede retenida en el interior provocando la proliferación de algas o precipitados.
- Filtro incorporado que produce una protección adicional, dando como resultado un gotero con muy baja sensibilidad a la obstrucción.
- Auto limpieza, proporcionada por la membrana incorporada.
- Filtración recomendada: malla-anillas de 200 micras.
- Constante del gotero. $K = 3,5$

- Exponente de descarga del gotero. $X = 0,1$
- Tubería de polietileno virgen de alta calidad resistente a la radiación UV.
- Gotero integrado termo soldado a la tubería.
- Distancia entre goteros variable en función a la presión de trabajo y caudal.

6.3.- Diseño tuberías

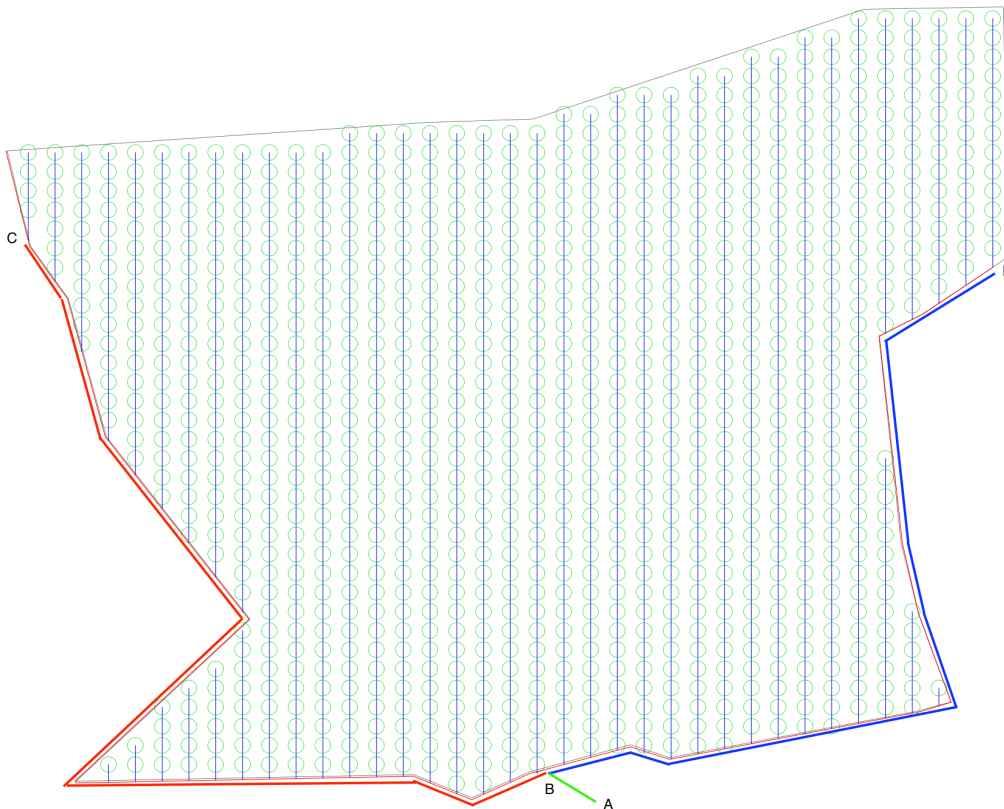


Figura 1: croquis del sistema de riego

En la anterior figura, podemos observar un croquis en el se puede apreciar el contorno de la finca, y las líneas de plantación a escala, también podemos observar por donde discurrirán los ramales y los portaramales.

Primero comenzaremos a diseñar los ramales, para ello supondremos unos diámetros comerciales, y calcularemos la pérdida de carga acumulada en las tuberías para

comprobar que en el gotero mas desfavorable existe la presión de trabajo, y en el caso que cumpla, será el diámetro elegido.

Ramales

-Longitud (m)= 179,58 m

-Caudal (Q)= número de goteros x caudal del emisor = $179 \times 4 = 716 \frac{L}{h} = 1,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

El material de la tubería elegido será de PVC, para las cuales a continuación tenemos los siguientes diámetros comerciales.

		P _N (Presiones de trabajo a 20°C)							
		0.4 Mpa (4 atm)		0.6 Mpa (6 atm)		1.0 Mpa (10 atm)		1.6 Mpa (16 atm)	
φ EXTERIOR (mm)	Longitud tubo (mm)	Espesor (mm)	Peso tubo (kg)	Espesor (mm)	Peso tubo (kg)	Espesor (mm)	Peso tubo (kg)	Espesor (mm)	Peso tubo (kg)
16	5	1.0	0.4	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5
20	5	1.0	0.5	1.2	0.6	1.5	0.7	1.5	0.7
25	5	1.2	0.7	1.2	0.7	1.5	0.9	1.9	1.1
32	5	1.2	1.0	1.4	1.1	1.8	1.3	2.4	1.7
40	5	1.4	1.4	1.8	1.7	2.0	1.9	3.0	2.7
50	5	1.4	1.7	1.8	2.1	2.4	2.8	3.7	4.1
63	6	1.8	3.3	1.9	3.4	3.0	5.2	4.7	7.8
75	6	1.8	3.9	2.2	4.8	3.6	7.4	5.6	11.1
90	6	1.8	4.7	2.7	6.9	4.3	10.6	6.7	15.9
110	6	2.2	7.1	3.2	10.0	5.3	15.9	8.2	23.7
125	6	2.5	9.0	3.7	13.0	6.0	20.3	9.3	30.5
140	6	2.8	11.2	4.1	16.2	6.7	25.5	10.4	38.2
160	6	3.2	14.7	4.7	21.0	7.7	33.4	11.9	49.8
180	6	3.6	18.4	5.3	26.6	8.6	41.9	13.4	63.1
200	6	4.0	22.5	5.9	32.7	9.6	51.9	14.8	77.3
250	6	4.9	34.4	7.3	50.6	11.9	80.1	-	-
315	6	6.2	55.0	9.2	80.1	15.0	127.0	-	-

El diámetro comercial elegido, será de 20 mm, y una presión de trabajo de 4 atm, el cual tiene un diámetro interior de 18 mm, que será el diámetro con el que calcularemos la perdida de carga.

Ahora procedemos a calcular la perdida de carga, para ver si entra dentro de los parámetros admisibles por los emisores elegidos, para ello utilizamos la siguiente formula:

$$Hr_{B-A} = L_f \times J \times F$$

Donde:

- Hr_{B-A} = Pérdida de carga en el lateral (B-A) en m.c.a.
- J = Pérdida de carga unitaria expresada en $\frac{m.c.a.}{m \text{ lineal}}$
- F = factor de Christiansen.
- L_f = longitud ficticia en m.

Longitud ficticia (L_f)

la longitud ficticia, parte de la siguiente expresión:

$$L_f = L + N_e \times L_e$$

$$L_f = 179,52 + 179 \times 0,18 = 209,67 \text{ mm}$$

Ecuación de Blasius (J)

Este parámetro nos permitirá conocer la pérdida de carga en tuberías de polietileno, que será el material elegido para las tuberías, y viene dado mediante la siguiente expresión:

$$J = 0,473 \times Q_{B-A}^{1,75} \times D^{-4,75}$$

Para:

- Q_{B-A} = Caudal en $\frac{L}{h}$
- D = Diámetro interior en mm

$$J = 0,473 \times 716^{1,75} \times 18^{-4,75} = 0,093 \text{ m.c.a.}$$

Factor de Christiansen (F)

este factor depende, del numero de emisores, la longitud hasta el primer emisor, y el régimen del fluido, y se obtiene mediante la expresión:

$$F = \frac{1}{(1 + \beta)} + \frac{1}{(2 \times N_e)} + \frac{\sqrt{\beta - 1}}{(6 \times N_e^6)}$$

$$-N_e = 179$$

$$-\beta = 1,75$$

$$F = 0,366$$

Conocidos todos los parámetros de los que depende la pérdida de carga en el ramal, podemos averiguarla:

$$H_r = 208,22 \times 0,089 \times 0,366 = 0,63 \text{ m.c.a.} = 0,61 \text{ atm}$$

A esta pérdida de carga, ahora debemos sumarle la pérdida de carga que se produce en el portaramal.

Tubería portaramales

A continuación, vamos a dimensionar el sector mas desfavorable, que en este caso en el tramo b-c.

-Longitud (m)= 324,66

Para definir el caudal del portaramal necesitaríamos saber el caudal que circula por cada ramal que irá insertado en él. Para ello, podríamos estimar el caudal de un ramal y multiplicarlo por el total que componen el subsector de riego, pero debido a la forma de este, el dato sería impreciso puesto que todos los ramales no tendrán la misma longitud. En consecuencia, calcularemos el caudal como el producto del numero de emisores en todo el subsector por el caudal de estos:

$$Q_{b-c} = \frac{\text{superficie}}{\text{marco}} \times N_e \times q_e = 8617 \frac{l}{h} = 2,39 \times 10^{-3}$$

$$D = 0,044 \text{ m} = 44 \text{ mm}$$

Elegiremos para la tubería portaramal polietileno, con una presión máxima de 6 atmosferas, la cual se unirá a la toma de agua por una electroválvula:

Ø Exterior mm.	0,6 MPa (6Atm.)			1,0 MPa (10Atm.)			1,6 MPa (16Atm.)		
	Espesor mm.	Ø Interior mm.	Peso Kg/m.	Espesor mm.	Ø Interior mm.	Peso Kg/m.	Espesor mm.	Ø Interior mm.	Peso Kg/m.
20	-	-	-	-	-	-	2	16	0,116
25	-	-	-	-	-	-	2,3	20,4	0,169
32	-	-	-	2	28	0,194	3	26	0,276
40	-	-	-	2,4	35,2	0,292	3,7	32,6	0,425
50	2	46	0,305	3	44	0,449	4,6	40,8	0,658
63	2,5	58	0,481	3,8	55,4	0,728	5,8	51,4	1,062
75	2,9	69,2	0,683	4,5	66	1,026	6,8	61,4	1,481
90	3,5	83	0,988	5,4	79,2	1,473	8,2	73,6	2,145
110	4,2	101,6	1,467	6,6	96,8	2,189	10	90	3,177
125	4,8	115,4	1,861	7,4	110,2	2,79	11,4	102,2	4,12
140	5,4	129,2	2,347	8,3	123,4	3,5	12,7	114,6	5,133
160	6,2	147,6	3,075	9,5	141	4,566	14,6	130,8	6,735
180	6,9	166,2	3,827	10,7	158,6	5,773	16,4	147,2	8,511
200	7,7	184,6	4,741	11,9	176,2	7,119	18,2	163,6	10,491
250	9,6	230,8	7,375	14,8	220,4	11,059	22,7	204,6	16,4
315	12,1	290,8	11,706	18,7	277,6	17,582	28,6	257,8	26
400	15,3	369,4	18,744	23,7	352,6	28,212	36,3	327,4	42

Probaremos con un diámetro nominal de 63 mm:

$$D_i = D_n - 2 \times \text{espesor} = 63 - 2 \times 2,5 = 58 \text{ mm}$$

Ahora procedemos a calcular la pérdida de carga, para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$Hr_{B-A} = L_f \times J \times F$$

Donde:

- Hr_{B-A} = Pérdida de carga en el lateral (B-A) en m.c.a.
- J = Pérdida de carga unitaria expresada en $\frac{m.c.a.}{m \text{ lineal}}$
- F = factor de Christiansen.
- L_f = longitud ficticia en m.

Longitud ficticia (L_f)

la longitud ficticia, al no conocer el número de emisores, utilizaremos la longitud real, incrementada en un 10%

$$L_f = 324,66 \times 1,10 = 357,126 \text{ m}$$

Ecuación de Blasius (J)

Este parámetro nos permitirá conocer la pérdida de carga en tuberías de polietileno de baja densidad, que será el material elegido para las tuberías, y viene dado mediante la siguiente expresión:

$$J = 0,473 \times Q_{B-A}^{1,75} \times D^{-4,75}$$

Para:

- Q_{B-A} = Caudal en $\frac{L}{h}$
- D = Diámetro interior en mm

$$J = 0,473 \times 8617^{1,75} \times 58^{-4,75} = 0.0190 \text{ m.c.a.}$$

Factor de Christiansen (F)

este factor depende, del número de emisores, la longitud hasta el primer emisor, y el régimen del fluido, y se obtiene mediante la expresión:

$$F = \frac{1}{(1 + \beta)} + \frac{1}{(2 \times N_e)} + \frac{\sqrt{\beta - 1}}{(6 \times N_e^6)}$$

- N_e = (numero de salidas, o ramales) = 25

- B = 1,75

$$F = 0,382$$

Conocidos todos los parámetros de los que depende la pérdida de carga en el ramal, podemos averiguarla:

$$H_f = 357,126 \times 0,019 \times 0,382 = 2,59 \text{ m.c.a.} = 0,22 \text{ atm}$$

Tras el cálculo de pérdida de carga en los diferentes tramos (ramal y portaramal mas desfavorecidos) observamos que la suma de pérdidas de carga es inferior a la carga admisible en el ramal ($0,61 \text{ atm} + 0,22 \text{ atm} < 1,65 \text{ atm}$) por lo que al ser este el gotero mas desfavorable en nuestro sistema, y este satisfacer nuestros criterios de pérdidas de carga, nos aseguramos de que todos lo cumplen, si usamos los de diámetros de tuberías elegidos.

6.4.- Diseño del cabezal riego

En el cabezal de riego, se incluirán dos sistemas de filtrado de malla, fertirrigación y automatización, todo estará en el interior de una caseta prefabricada, quedando así protegidos de las inclemencias del tiempo.

Para el filtrado, se utilizará un filtro de malla autolimpiante, con soporte de acero inoxidable, siguiendo las recomendaciones del fabricante de los goteros.

Anejo 7: Fertirrigación

Índice

1.-Introducción.....	78
2.- Ventajas e inconvenientes.....	78
3.-Instalación	78
3.1 Depósitos para almacenar abonos	78
3.2 Sistema de Inyección de abonos.....	79
4.- Programación de la fertirrigacion.....	79

1.- Introducción

La fertirrigación es una técnica que consiste en la aplicación de abono disuelto en el agua de riego. De esta forma podemos aprovechar la instalación de riego localizado para aplicar los fertilizantes, aunque también se necesitara de un sistema de depósitos, inyectoros y bombas.

2.- Ventajas e inconvenientes

Existen numerosas ventajas del empleo de la fertirrigación si se dispone de un sistema de riego localizado:

- Se puede aumentar la frecuencia de aplicación, con diferentes dosis en función del estado de la planta sin que esto conlleve un aumento de la mano de obra, con lo que siempre se mantendrá el buen estado nutritivo de la planta.
- Con esta técnica se distribuyen los nutrientes directamente en la zona donde existe una mayor densidad y actividad radical.
- Los nutrientes se concentran en el bulbo disueltos en agua, por lo que aumenta la absorción por la planta.

Este sistema también presenta algunos inconvenientes como:

- Mayor inversión inicial
- El agricultor olivarero necesita ampliar sus conocimientos de abonado con las particularidades de esta técnica.
- Si no se controla, pueden aparecer problemas de salinidad en el suelo
- Se necesita prestar mayor atención a la aparición de obstrucciones debidos a una mala disolución de los abonos.
- Un mayor precio de los fertilizantes ya que estos deben tener unas características mas específicas.

3.- Instalación

Para su instalación, como se ha comentado anteriormente, se necesitan de algunos elementos para su correcta aplicación. Dichos elementos encarecerán la inversión inicial, aunque a largo tiempo compensa la utilización de dicha técnica.

3.1.- Depósitos para almacenar abonos

Hay que disponer de depósitos para el almacén de la solución fertilizante, bien sean abonos líquidos o la solución resultante de disolver abonos sólidos. Hay que prestar especial atención el material de dichos depósitos ya que para algunas disoluciones muy ácidas, deberán estar tratados con resinas especiales. Conviene que tengan una ventosa para la entrada y salida de aire y una válvula adecuada para la entrada y salida de la solución fertilizante.

En cuanto al tamaño de los depósitos se elegirá más adelante con el propietario de la finca, pues conviene tener en cuenta no solo las necesidades de plantación, si no el descuento en el precio de los abonos si se compran en grandes cantidades, por lo que esta opción se estudiara más adelante.

3.2.- Sistema de inyección de abonos

Para la elección del sistema de inyección, el factor más relevante ha sido la automatización, por lo que se ha escogido un dosificador de abono eléctrico, este necesita ser accionado por un motor, en nuestro caso será un motor eléctrico, el cual, al accionar el dosificador de abono, este succiona la solución fertilizante y la inyecta a la red de riego a una presión superior a la del agua.

Los caudales nominales, varían desde 0,5 a 1500 $\frac{\text{litros}}{\text{hora}}$. Este será otro elemento para decidir con el propietario.

4.- Programación de la fertirrigación

El establecimiento de un abonado racional en el olivar basado en la realización de análisis foliares rutinarios, por lo que, para el establecimiento del plan de fertilización, y el posterior cálculo de la dosis de abonado, debemos esperar a que la plantación esté establecida.

No obstante, a continuación, se darán una serie de recomendaciones para una correcta aplicación de la fertirrigación

La mejora de las condiciones hídricas y nutricionales en fertirrigación permite una continua formación de raíces durante la mayor parte del año, salvo a finales de otoño, de forma que el sistema radical de los olivos fertirrigados están en disposición de absorber nuevos elementos durante casi todo el ciclo productivo, frente al de los árboles en condiciones de secano, en los que la formación de nuevas raíces se da únicamente desde finales de invierno, hasta comienzos de verano, momento en el que la disminución del agua en el suelo detiene de nuevo el proceso.

En cuanto a velocidad de absorción de los abonos aplicados, *Fernandez et al. (1991)* observaron en la misma plantación que los olivos fertirrigados, tardaban menos de 20 días en absorber P del suelo y trasladarlo a las hojas.

No deben inyectarse al agua de riego más de 0,7 litros de solución fertilizante por metro cúbico de agua en general $0,2-0,4 \frac{\text{litros}}{\text{m}^3}$ es lo adecuado.

La inyección de fertilizantes debe hacerse en la fase central del riego, no al principio ni al final. Además de mejorar la eficacia la aplicación, se evita que queden restos de fertilizantes en los goteros entre riegos, reduciéndose el riesgo de obturaciones

Al disponer de un sistema de fertirrigación, los abonos pueden aplicarse cuando se disponga, ahora bien, una aplicación semanal resulta igual de efectiva que una aplicación diaria, con el consiguiente descenso de la mano de obra, y al menos una vez a la semana, debe regarse con agua sin fertilizantes para contribuir a la limpieza de la red.

Además de abonos, también se pueden inyectar otros productos como plaguicidas, teniendo en cuenta que no deben aplicarse el mismo día que los abonos, para evitar interacciones no deseadas.

Anejo 8: Estudio económico

Índice

1.-Introducción.....	83
2.-Presupuesto	83
3.-Pagos y cobros ordinarios.....	83
4.-Pagos y cobros extraordinarios.....	87
5.-Flujo de caja	87
6.-Indicadores de rentabilidad	88

1.- Introducción

El objetivo de elaborar un estudio económico reside en estudiar la rentabilidad del proyecto durante su vida útil, teniendo en cuenta los costes y los ingresos del cultivo teniendo en cuenta el escenario actual y futuro de precios, para así ayudar al propietario de la finca a decidir si cambiar de sistema o no.

Para realizar el estudio económico, se han consultado los precios de las diferentes labores del olivar tales como recolección, tratamientos, poda, etc... para un olivar en plena producción, por lo que para elaborar el estudio desde la puesta en marcha del proyecto debemos estimar los precios desde el momento de la plantación

Las labores del cultivo serán poda, eliminación de restos, desvareto, mantenimiento del suelo, tratamientos foliares, fertirrigación, recolección

2.- Presupuesto

2.1.- Presupuesto

La elaboración del presupuesto se ha realizado con la aprobación del propietario de la finca consultando precios con diferentes empresas de servicios que ofrecen una serie de presupuestos, y junto con el propietario se ha elegido el que le ha parecido más adecuado.

La inversión inicial aproximada que deberá realizar el propietario será:

Plantación	4402,64 €
Sistema de riego	3122,82 €
Fertirrigacion	379,36 €
15% gastos generales	1027,62 €
6% beneficio industrial	513,81 €
21% IVA	1659,89 €
TOTAL	11106,14 €

2.2.- Vida útil del proyecto

Se estimará una vida útil del proyecto de 30 años, en los que se volverá a realizar un estudio económico para observar la rentabilidad de la inversión, existe la posibilidad de alargar la vida del proyecto renovando la plantación de nuevo.

3.- Pagos y cobros ordinarios

3.1.- Pagos ordinarios

Estos pagos son aquellos derivados de las operaciones del cultivo, son independientes de la producción. No son fijos, ya que de un año a otros pueden variar dependiendo del estado del cultivo, normalmente suelen aumentar conforme aumenta la edad del proyecto, hasta que el cultivo llega a plena producción.

- Costes unitarios

A continuación, vamos a mostrar una tabla con los costes unitarios, con los cuales elaboraremos los costes de cada operación de cultivo.

Personal	Coste horario, incluso SS
Trabajador cualificado (tractorista, podador...)	9,36 €/hora
Trabajador no cualificado (peón)	8.85 €/hora
Recolección	8.77 €/hora

Maquinaria	Coste horario
Tractor D.T. 95 C.V. (500 h/año)	29,00 €/hora
Pulverizador i/pistolas o barra herbicida	5.00 €/hora
Atomizador 1.500 l	8.50 €/hora
Desbrozadora martillos de 2 m a.t.	4.50 €/hora
Desbrozadora manual	1.00 €/hora
Cultivador	2.00 €/hora
Abonadora centrífuga	1.70 €/hora
Picadora de ramón	6.50 €/hora

- Poda

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	98,32 €	Poda de renovación 21.0 horas/Ha c/2 años. Olivar>30 años.
O.T.M.	131,10 €	Poda de renovación 28.0 horas/Ha c/2 años. Olivar>30 años.
O.I.	147,48 €	Poda de producción/renovación 31,5 horas/Ha c/2 años. Olivar 20-40 años
O.S.	252,83 €	Poda de producción 25.0 horas/año + topping mecánico. Olivar 2-15 años.

Los primeros años de la plantación, en concreto los dos primeros años se deberá prestar especial atención el entutorado de los olivos, y proceder a eliminar algunas ramas para que el olivo crezca correctamente, para esta labor se contratara dos trabajadores cualificados con un rendimiento de trabajo de 400 olivos por jornada, si en total tenemos 1074 olivos, se necesitaran 2,68 jornadas de trabajo, de una duración estimada por jornada de 6,5 horas, por lo que tendremos unos costes de 326,10 euros, para los dos primeros años, en los años siguientes el coste se reduce a $147,48 \frac{\text{euros}}{\text{ha}}$.

- Eliminación de restos de poda

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	56,18 €	12 h peón c/2 años
O.T.M.	77,97 €	14 h peón + 0.7 h tractor-picadora c/2 años
O.I.	83,30 €	14 h peón + 1 h tractor-picadora c/2 años
O.S.	71,00 €	2 h tractor-picadora anual

Para nuestra explotación, en los dos primeros años supondremos unos costes de $42,50 \frac{\text{euros}}{\text{ha}}$, para el resto de años, tendremos unos costes eliminación de residuos de poda de $83,30 \frac{\text{euros}}{\text{ha}}$, los que nos hace un coste total de 308,21 euros.

- Desvareto

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	46,02 €	5,2 h/Ha y año
O.T.M.	57,53 €	6,5 h/Ha y año
O.I.	40,27 €	4,6 h/Ha y año
O.S.	0,00 €	No se desvareta

En nuestro caso los costes de desvareto serán de $40,27 \frac{\text{euros}}{\text{ha}}$, con un total de 148,99 euros, excepto para los primeros años del proyecto en el que no habrá que realizar dicha labor.

- Mantenimiento del suelo

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	279,68 €	No laboreo. Cubierta espontánea. Herbicidas y desbrozadora.
O.T.M.	403,28 €	Laboreo mínimo. Cubierta espontánea. Herbicidas, desbr. y cultivador
O.I.	394,64 €	Laboreo mínimo. Cubierta espontánea. Herbicidas, desbr. y cultivador
O.S.	236,71 €	No laboreo. Cubierta espontánea. Herbicidas y desbrozadora.

El mantenimiento del suelo se realizará desde el primer año de la explotación, el cual tendrá un coste de $394,64 \frac{\text{euros}}{\text{ha}}$, con un coste total de 1487,79 euros.

- Tratamientos fitosanitarios

Sistema de Cultivo	Coste poda por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	166,68 €	2/3 Coste aplicación (74,07 €/Ha) + Productos. 2 Tratamientos.
O.T.M.	179,86 €	2/3 Coste aplicación (42,18 €/Ha) + Productos. 3 Tratamientos.
O.I.	216,95 €	2/3 Coste aplicación (32,80 €/Ha) + Productos. 4 Tratamientos.
O.S.	328,89 €	2/3 Coste aplicación (51,55 €/Ha) + Productos. 5 Tratamientos.

- Riego y fertirriego

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	0,00 €	No riego
O.T.M.	460,04 €	Dotación 1.500 m3. Inversión: 2.533 €/Ha + Canon, personal, energía...
O.I.	500,32 €	Dotación 2.000 m3. Inversión: 2.683 €/Ha + Canon, personal, energía...
O.S.	541,66 €	Dotación 2.000 m3. Inversión: 3.033 €/Ha + Canon, personal, energía...

Los costes totales para nuestro proyecto serán de 1886,20 euros.

- Recolección

Sistema de Cultivo	Coste recolección por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	497,88 €	1.750 kg/Ha. Vibrador rama con vara y mantos manual
O.T.M. secano	700,04 €	3.500 kg/Ha. Vibrador rama con vara y mantos ayudados
O.T.M. riego	920,00 €	6.000 kg/Ha. Vibrador tronco con vara y mantos ayudados
O.I. secano	595,00 €	5.000 kg/Ha. Paraguas
O.I. regadío	885,00 €	10.000 kg/Ha. Paraguas/Colossus
O.S.	600,00 €	10.000 kg/Ha. Cosechadora

- Costes totales

Años	Poda	eliminacion restos de poda	Desvareto	Mantenimiento del suelo	Tratamientos fitosanitarios	Riego y fertirriegos	Recoleccion	Total pagos
1	136,41	77,05	0	1487,79	204,47	471,55	0	2377,27
2	272,82	154,1	0	1487,79	408,95	943,10	0	3266,76
3	409,23	231,15	20,13	1487,79	613,41	1414,65	367	4543,36
4	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	734,019	5820,06
5	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	1101,02	6187,06
6	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	1468,038	6554,08
7	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	1835,04	6921,08
8	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	2202,05	7288,09
9	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	2569,06	7655,10
10	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	2936,07	8022,11
11	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	3303,08	8389,12
12	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	3336,45	8422,49
13	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	3336,45	8422,49
14	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	3336,45	8422,49
15-30	545,67	308,21	40,27	1487,79	817,9015	1886,20	3336,45	8422,49

3.2.- Cobros ordinarios

Los cobros ordinarios son aquellos ingresos que recibe la empresa procedente de la venta de la aceituna, donde sufrirá un proceso de transformación para después convertirse en aceite para su comercialización. Para la evaluación del estudio se ha supuesto una producción máxima de 10000 kg/ha y un rendimiento graso de la aceituna del 18%, lo que para un precio del aceite de $3,29 \frac{\text{euros}}{\text{kg aceite}}$, según POOLRED, para aceite virgen extra variedad picual, nos ofrece un precio de $0,59 \frac{\text{euros}}{\text{kg aceituna}}$, al cual debemos restarle una serie de costes por transporte e imprevisto, que estimaremos en $0,05 \frac{\text{euros}}{\text{kg}}$, por lo que los cobros ordinarios totales de nuestro proyecto, quedaran de la siguiente forma:

Años	produccion (kg/ha)	produccion total	aceituna (€/kg)	costes (€/kg)	total cobros
1	-	-	0,59	0,05	-
2	-	-	0,59	0,05	-
3	1100	4147	0,59	0,05	2239,38
4	2200	8294	0,59	0,05	4478,76
5	3300	12441	0,59	0,05	6718,14
6	4400	16588	0,59	0,05	8957,52
7	5500	20735	0,59	0,05	11196,9
8	6600	24882	0,59	0,05	13436,28
9	7700	29029	0,59	0,05	15675,66
10	8800	33176	0,59	0,05	17915,04
11	9900	37323	0,59	0,05	20154,42
12	10000	37700	0,59	0,05	20358
13	10000	37700	0,59	0,05	20358
14	10000	37700	0,59	0,05	20358
15-30	10000	37700	0,59	0,05	20358

4.- Cobros y pagos extraordinarios

En nuestro proyecto no se contemplan pagos extraordinarios, ya que estos suelen proceder de la compra de maquinaria y puesto que toda la maquinaria con las que se realizaran las labores serán alquiladas a la empresa de servicios que las realizara, como se ha reflejado en el apartado de pagos ordinarios, no existen dichos pagos.

En cuanto a los cobros ordinarios, al no disponer de maquinaria que vender, tampoco se contemplan.

5.- Flujo de caja

El Flujo de Caja es un informe financiero que presenta un detalle de los flujos de ingresos y egresos de dinero que tiene una empresa en un período dado. Algunos ejemplos de ingresos son los ingresos por venta, el cobro de deudas, alquileres, el cobro de préstamos, intereses, etc.

Año	PAGOS (€)		COBROS (€)		Inversion (€)	Flujo de caja (€)
	Ordinarios	Extraordinarios	Ordinarios	Extraordinarios		
1	2377,27	-	-	-	11106,14	-13483,41
2	3266,76	-	-	-		-3266,76
3	4543,36	-	2239,38	-		-2303,98
4	5820,0605	-	4478,76	-		-1341,3005
5	6187,0615	-	6718,14	-		531,0785
6	6554,0795	-	8957,52	-		2403,4405
7	6921,0815	-	11196,9	-		4275,8185
8	7288,0915	-	13436,28	-		6148,1885
9	7655,1015	-	15675,66	-		8020,5585
10	8022,1115	-	17915,04	-		9892,9285
11	8389,1215	-	20154,42	-		11765,2985
12	8422,4915	-	20358	-		11935,5085
13	8422,4915	-	20358	-		11935,5085
14	8422,4915	-	20358	-		11935,5085
15-30	8422,4915	-	20358	-		11935,5085

6.- Indicadores de rentabilidad

6.1.- Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto es viable.

$$VAN = -K + \sum_{j=1}^n \left(\frac{R_j}{(1+i)^j} \right)$$

Siendo:

- K = Desembolso inicial o inversión (€).
- R_j = Flujo de caja (€)
- i = Interés efectivo.
- n = Horizonte económico considerado (duración de la inversión en años)

Mediante el VAN podemos saber si el proyecto es viable desde el punto de vista financiero, siempre que el valor de este sea mayor que 0.

Para calcular el valor neto actual, consideraremos una vida útil del proyecto de 30 años, y un interés del 7%.

Año	Rj	(1+i)n	$\frac{Rj}{(1+i)n}$
1	-3266,76	1,07	-3053,047
2	-2303,98	1,14	-2012,385
3	-1341,3005	1,23	-1094,901
4	531,0785	1,31	405,1572
5	2403,4405	1,40	1713,62
6	4275,8185	1,50	2849,158
7	6148,1885	1,61	3828,783
8	8020,5585	1,72	4668,038
9	9892,9285	1,84	5381,098
10	11765,2985	1,97	5980,881
11	11935,5085	2,10	5670,474
12	11935,5085	2,25	5299,509
13	11935,5085	2,41	4952,812
14	11935,5085	2,58	4628,796
15	11935,5085	2,76	4325,978
16	11935,5085	2,95	4042,97
17	11935,5085	3,16	3778,476
18	11935,5085	3,38	3531,286
29	11935,5085	7,11	1677,689
20	11935,5085	3,87	3084,362
21	11935,5085	4,14	2882,581
22	11935,5085	4,43	2694,001
23	11935,5085	4,74	2517,758
24	11935,5085	5,07	2353,045
25	11935,5085	5,43	2199,108
26	11935,5085	5,81	2055,241
28	11935,5085	6,65	1795,127
29	11935,5085	7,11	1677,689
30	11935,5085	7,61	1567,933
		total	79401,24

6.2.- Plazo de recuperación (Pay-Back)

El pay-back o plazo de recuperación es un criterio para evaluar inversiones que se define como el periodo de tiempo requerido para recuperar el capital inicial de una inversión. Es un método estático para la evaluación de inversiones.

En nuestro proyecto, el plazo de recuperación es de 8 años, año en el cual partir de este los cobros actualizados son superiores a los pagos actualizados.

6.3.- Relación beneficio inversión

La relación beneficio/inversión, conocida también como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto. Este nos informa sobre la ganancia neta por cada unidad invertida en el proyecto.

$$Q = \frac{VAN}{K} = \frac{79401,23}{11106,14} = 7,14$$

Lo que significa que, por cada unidad monetaria invertida, obtendremos un beneficio de 7,14 unidades monetarias, lo que nos hace ver la viabilidad del proyecto.

6.4.- Tasa interna de Rendimiento (TIR)

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; así, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

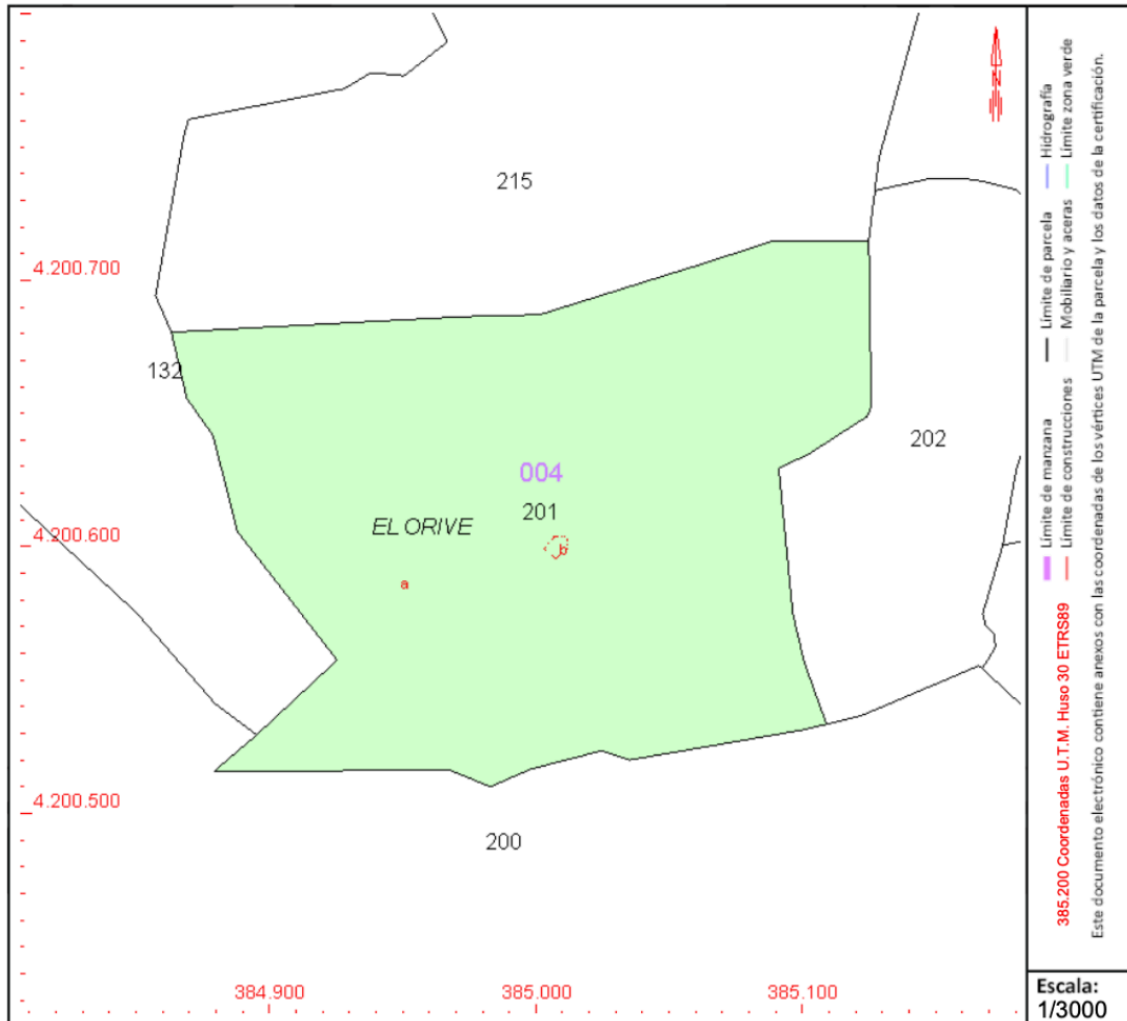
Una vez calculada la TIR de nuestro proyecto (32,36%), la cual es mayor al tipo de interés de mercado del 7% (32,36% > 7%), podemos decir que nuestro proyecto es viable.

Bibliografía

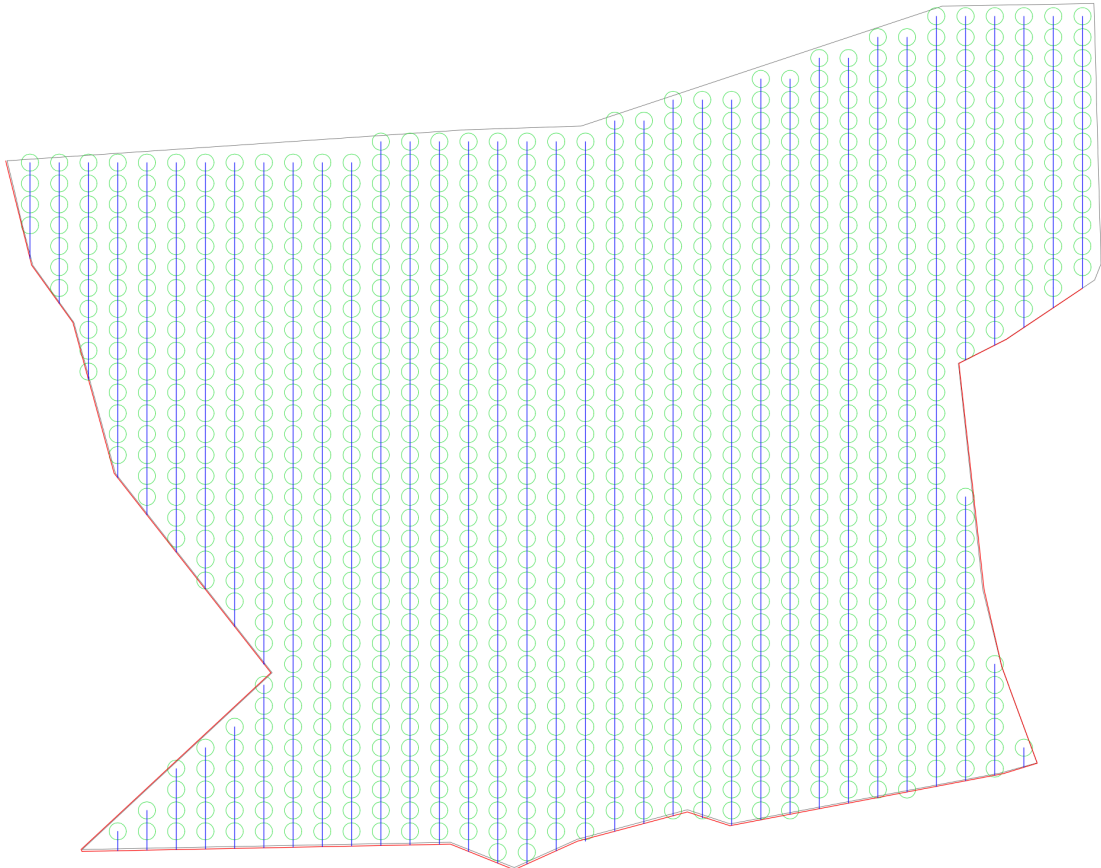
- D. Barranco; R Fernández-escobar; L. Rallo. *Título del libro: El cultivo del olivo*. 7ª Edición enero 2017.
<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767145/el-cultivo-del-olivo-7a-ed->
- <https://www.aemo.es/slides/slide/estudio-de-costes-aemo-2020-241/download>
- <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-frutales-y-fruticultura/olivo/cultivo-del-olivo/275-olivo-clima-y-suelo>
- <http://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>
- https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941agronomia_y_poda.pdf

Documento 3: Planos

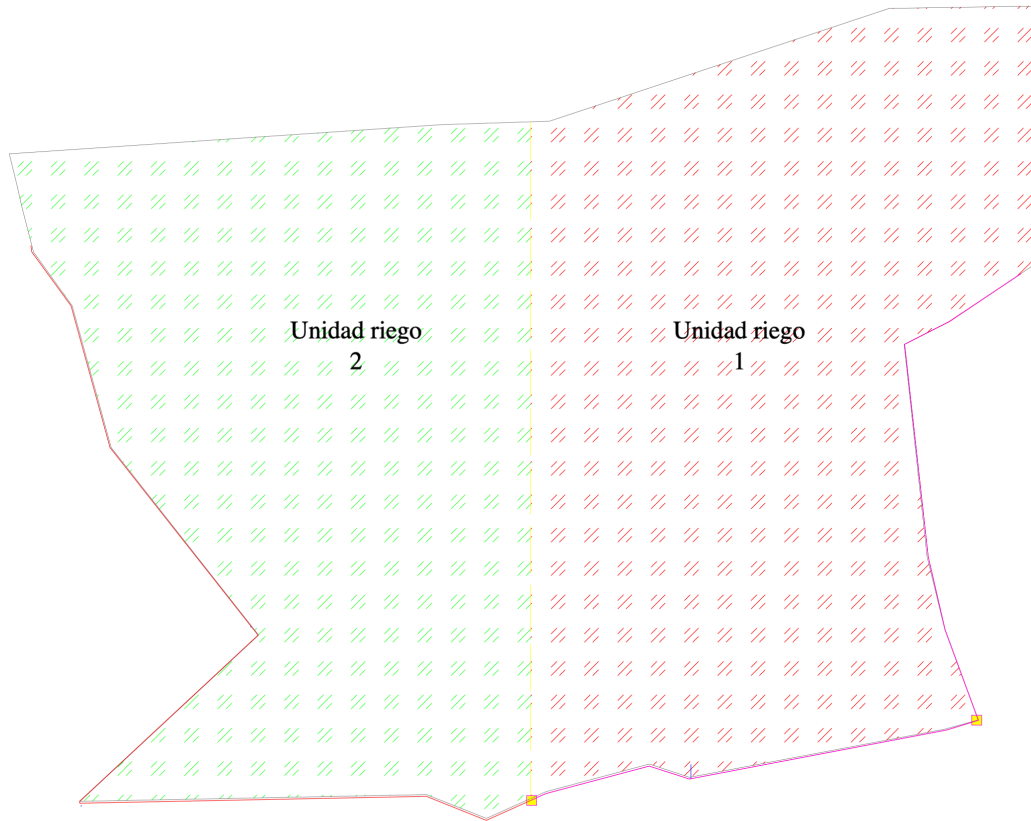
1.- Situación de la finca










2.- Plantación sistema intensivo



3.- Unidades de riego



4.- Red de riego (ramales y portaramales)

-  tubería principal (entrada de agua)
-  unidades de riego
-  ramales PE 20mm Ø
-  tubería portaramales PE unidad 63 mm Ø
-  tubería portaramales PE unidad 63 mm Ø
-  hidrantes y valvulas
-  dirección del agua

