



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Transición Energética de un Olivar en Córdoba

Autor: Pablo Blanco Barrón

Director: Dr. Antonio García y Garmendia

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Transición Energética de un Olivar en Córdoba en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2023/2024 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Pablo Blanco Barrón Fecha: 29/ 07/ 2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



29 Julio, 2024

Fdo: Antonio García y Garmendía Fecha: 29/07/2024



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Transición Energética de un Olivar en Córdoba

Autor: Pablo Blanco Barrón

Director: Antonio García y Garmendia

Madrid

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Antonio García y Garmendia, por su constante apoyo, guía y dedicación a lo largo de la realización de este Trabajo de Fin de Grado. Su conocimiento, experiencia y paciencia han sido fundamentales para el desarrollo y finalización de este proyecto.

Asimismo, quiero agradecer profundamente a mi familia por su amor y apoyo y esfuerzo durante generaciones para mantener vivo un negocio familiar. Gracias a mis padres sobre todo por su ánimo constante, comprensión y por estar siempre a mi lado. Su apoyo ha sido esencial para alcanzar este logro.

TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE UN OLIVAR EN CÓRDOBA

Autor: Blanco Barrón, Pablo.

Director: García y Garmendia, Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este Trabajo de Fin de Grado investiga la transición energética de un olivar en Córdoba, enfocándose en la implementación de energías renovables y tecnologías avanzadas de la Agricultura 4.0.

Palabras clave: Agricultura 4.0, Sensores IoT, Energía Solar, Olivar, Sostenibilidad

1. Introducción

Este proyecto tiene como objetivo investigar la transición energética en un olivar en Espejo, Córdoba, para maximizar la producción de aceite y los beneficios económicos.

Este proyecto se enfoca en utilizar recursos finitos de manera eficiente y reducir la dependencia de fuentes de energía tradicionales, empleando datos y energías renovables, especialmente la energía solar.

2. Definición del proyecto

La investigación se centra primero en un análisis de un olivar de Espejo, Córdoba, evaluando la rentabilidad de sus pasadas cosechas y sus principales gastos tanto de consumo de agua, como de personal.

Tras conocer el estado de la finca, se proponen diferentes implementaciones de tecnologías avanzadas parte de la Agricultura 4.0. Se estudiará el impacto que pueden generar dichas propuestas, tanto a nivel ambiental, como económico y se verá si tiene repercusión con el objetivo de maximizar los beneficios de la finca.

3. Descripción del sistema

Tras analizar diferentes tecnologías aplicables a nuestra finca, se estudiarán las siguientes propuestas:

- Implantación de sensores PRISMAB AT32 junto con transmisores LINK V2.3 para la recolección de datos acerca de la temperatura, humedad del suelo y conductividad eléctrica del olivar. Sistema enlazado con la app PRISMAB que permite gestionar alertas para detectar cuando los olivos necesitan agua o nutrientes.

- Instalación de un sistema de autoconsumo formado por placas fotovoltaicas, controlador de carga y batería de litio para abastecer una electrobomba.

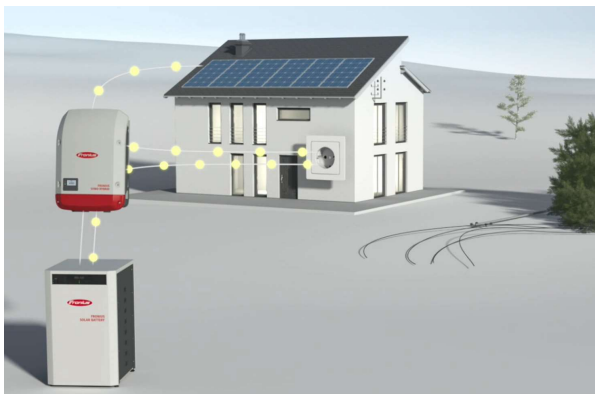


Ilustración 1: Esquema del Sistema Solar Fuente: Cambio Energético, 2024

- Instalación de dos electrobombas sumergibles en pozo a través de un conexionado de tuberías para crear una nueva forma de riego en la explotación.

4. Resultados

La implementación de las tecnologías avanzadas parte de la Agricultura 4.0 en el olivar de Espejo, Córdoba, ha demostrado ser altamente efectiva. Los sensores IoT instalados proporcionaron datos precisos sobre las condiciones del suelo y del clima, permitiendo un control más eficiente del riego. Esto resultó en una reducción del consumo de agua, al poder conocer exactamente cuánta agua necesita el olivo.

Adicionalmente, el uso de energía solar para alimentar las bombas de riego como nueva forma de abastecer el riego ha supuesto todo un éxito en términos económicos al conseguir un valor actual neto de 26585,33 euros en un plazo de 10 años vista. Además, la implementación del sistema de autoconsumo muestra una disminución total en la dependencia de la red eléctrica y una reducción en los gastos operativos del olivar.

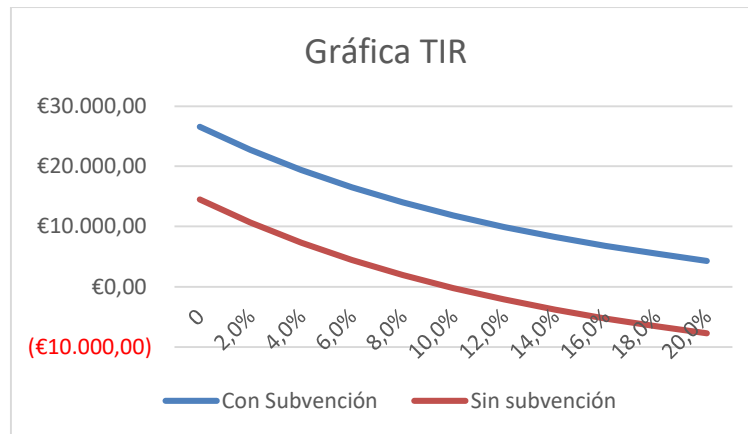


Ilustración 2: Gráfica TIR inversión con y sin subvención Fuente: Elaboración Propia, 2024

5. Conclusiones

El estudio concluye que la transición energética en el olivar de Córdoba es viable y rentable a largo plazo. La integración de tecnologías avanzadas y energías renovables no solo mejora la sostenibilidad y eficiencia de la producción agrícola, sino que también ofrece beneficios económicos significativos. Este modelo puede ser replicado en otras explotaciones agrícolas, posicionando a la Agricultura 4.0 como una solución efectiva para los desafíos actuales del sector.

Además, la implementación de estas tecnologías contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir el uso de agua y energía, y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto posiciona al olivar en la vanguardia de prácticas agrícolas sostenibles y tecnológicamente avanzadas, promoviendo un futuro más verde y eficiente para la agricultura.

6. Referencias

- (1) Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. 2019. «Sensing, Smart and Sustainable Technologies for Agri-food 4.0». *Computers in Industry*, 108, 21-36.
- (2) BrioAgro Technologies. s. f. «Olive grove irrigation».
- (3) Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2023. «Una visión global de la agricultura española a través del análisis del censo agrario 2020, Informe de análisis 2023».

ENERGY TRANSITION OF AN OLIVE GROVE IN CÓRDOBA

Author: Blanco Barrón, Pablo.

Supervisor: García de Garmendia, Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This Final Degree Project investigates the energy transition of an olive grove in Córdoba, focusing on implementing renewable energies and advanced Agriculture 4.0 technologies.

Keywords: Agriculture 4.0, IoT Sensors, Solar Energy, Olive Grove, Sustainability

1. Introduction

This project aims to investigate the energy transition in an olive grove in Espejo, Córdoba, to maximize oil production and economic benefits. This project focuses on efficiently using finite resources and reducing dependence on traditional energy sources, employing data and renewable energies, especially solar energy.

2. Project definition

The research first focuses on analyzing an olive grove in Espejo, Córdoba, evaluating the profitability of past harvests and its main expenses, including water consumption and personnel costs. After understanding the state of the farm, different implementations of advanced technologies as part of Agriculture 4.0 are proposed. The impact of these proposals, both environmentally and economically, will be studied to determine if they contribute to maximizing the farm's benefits.

3. System description

After analyzing different technologies applicable to our farm, the following proposals will be studied:

- Implementation of PRISMAB AT32 sensors along with LINK V2.3 transmitters for data collection on temperature, soil moisture, and electrical conductivity of the olive grove. The system is linked to the PRISMAB app, which manages alerts to detect when the olive trees need water or nutrients.
- Installation of a self-consumption system composed of photovoltaic panels, a charge controller, and a lithium battery to power an electric pump.

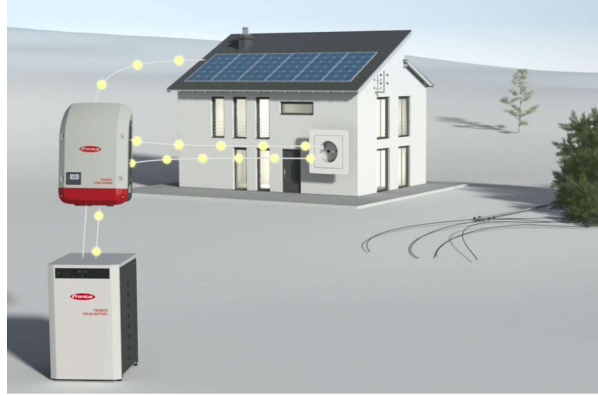


Ilustración 3: Solar System Diagram Source: Cambio Energético, 2024

- Install two submersible electric pumps in a well through pipe connections to create a new irrigation method for olive exploitation.

4. Results

Implementing advanced Agriculture 4.0 technologies in the olive grove of Espejo, Córdoba, has proven to be highly effective. The installed IoT sensors provided accurate data on soil and climate conditions, allowing for more efficient irrigation control. This resulted in reduced water consumption by knowing exactly how much water the olive tree needs.

Additionally, using solar energy to power the irrigation pumps as a new way to supply irrigation has been a complete success economically, achieving a net present value of 26,585.33 euros over ten years. Furthermore, the implementation of the self-consumption system shows a total decrease in dependence on the electrical grid and a reduction in the olive grove's operating expenses.

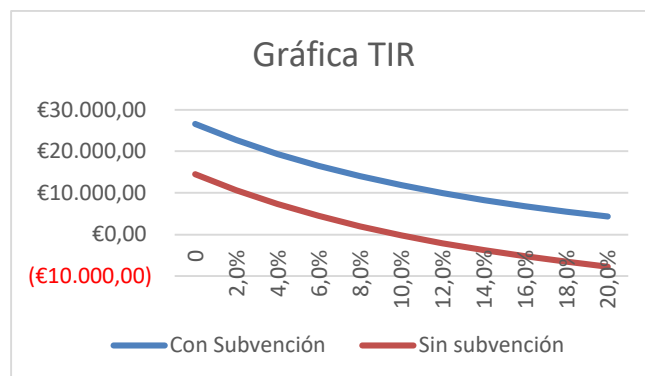


Ilustración 4: IRR Investment Chart with and without Subsidy Source: Own Elaboration, 2024

5. Conclusions

The study concludes that the energy transition in the olive grove of Córdoba is viable and profitable in the long term. The integration of advanced technologies and renewable energies not only improves the sustainability and efficiency of agricultural production but also offers significant economic benefits. This model can be replicated in other agricultural operations, positioning Agriculture 4.0 as an effective solution to the current challenges in the sector.

Moreover, the implementation of these technologies contributes to environmental sustainability by reducing water and energy use and decreasing greenhouse gas emissions. This positions the olive grove at the forefront of sustainable and technologically advanced agricultural practices, promoting a greener and more efficient future for agriculture.

6. References

- (1) Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. 2019. «Sensing, Smart and Sustainable Technologies for Agri-food 4.0». *Computers in Industry*, 108, 21-36.
- (2) BrioAgro Technologies. s. f. «Olive grove irrigation».
- (3) Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2023. «Una visión global de la agricultura española a través del análisis del censo agrario 2020, Informe de análisis 2023».

Índice de la memoria

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	5
Capítulo 2. Estado de la Cuestión.....	6
2.1 Contexto social y económico	7
2.1.1 Situación actual del sector agrícola en España y Europa	7
2.1.2 Impacto de la inflación y los conflictos geopolíticos en la agricultura.....	10
2.1.3 Aumento del precio del aceite de oliva.....	12
2.1.4 Desafíos para los agricultores y estrategias de reducción de costes.....	14
2.2 Agricultura 4.0: Definición y Beneficios	18
2.2.1 Concepto de Agricultura 4.0	18
2.2.2 Tecnologías involucradas en la Agricultura 4.0	19
2.2.3 Impacto ambiental y optimización de recursos	25
2.3 Energías Renovables en la Agricultura 4.0	29
2.3.1 Integración de energías renovables en el sector agrícola.....	29
2.3.2 Uso de placas solares en olivares	34
Capítulo 3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL OLIVAR.....	44
3.1 Ubicación	44
3.2 Datos históricos	48
3.3 Regadío del olivar y Consumo Energético.....	49
3.4 gasto del personal, mantenimiento y Maquinaria.....	51
Capítulo 4. Implementación de Sensores y Plantación Fotovoltaica.....	55
4.1 Implementación de sensores.....	55
4.2 Plantación Fotovoltaica junto con Bomba de Agua	65
Capítulo 5. Análisis Económico.....	81
Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	94
Capítulo 7. Bibliografía.....	97

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Esquema del Sistema Solar Fuente: Cambio Energético, 2024	8
Ilustración 2: Gráfica TIR inversión con y sin subvención Fuente: Elaboración Propia, 2024	9
Ilustración 3: Solar System Diagram Source: Cambio Energético, 2024.....	11
Ilustración 4: IRR Investment Chart with and without Subsidy Source: Own Elaboration, 2024	11
Ilustración 5: Número de explotaciones agrarias en España Fuente: INE, 2022	7
Ilustración 6: Observatorio de precios del aceite de oliva Fuente: Infaoliva, 2024	13
Ilustración 7: Adiciones de capacidad de electricidad renovable por tecnología y segmento. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA), 2023	32
Ilustración 8: Ubicación del municipio Espejo dentro de Córdoba Fuente: Catastro, 2024	45
Ilustración 9: Superficie total del Olivar Fuente: Catastro, 2024	46
Ilustración 10: Terreno del Olivar Fuente: Elaboración Propia, 2024	47
Ilustración 11: Tractor utilizado en la finca Era Chinchilla Fuente: Elaboración Propia, 2024	52
Ilustración 12: Colocación del transmisor en la explotación Fuente: FuenteJardín, 2024 ..	61
Ilustración 13: Colocación del sensor en la explotación Fuente: FuenteJardín, 2024.....	61
Ilustración 14: Sensor PRISMAB AT32 y transmisor LINK V2.3 Fuente: FuenteJardín, 2024	65
Ilustración 15: Bomba Grundfos SQFlex 40 SQF-4 Fuente: Solar Electric, 2024	73
Ilustración 16: Comprobación funcionamiento a través de EPANET Fuente: Elaboración Propia, 2024.....	73
Ilustración 17: Placa Fotovoltaica LG NeON 2 325W Fuente: Solar Electric, 2024.....	75
Ilustración 18: Batería BYD B-BOX HV 6.4 Fuente: Tienda Solar, 2024	78
Ilustración 19: Esquema del Sistema Solar Fuente: Cambio Energético, 2024	79
Ilustración 20: Cálculo del TIR y el VAN Fuente: Elaboración Propia, 2024.....	91
Ilustración 21: Gráfica TIR inversión con y sin subvención Fuente: Elaboración Propia, 2024	91

Índice de tablas

Tabla 1: Comparación de parámetros entre el uso de métodos de la agricultura tradicional y la Agricultura 4.0. Fuente: Elaboración Propia, 2024	27
Tabla 2: Media de factores climatológicos por mes desde 1991 hasta 2021 Fuente: Climate Data, 2021.....	48
Tabla 3: Diferentes tipos de Sensores de Humedad del suelo Fuente: Elaboración Propia, 2024	60
Tabla 4: Diferentes Transmisores válidos para el sensor PRISMAB AT32 Fuente: Elaboración Propia, 2024	64
Tabla 5: Diferentes tipos de tubería. Fuente: Elaboración Propia, 2024.....	69
Tabla 6: Tipos de Bombas Eléctricas Sumergibles Fuente: Elaboración Propia, 2024	72
Tabla 7: Cálculo consumo de la bomba al día Fuente: Elaboración Propia, 2024.....	74
Tabla 8: Tipos de Placas Solares Fuente: Elaboración Propia, 2024	75
Tabla 9: Tipos de Baterías de Litio Fuente: Elaboración Propia, 2024.....	77
Tabla 10: Coste de las Implantaciones del Capítulo 4 Fuente: Elaboración Propia, 2024..	83
Tabla 11: Cálculo del Coste de implementación del Sistema Sensor y Transmisor Fuente: Elaboración Propia, 2024	84
Tabla 12: Cálculo del Coste de implementación del Sistema de Impulsión en Polietileno Fuente: Elaboración Propia, 2024	85
Tabla 13: Cálculo del Coste de implementación del Grupo de Bombeo Fuente: Elaboración Propia, 2024.....	86
Tabla 14: Cálculo del Coste de implementación del Sistema Solar Fuente: Elaboración Propia, 2024.....	87
Tabla 15: Presupuesto de los sistemas a implementar en Era Chinchilla Fuente: Elaboración Propia, 2024.....	88

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Cálculo del Caudal en litros por segundo de la bomba eléctrica. Fuente: Elaboración Propia, 2024	67
Ecuación 2: Fórmula de Hazen-Williams. Fuente: Yepes, V. 2022	67
Ecuación 3: Fórmula para el cálculo de la potencia de una bomba Fuente: Gargil, 2021 ..	70

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo de Fin de Grado consiste en la investigación de la transición tecnológica de un olivar cordobés, con la meta de maximizar tanto la producción del aceite como el beneficio generado con cada cosecha. Este proyecto busca hacer un mejor uso de los recursos disponibles ya que estos son finitos y reducir la dependencia de las fuentes de energía tradicionales, principalmente, a través del uso de los datos y de energías renovables, como la energía solar.

En este proyecto también se realizará un caso práctico acerca de un olivar en la provincia de Espejo, Córdoba, donde se denotará posteriormente la rentabilidad de la implementación del uso de datos y de placas fotovoltaicas.

En definitiva, el objetivo de este proyecto es modernizar y optimizar la generación rural en las zonas rurales y adaptarla a los retos agrarios actuales y futuros.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En este capítulo denominado como Estado de la Cuestión se explorarán trabajos y soluciones ya existentes sobre la implantación de tecnologías digitales en los sistemas agrícolas y la integración de energías renovables en el ámbito de la Agricultura 4.0.

El análisis de estos trabajos y revisión de sus soluciones permitirá identificar si existen procedimientos similares en el mercado y si la evaluación en investigaciones previas puede ser relevantes para nuestro proyecto. Este análisis reforzará la comprensión acerca del panorama actual y de las innovaciones ya implementadas y, adicionalmente, pondrá en evidencia las brechas que aún siguen existiendo en el conocimiento y la práctica de la Agricultura 4.0.

La Agricultura 4.0, como se explicará a lo largo del capítulo, combina tecnologías avanzadas para optimizar la producción y reducir el uso de recursos y su aplicación, junto con energías renovables, lo que ha demostrado ser una solución eficaz para reducir los costes productivos.

La presente investigación intenta afrontar fundamentalmente el papel de las energías renovables en el modelo agrícola actual de las explotaciones agrarias centradas en el cultivo del olivo, al tratarse de una realidad que representa un motor económico en determinadas zonas geográficas de nuestro país y ser reflejo de una fuerte hegemonía familiar. No obstante, esta realidad se ve amenazada por los costes iniciales de la implementación en las producciones agrícolas de tecnologías avanzadas y la necesidad de una infraestructura adecuada para su adaptación. Por todo ello, resulta necesario orientar el enfoque de dicha problemática hacia un cambio de visión encaminada a aumentar la sostenibilidad del mundo agrícola.

En consecuencia, partiendo de la revisión de los trabajos estudiados y de las soluciones propuestas, el interés de este trabajo se basa, no sólo en sentar los objetivos y sus posibles aportaciones en aras de la sostenibilidad del sector agrario, sino también, en contribuir a

analizar su viabilidad en la resolución de los desafíos propuestos, mediante las contrastaciones empíricas contenidas en el mismo, a fin de que puedan tener una aplicación práctica en el ámbito agrícola.

2.1 CONTEXTO SOCIAL Y ECONÓMICO

2.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR AGRÍCOLA EN ESPAÑA Y EUROPA

El sector agrícola en España y Europa se encuentra en un momento de transición debido a una reciente crisis marcada por una disminución en el número de explotaciones, motivada por el aumento en la superficie de tierras alquiladas y el envejecimiento significativo de los agricultores sin que se produzca un relevo generacional.

Este envejecimiento es una de las cuestiones más relevantes a tratar, teniendo en cuenta que un 41% de los jefes de las explotaciones agrícolas son mayores de 65 años y solo un 8% son menores de 40 años; lo que evidencia la necesidad de una sucesión generacional en España en el ámbito agrario, ante el patente riesgo que supone su ausencia para la sostenibilidad futura del sector agrícola¹.

En línea con lo expuesto, los datos estadísticos constatan la disminución en el número de explotaciones, como se refleja en la ilustración inferior, obtenida a través del censo agrario

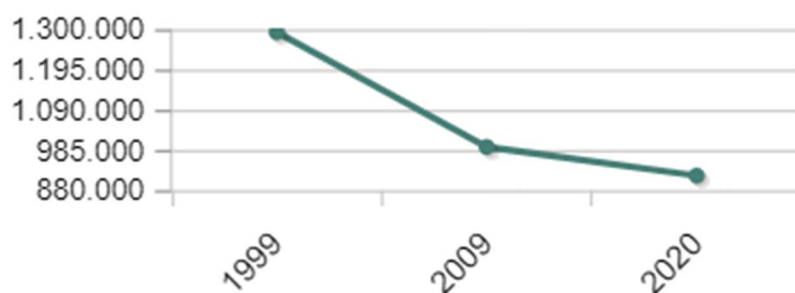


Ilustración 5: Número de explotaciones agrarias en España Fuente: INE, 2022

¹ Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023)

de 2020 publicado por el Instituto Nacional de Estadística².

Ciertamente, las cifras evidencian que la disminución en las últimas décadas del número de explotaciones es significativa, destacando un descenso del 7.6% en esta última década, alcanzando las 914.871 explotaciones en 2020. Esta minoración se debe principalmente a la disminución de explotaciones de menor tamaño, debido a que la superficie agrícola utilizada ha aumentado un 0.7% desde el año 2009.

Los valores analizados son un fiel reflejo, de la tendencia hacia la consolidación de las explotaciones agrícolas de mayor tamaño.

En consecuencia, resulta incuestionable que el fortalecimiento de las explotaciones agrícolas de mayor tamaño coincide con el aumento de superficies alquiladas y se debe a que los pequeños agricultores han dejado de cultivar sus tierras, en muchos casos, al alcanzar cierta edad y no producirse un traspaso generacional. Ahondando en esta cuestión, según el Instituto Nacional de Estadística³, las tierras arrendadas han aumentado de un 32% a un 37% en la última década, lo que junto con el dato del aumento de la superficie agrícola utilizada y el de la disminución de las producciones agrícolas, concluye que existe una tendencia hacia la consolidación y expansión de grandes explotaciones, por el arrendamiento de las tierras a los pequeños agricultores que no pueden sostener sus propias explotaciones.

Dicha realidad no sólo es extrapolable a los países europeos, sino que alcanza mundialmente al resto de los países desarrollados. Ciertamente, el panorama en el contexto europeo es muy similar al español marcado por la crisis del sector motivada por el envejecimiento del sector, con la consiguiente reducción de las explotaciones agrícolas y el arrendamiento de estas.

² Instituto Nacional de Estadística (2020)

³ Instituto Nacional de Estadística (2022)

Como ya hemos venido comentando supra, la sucesión en la pequeña explotación agrícola es una de las cuestiones que más inciden en su supervivencia, siendo habitual que su continuidad se vea afectada gravemente por el traspaso generacional.

En este escenario, tiene un papel fundamental la PAC, más conocida como Política Agrícola Común⁴, que es una política común de todos los países de la Unión Europea, cuyo objetivo es apoyar a los agricultores y busca la mejora de la productividad agrícola⁵. Esta política fue creada en 1962 y se gestiona y financia a escala europea a través del Fondo Europeo Agrícola de Garantía, que ofrece ayudas directas y financia medidas de mercado, así como, por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural, que financia el desarrollo rural.

La PAC en su nueva actualización, la PAC 2023-2027, ha recibido un cambio de enfoque buscando definir los requisitos para recibir las ayudas, pensando en cómo pueden impactar de manera más eficaz en el cumplimiento de los objetivos. De esta forma, los objetivos de la nueva PAC se centran principalmente en la sostenibilidad, la protección del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático.

Sin embargo, muchos agricultores critican esta política, ya que, consideran que está principalmente enfocada hacia las grandes explotaciones, olvidándose de los pequeños agricultores.

A mayor abundamiento, reafirman que la PAC no ha sido efectiva en protegerlos de la competencia desleal de productos importados de fuera de la Unión Europea que, adicionalmente, no cumplen con los mismos estándares de calidad y sostenibilidad, lo que les permite tener un coste menor.⁶

⁴ Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024)

⁵ La Moncloa (2024)

⁶ Llamas, M. (2024)

2.1.2 IMPACTO DE LA INFLACIÓN Y LOS CONFLICTOS GEOPOLÍTICOS EN LA AGRICULTURA

Como bien es sabido, la inflación en estos últimos años ha afectado en España a muy diversos ámbitos de la actividad económica, entre los que se incluye el sector agrícola. Ciertamente, se trata de un problema recurrente que afecta a la estructura económica del país.

En concreto, la incidencia de la inflación en el sector agrícola ha tenido repercusión en el aumento de los precios de la energía, de los fertilizantes y de los costes de producción. Para valorar el impacto de la inflación en la producción agrícola nos basaremos en el informe de la Comisión Europea⁷.

En este informe se expone un análisis exhaustivo de las tendencias y perspectivas del sector agrícola europeo hasta 2033. Se abordan aspectos como la producción agrícola, los mercados de productos básicos, el comercio y el impacto de factores externos, como la inflación y las políticas ambientales, en la sostenibilidad y rentabilidad de la agricultura en la Unión Europea. Además, se analizan las medidas necesarias para mitigar los efectos adversos y promover prácticas agrícolas más resilientes y sostenibles.

Acerca de la inflación detalla cómo el incremento de los precios de la energía ha elevado significativamente los costes operativos de las explotaciones agrícolas. Además, resalta como el encarecimiento de los fertilizantes ha dificultado la capacidad de los agricultores para mantener la productividad y la calidad de los cultivos. El aumento generalizado de los costes de producción ha obligado a los agricultores a adoptar prácticas más eficientes y reducir la cantidad de recursos utilizados. El informe también propone medidas de

⁷ European Commission (2023)

mitigación, como el apoyo financiero, inversiones en energías renovables y la promoción de tecnologías agrícolas avanzadas para reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia.

Sumado a esto, otra consecuencia ligada con lo mencionado anteriormente, es que España, en comparativa con otros países de la zona euro, ha experimentado una inflación de un 45% superior a la media de la zona euro. Esta situación en el ámbito agrario ha generado unos valores de producción más altos que en otros países europeos que son competencia directa.

Con los datos examinados, podemos concluir que en España este aumento en el precio de la energía repercute en el sector agrícola directamente, concretamente, en el coste del funcionamiento de la maquinaria y en el de la implantación del sistema de riego. En la misma línea, la subida en los precios de los fertilizantes tiene directa incidencia en la calidad y la cantidad de la producción agrícola.

En consecuencia, resulta incuestionable que en nuestra geografía el sector agrícola a pesar de ser uno de los pilares de la actividad económica con incidencia directa en el empleo, se ve directamente afectado por un incremento de costes ocasionado por la inflación. Ciertamente, la situación expuesta es causa directa de que muchos agricultores se vean obligados a reducir sus producciones, e incluso, a abandonar la actividad agrícola o a arrendar sus terrenos agrícolas a grandes producciones.

Por lo expuesto, la inflación marca un desafío para los agricultores españoles debido a que afecta tanto a los costes de la obtención recursos, como a las decisiones de producción. Por todo ello, resulta crucial implementar medidas efectivas tanto para conseguir reducir la inflación, como para poder así tener más oportunidades a la hora de competir con el resto de los países europeos.

Adicionalmente, cabe reseñar en nuestra investigación que la inflación es un factor muy interrelacionado con los conflictos geopolíticos. En este punto, resulta destacable que el auge de la inflación de los últimos años ha sido notorio, principalmente debido a la guerra de Ucrania y Rusia.

Ciertamente, el impacto de la guerra entre Rusia y Ucrania⁸ con la interrupción de las cadenas de suministro globales ha incidido directamente en el incremento de los costes de transporte y la falta de disponibilidad de determinados productos, como pueden ser los fertilizantes o cereales.

El conflicto en Ucrania⁹ no solo ha tenido un impacto significativo en las cadenas de suministro globales, sino que, ha evidenciado la fuerte dependencia de Europa y España del gas ruso; lo que ha agravado significativamente la situación, ya que, las interrupciones en el suministro de gas han elevado considerablemente los costes energéticos.

En el escenario expuesto, con incidencia directa en el sector agrícola, resulta evidente que se ha de adoptar medidas y se subraya la necesidad de implementar estrategias políticas y económicas que puedan mitigar estos impactos y, de esta forma, fortalecer la resiliencia del sector agrícola español frente a futuras crisis geopolíticas.

2.1.3 AUMENTO DEL PRECIO DEL ACEITE DE OLIVA

Como se ha puesto de manifiesto *supra*, la inflación que ha experimentado España con una media superior a la zona euro, ha tenido una fuerte repercusión en los costes de producción agrícola respecto a otros países de nuestro entorno que son nuestra competencia directa en el sector agrario. Sumado a esto, la subida de los precios de los fertilizantes sintéticos, en cuya fabricación se utiliza gas natural y, en general, el incremento de precios de la energía ha acabado repercutiendo en el coste del producto final de determinados productos agrícolas, con incidencia especial en el aceite de oliva.

La situación expuesta encadenada a varias cosechas con escasez de agua ha generado un incremento significativo en el precio del aceite de oliva.

⁸ International Monetary Fund (2024)

⁹ Torres, R. & Fernández, M. (2022)

La escalada en el precio del aceite de oliva queda reflejada en la gráfica expuesta a continuación, extraída de la entidad InfaOliva.

InfaOliva es una entidad que se dedica a monitorear y analizar los precios del aceite de oliva en el mercado. Esta organización recopila datos a lo largo del año para proporcionar una visión detallada y actualizada de las tendencias de precios, ayudando a productores, distribuidores y otros actores del mercado a tomar decisiones informadas. El informe del Observatorio de Precios del Aceite de Oliva se elabora anualmente, pero incluye actualizaciones periódicas a lo largo del año para reflejar las fluctuaciones del mercado. La información se basa en una combinación de datos de mercado, análisis de oferta y demanda, y otros factores económicos que afectan el precio del aceite de oliva.

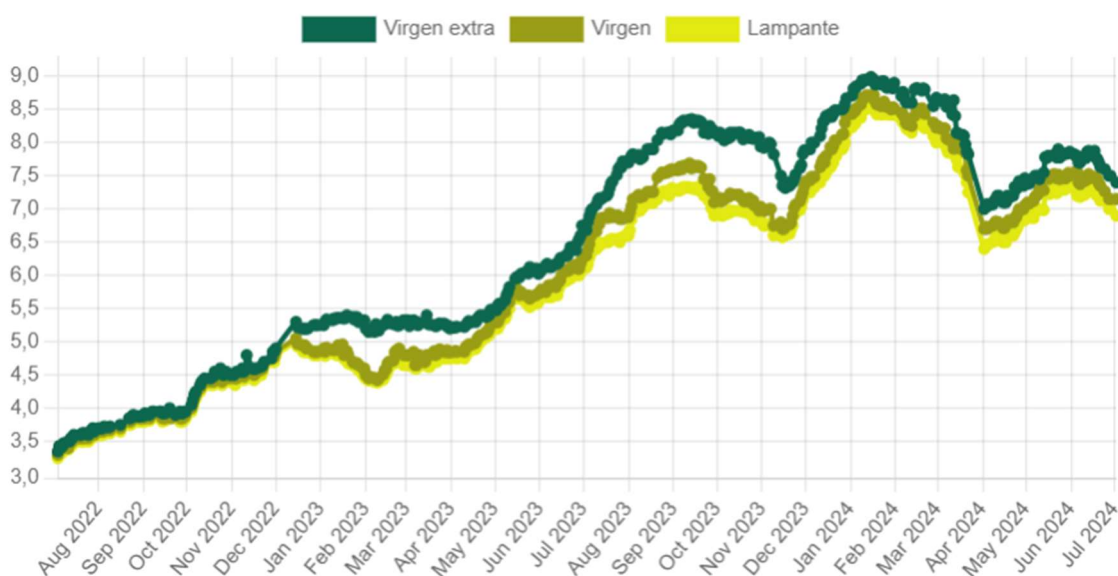


Ilustración 6: Observatorio de precios del aceite de oliva Fuente: Infaoliva, 2024

Como se puede evidenciar en la ilustración, el 4 de Julio de 2022 los tres tipos de aceite de oliva rozaban precios cercanos a los 3,3 € el kilogramo. Dos años más tarde, el aceite de oliva virgen extra se encuentra en los 7,4 € el kilogramo, el aceite de oliva virgen en los 7,15 € el kilogramo y el aceite de oliva lampante en los 6,9 € el kilogramo.

Como ya hemos venido comentando *ut supra*, esta subida notoria del precio del aceite de oliva se debe a diversos factores entre los que destacan el incremento de coste de los fertilizantes, debido a la interrupción en la cadena de suministros globales y al incremento en los costes de energía, derivada de la retención del gas por parte de Rusia, en el conflicto geopolítico entre Ucrania y Rusia.

Más allá del ámbito agrícola, trasladada esta cuestión al panorama socioeconómico, el incremento del precio del aceite de oliva tiene especial incidencia en la economía doméstica, al afectar gravemente a un recurso de necesidad básica que se ha encarecido considerablemente. Esta realidad subraya la urgencia de implementar medidas que, no solo ayuden a los productores a enfrentar estos desafíos, sino que, también protejan a los consumidores de las fluctuaciones extremas en los precios de productos esenciales.

2.1.4 DESAFÍOS PARA LOS AGRICULTORES Y ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN DE COSTES

Como se ha mencionado previamente, los agricultores españoles se enfrentan una serie de desafíos significativos en la actualidad. Los atributos del sector agrícola y, concretamente, el segmento olivarero, se asocia a los intereses de los productores que concurren con el desafío de gestionar los recursos y así alcanzar un efecto positivo, para de esta forma minimizar sus riesgos.

El panorama expuesto, refleja la necesidad de abandonar una visión estática de la producción agrícola y dar un paso hacia adelante en la búsqueda de una nueva dimensión dinámica. En este punto, adquiere especial relevancia la corriente de implantación de nuevas formas de producción agrícola, que está en estrecha consonancia con los avances tecnológicos generados por una nueva realidad social y productiva y, todo ello, en respuesta con una dinámica de rápida adaptación al mercado.

Ciertamente, son muy diversos los retos a afrontar en el ámbito agrícola, si bien, centrándonos en la necesidad de dar respuesta el sector olivarero de forma efectiva al escenario de escalada de precios, estos desafíos se centran en el aumento de los costes de

producción, la reducción de la rentabilidad obtenida y la bajada en la sostenibilidad de las explotaciones agrícolas.

En este escenario, uno de los principales desafíos a tratar es el incremento de los costes de producción. En este punto, resulta significativo que los precios de la energía y de productos agrícolas, como los fertilizantes, han aumentado considerablemente. Como se ha manifestado anteriormente, este incremento de costes se debe en parte a la inflación y a la interrupción de las cadenas de suministro globales, especialmente debido a conflictos geopolíticos.

A mayor abundamiento, la subida en el precio de la energía encarece el funcionamiento de la maquinaria agrícola y el riego, y adicionalmente, el incremento del coste de los fertilizantes reduce la rentabilidad de los cultivos.

Unido a lo anterior, las condiciones climáticas adversas inciden directamente en la producción agrícola, lo que, representan un desafío importante.

Resulta incuestionable que la agricultura es el primer sector afectado cuando se producen sequías y también el más perjudicado por las condiciones climatológicas, debido a la dependencia directa del agua en la producción de cultivos, absorbiendo el 80% de su impacto¹⁰.

Ciertamente, en época de sequía, la falta de agua reduce significativamente la capacidad de las plantas para crecer y de producir alimentos, lo que incide directamente en una menor disponibilidad de productos agrícolas en el mercado. Añadido a lo anterior, una menor disponibilidad de productos agrícolas produce una consiguiente elevación de los precios comerciales.

En efecto, una consecuencia inherente a las sequías prolongadas y a las olas de calor que azotan especialmente las zonas geográficas de producción olivera en nuestro país es la

¹⁰ Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023)

reducción de la producción agrícola, afectando la escasez de agua y las elevadas temperaturas tanto a la calidad del cultivo, como a la cantidad de producción.

Sentado lo anterior, otro desafío relevante a analizar es la competencia desleal de productos agrícolas importados de otros países en los que no se cumplen con los mismos estándares de calidad y sostenibilidad. Estos productos suelen tener costos de producción más bajos, y ello consiguientemente permite ofrecer precios más competitivos.

En este sentido, la falta de regulación uniforme a nivel internacional supone una importante desventaja a los productores locales, y sobre todo a los españoles que, como se ha mencionado previamente, deben cumplir con normativas más estrictas y sufren una inflación mayor que la media de la zona euro. Todos estos factores profundizan en la desventaja que sufren los agricultores españoles, al incurrir en mayores costes, incluso respecto a los productores de países vecinos.

Para mitigar estos desafíos, los agricultores pueden adoptar varias estrategias de reducción de costes.

En esta línea, una primera opción es la adopción de tecnologías avanzadas de Agricultura 4.0, como pueden ser los sensores IoT o los sistemas de gestión de big data¹¹. Dichas tecnologías pueden ayudar a optimizar el uso de recursos, reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia de las explotaciones agrícolas. En este sentido, su uso permite una monitorización precisa y en tiempo real de las condiciones del cultivo, facilitando la toma de decisiones.

En segundo lugar, otra estrategia efectiva es la integración de energías renovables, como son los paneles solares, que pueden ayudar a reducir los costes energéticos a largo plazo. Estas fuentes de energía no solo son más sostenibles, sino que, también pueden proporcionar una

¹¹ European Commission (2023)

solución más económica frente a los altos costes de la energía tradicional. En este punto, se ha de considerar que, si bien, la inversión inicial en estas tecnologías puede ser alta, los beneficios a largo plazo en términos de ahorro y sostenibilidad son ciertamente significativos.

Nos hemos venido refiriendo a la problemática del elevado precio del aceite de oliva. En respuesta a esta problemática, que excede del ámbito agrícola y que incide en el ámbito económico al tratarse de un producto de primera necesidad, los poderes públicos han tomado conciencia de la necesidad de su regulación legal, a fin de fomentar políticas fiscales favorables.

En esta línea, el gobierno español ha adoptado recientemente medidas legislativas para aliviar el impacto del aumento de precios del aceite de oliva en los consumidores. Una de las iniciativas más recientes es la supresión del Impuesto del Valor Añadido, en adelante IVA, para el aceite de oliva, que entró en vigor a principios de julio de 2024. Esta medida, según la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU)¹², podría reducir el precio del litro de aceite de oliva entre 35 y 75 céntimos.

En este sentido, la eliminación del IVA busca hacer más accesible este producto de consumo esencial para las familias y aliviar parte de la presión económica que enfrentan debido a la inflación.

Adicionalmente, debemos reseñar en el marco de nuestra investigación, el reto consistente en la optimización del riego mediante el uso de sistemas eficientes. En línea con lo expuesto, el riego por goteo y sistemas automatizados puede ayudar a reducir el consumo de agua y los costes asociados.¹³ Así, el uso de dichos sistemas en el ámbito agrario permite una aplicación precisa del agua, evitando el desperdicio y mejorando la eficiencia del uso del

¹² Organización de Consumidores y Usuarios (2024)

¹³ European Commission (2023)

recurso. En suma, la gestión eficiente del agua es crucial en un contexto de cambio climático y escasez de recursos hídricos.

En conclusión, aunque los agricultores españoles se enfrentan numerosos desafíos, existen estrategias efectivas que pueden adoptar para reducir costes y mejorar su resiliencia frente a las condiciones económicas y climáticas adversas. La implementación de tecnologías avanzadas y el uso de energías renovables son algunas de las soluciones clave para enfrentar estos retos, por lo que, serán estudiadas con detalle en los siguientes capítulos.

2.2 AGRICULTURA 4.0: DEFINICIÓN Y BENEFICIOS

2.2.1 CONCEPTO DE AGRICULTURA 4.0

Ciertamente, la agricultura 4.0 representa un gran avance en la digitalización de los procesos agrícolas, al comprender diferentes tecnologías que no solo optimizan la producción, sino que, adicionalmente son sensibles con el medio ambiente.

En este sentido, dentro de las tecnologías de la agricultura 4.0 se incluyen el uso del Big Data y la ciencia de datos, que, entre otras tecnologías, consiguen reducir el consumo de recursos mediante el uso de sensores inteligentes y un software de toma de decisiones entre muchas otras alternativas. Estos sensores inteligentes recopilan y envían datos a un sistema central de almacenamiento y análisis que determina los momentos óptimos para el riego, la aplicación de fertilizantes y otros mantenimientos del cultivo¹⁴.

Acorde con lo expuesto en el Foro Económico Mundial¹⁵, la Agricultura 4.0 ocupa el primer puesto en la clasificación de tecnologías estratégicas para la economía en los próximos diez

¹⁴ (BASF 2022)

¹⁵ World Economic Forum (2023)

años. El dato expuesto resalta la relevancia y el potencial impacto de la Agricultura 4.0, no solo en la producción de alimentos, sino también, en la economía global.

Este nuevo modelo de agricultura digital¹⁶ se basa en usar de manera inteligente los datos de toda la cadena de suministro. Todo ello, impulsa la agricultura de precisión y la convierte en una agricultura más inteligente y eficiente.

En consecuencia, la potenciación de este nuevo modelo de producción agrícola no solo puede suponer una mejora en la rentabilidad de la agricultura, sino que en suma supone una adaptación al cambio climático, al incidir su implementación en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y usar de manera más eficiente el agua y los productos químicos como fertilizantes y pesticidas. La suma de todos los factores indicados sin duda ayuda a reducir el desperdicio y a proteger el medio ambiente.

2.2.2 TECNOLOGÍAS INVOLUCRADAS EN LA AGRICULTURA 4.0

2.2.2.1 Big Data y ciencia de datos

La Agricultura 4.0 como se ha mencionado previamente se apoya en el uso de tecnologías avanzadas para transformar la manera en que se gestionan y optimizan las explotaciones agrícolas. Entre estas tecnologías, el Big Data y la ciencia de datos juegan un papel fundamental.

El Big Data¹⁷ se refiere al procesamiento de grandes volúmenes de datos, estructurados y no estructurados, que son generados a gran velocidad y en una amplia variedad de formatos. En el contexto de la agricultura, estos datos pueden provenir de múltiples fuentes, como

¹⁶ Telefónica (2024)

¹⁷ SAS (2024)

sensores en los campos, satélites, maquinaria agrícola y sistemas de gestión. La capacidad de recopilar y analizar estos datos permite a los agricultores obtener una visión detallada y precisa de sus operaciones, lo cual es crucial para tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia.

Una de las ventajas que ofrece el Big Data en la agricultura¹⁸ es el monitoreo en tiempo real. Los sensores instalados en los campos recopilan datos sobre la humedad del suelo, la temperatura, los niveles de nutrientes y la presencia de plagas. Estos datos se transmiten en tiempo real a sistemas centrales que los analizan y trasladan una información muy útil para los agricultores. En consecuencia, disponer de esta modalidad de monitoreo permite a los agricultores una gestión más precisa y proactiva de los cultivos.

Adicionalmente, otra de las bondades que ofrece el Big Data en la agricultura es la optimización de recursos¹⁹. En este punto, a través del análisis de Big Data, los agricultores pueden determinar los momentos óptimos para el riego, la fertilización y la cosecha, mejorando la productividad y reduciendo el desperdicio de recursos como el agua y los fertilizantes. Todo ello, se traduce en una mayor eficiencia y sostenibilidad en las prácticas agrícolas.

Por último, el Big Data ofrece la posibilidad de analizar patrones históricos y actuales para predecir los rendimientos de los cultivos a través de los datos que recopila, ayudando a los agricultores a planificar mejor sus actividades y a gestionar los riesgos asociados con la variabilidad climática y otros factores.

En otro orden de cosas, la ciencia de datos²⁰ implica el uso de métodos, procesos, algoritmos y sistemas científicos para extraer conocimiento e insights de los datos recogidos a través de los sistemas de Big Data. En la agricultura, la ciencia de datos se utiliza para analizar los

¹⁸ Talend (2023)

¹⁹ Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, J. C (2021)

²⁰ IBM (2024)

datos recopilados por los sistemas de Big Data y convertirlos en información de valor para la gestión de la explotación agrícola.

Por todo ello, a través de la ciencia de datos se pueden desarrollar modelos predictivos que pueden anticipar problemas como la aparición de plagas o enfermedades en los cultivos. Estos modelos permiten a los agricultores adoptar medidas preventivas antes de que los problemas se agraven, mejorando con ello la salud y el rendimiento de los cultivos.

Ahondando más en esta cuestión, en el artículo de ‘Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture.’²¹, se menciona una aplicación real en España donde se utiliza IoT y Big Data para optimizar prácticas de riego. Los sensores instalados en los campos recopilan datos en tiempo real sobre la humedad del suelo y las condiciones climáticas. Estos datos son analizados mediante algoritmos de ciencia de datos para determinar los momentos óptimos para el riego, lo que ha resultado en una reducción significativa del consumo de agua y un aumento en la eficiencia de la producción agrícola. Este proyecto ha demostrado ser exitoso en mejorar la sostenibilidad y la productividad en las explotaciones agrícolas.

En esta línea, otro proyecto de mucho interés es el proyecto de BrioAgro²². BrioAgro se destaca como un modelo innovador en la implementación de tecnologías avanzadas para la agricultura, específicamente en la irrigación de olivares. BrioAgro ha desarrollado un sistema de riego inteligente que utiliza una combinación de sensores para monitorear en tiempo real las condiciones del suelo y el clima. Estos sensores incluyen dispositivos que miden la humedad del suelo, la conductividad eléctrica, la temperatura y la humedad ambiental, así como la radiación solar. La información recopilada por estos sensores se integra en una plataforma central que permite a los agricultores tomar decisiones informadas

²¹ Lezoche, M., Hernandez, J. E., Alemany Díaz, M. D. M. E., Panetto, H., & Kacprzyk, J (2020)

²² BrioAgro Technologies (s. f.)

sobre cuándo y cuánto regar, optimizando así el uso de recursos hídricos y reduciendo los costes operativos.

La tecnología de BrioAgro no solo se centra en el monitoreo pasivo de las condiciones ambientales, sino que también permite la automatización activa del riego. El sistema ajusta automáticamente los horarios y cantidades de riego según los datos recibidos, asegurando que los olivares reciban la cantidad exacta de agua necesaria para su crecimiento óptimo. Además, el sistema puede lograr ahorros significativos porque realiza el riego automáticamente durante las horas de tarifas eléctricas reducidas, que cambian diariamente. De esta manera, el riego se lleva a cabo al precio de electricidad más barato, logrando incluso una reducción del 50% en los costos de electricidad. Este enfoque de precisión en el riego ha demostrado ser altamente eficaz, logrando una significativa reducción en el consumo de agua y mejorando la salud y productividad de los cultivos. Además, al integrar datos climáticos en tiempo real, el sistema puede anticipar y responder a cambios en el clima, proporcionando una capa adicional de resiliencia y eficiencia a la gestión agrícola.

2.2.2.2 Sensores inteligentes

Los sensores inteligentes son dispositivos que no solo detectan y responden a estímulos físicos o químicos, sino que, también procesan los datos recopilados y comunican esa información para tomar decisiones informadas o para automatizar procesos²³. En el contexto de la Agricultura 4.0, estos sensores juegan un papel crucial en la optimización de los recursos y la mejora de la eficiencia y sostenibilidad de las explotaciones agrícolas.

Los sensores inteligentes tienen múltiples aplicaciones en la agricultura. Una de las funciones más importantes que desempeñan estos sensores es la del monitoreo de la humedad del suelo para optimizar el riego y evitar el desperdicio de agua. También se utilizan para controlar la temperatura y humedad del aire, asegurando condiciones óptimas

²³ TechTarget (2021)

para el crecimiento de los cultivos. Además, estos sensores pueden detectar plagas y enfermedades en plantas mediante tecnología de visión por ordenador, permitiendo intervenciones rápidas y precisas.

En línea con lo expuesto, los sensores meteorológicos recopilan datos climáticos para predecir las condiciones meteorológicas y así poder mejorar la planificación agrícola. Por lo tanto, los sensores inteligentes aumentan la eficiencia, productividad y sostenibilidad de las explotaciones agrícolas²⁴.

En este sentido, la Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado el uso de sensores en la agricultura. Los sensores IoT conectan diversos dispositivos y sistemas, permitiendo una recopilación y análisis de datos en tiempo real. Estos sensores están equipados con capacidades de comunicación que les permiten enviar datos a plataformas centralizadas donde se pueden analizar y utilizar para tomar decisiones precisas y automatizadas²⁵. Por ejemplo, los sensores IoT pueden monitorear continuamente el estado del suelo, el clima y la salud de los cultivos, y enviar alertas a los agricultores sobre posibles problemas o condiciones óptimas para ciertas actividades agrícolas.

Adicionalmente, los sensores IoT permiten la integración con otros sistemas automatizados, como los sistemas de riego inteligentes, que pueden ajustarse automáticamente en función de los datos recibidos de los sensores de humedad del suelo. Su aplicación no solo supone un ahorro de consumo de agua, sino que, también garantiza que los cultivos reciban la cantidad exacta de agua que necesitan para crecer de manera óptima. Del mismo modo, los sensores IoT pueden integrarse con equipos de maquinaria agrícola para aplicaciones precisas de insumos agrícolas, mejorando así la eficiencia y reduciendo el desperdicio.

²⁴ Gebbers, R., & Adamchuk, V. I (2010)

²⁵ Gouiza, N., Jebari, H., Reklouai, K. (2024)

Sobre la cuestión expuesta, en el artículo "Sensing, Smart and Sustainable Technologies for Agri-food 4.0"²⁶ se evidencia el éxito de la implementación de sensores inteligentes en la agricultura. El estudio presenta un marco de referencia denominado S3 (Sensing, Smart, and Sustainable) para el desarrollo de productos agrícolas más eficientes y sostenibles. Este marco integra tecnologías avanzadas de sensores, el Internet de las Cosas (IoT), y el análisis de datos para mejorar las prácticas agrícolas.

En el artículo referenciado se destaca cómo los sensores inteligentes han permitido reducir significativamente el consumo de agua al optimizar los sistemas de riego. Estos sensores recopilan datos en tiempo real sobre la humedad del suelo, la temperatura, y las condiciones climáticas, los cuales son transmitidos a un sistema central de análisis.

Por otra parte, el uso de algoritmos de ciencia de datos permite analizar esta información y determinar los momentos óptimos para el riego, evitando el desperdicio de agua y asegurando que las plantas reciban la cantidad adecuada de humedad en todo momento.

Adicionalmente a la gestión del riego, el artículo también hace hincapié sobre la capacidad de los sensores inteligentes para monitorear y gestionar otros aspectos críticos de la producción agrícola, como la detección de plagas y enfermedades en los cultivos.

En esta línea, el artículo incluye diversos casos de estudio en explotaciones agrícolas en las que, con la implementación de sensores inteligentes y el análisis de datos se produjo una reducción del 30% en el consumo de agua y un aumento del 15% en la productividad de los cultivos. Ciertamente, estos resultados evidencian el potencial de los sensores inteligentes para transformar la agricultura, haciéndola más eficiente, productiva y sostenible.

²⁶ Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. (2019)

2.2.3 IMPACTO AMBIENTAL Y OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS

La agricultura es una de las principales fuentes de contaminación ambiental²⁷, contribuyendo significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la contaminación del agua y la degradación del suelo.

En España, la agricultura representa aproximadamente el 12% de las emisiones totales de GEI, principalmente debido a la liberación de metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (N₂O) provenientes de la fermentación entérica del ganado y el uso de fertilizantes sintéticos.

El uso de fertilizantes es una práctica común en la agricultura para mejorar la productividad de los cultivos. Sin embargo, su uso excesivo y mal gestionado puede tener graves impactos ambientales. En este sentido, los fertilizantes nitrogenados son responsables de emisiones de N₂O, un potente GEI. Adicionalmente, el uso excesivo de los fertilizantes puede acabar contaminando fuentes de agua potable.

Añadido a lo anterior, otro gran impacto ambiental de la agricultura es el excesivo consumo de agua. La agricultura es el mayor consumidor de agua a nivel mundial²⁸, consumiendo aproximadamente el 70% del uso global de agua, y en zonas geográficas como España, el sector agrícola consume alrededor del 82,1% del agua consumida en España²⁹.

La creciente demanda de agua debido a actividades humanas y el cambio climático han exacerbado la escasez de agua, afectando tanto la producción agrícola, como la disponibilidad de agua para otros usos.

El exceso en el uso del agua se debe principalmente³⁰ a que los métodos tradicionales de riego, como el riego por inundación, pueden ser altamente ineficientes, con pérdidas significativas de agua debido a la evaporación, la escorrentía y la filtración profunda. De

²⁷ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2024)

²⁸ Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024)

²⁹ Merino, R. (2022)

³⁰ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022)

esta manera, aproximadamente entre el 40-50% del agua aplicada mediante riego tradicional es realmente utilizada por las plantas.

Es por ello, que como se ha mencionado previamente, gracias a la aplicación de tecnologías avanzadas como sensores inteligentes, Big Data o ciencia de datos el uso excesivo de los fertilizantes y del consumo de agua en la producción agrícola se puede optimizar, reduciendo con ello su impacto ambiental.

En esta línea, los sensores de suelo pueden monitorear los niveles de nutrientes en tiempo real, permitiendo una aplicación precisa y eficiente de fertilizantes, solo cuando y donde sean necesarios. De esta forma, los sensores de humedad con sistemas de riego automatizados permiten ajustar el riego de manera dinámica, asegurando que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua en el momento adecuado eliminando así el exceso de agua usado.

En apoyo de lo expuesto, un estudio realizado por la Universidad de Córdoba³¹ ha demostrado la efectividad de las tecnologías avanzadas en la gestión del riego. Señala el estudio que la implementación de sensores de humedad del suelo y los sistemas de riego automatizados logran reducir el consumo de agua en un 25% y aumentar la eficiencia del uso del agua en un 20%. Adicionalmente, la productividad de los cultivos mejoró en un 15%.

En consecuencia, estos resultados evidencian que el uso de tecnologías avanzadas no solo optimiza el uso del agua, sino que, también mejora significativamente la sostenibilidad y rentabilidad de las explotaciones agrícolas.

En apoyo de lo expuesto, a continuación, se presenta una tabla comparativa que ilustra las diferencias entre los sistemas tradicionales y la Agricultura 4.0 en términos de emisiones y uso del agua. El cotejo efectuado destaca cómo las tecnologías avanzadas pueden reducir el

³¹ Universidad de Córdoba (2020)

impacto ambiental de la agricultura al optimizar el uso de recursos críticos como los fertilizantes y el agua:

	Agricultura Tradicional	Agricultura 4.0
Uso de Fertilizantes (%)	100	93
Emisiones de CH4 (%)	100	94
Consumo de Agua (m ³ /ha)	1000	750
Eficiencia en el Uso del Agua (%)	70	90
Productividad de los Cultivos (%)	100	115

Tabla 1: Comparación de parámetros entre el uso de métodos de la agricultura tradicional y la Agricultura 4.0. Fuente: Elaboración Propia, 2024

Los datos expuestos son un fiel reflejo de que el uso de la Agricultura 4.0, en remplazo a los métodos tradicionales, es todo un éxito debido a que reduce de forma satisfactoria las emisiones de metano, el consume del agua y el uso de fertilizantes y aumenta la productividad junto con la eficiencia en el uso del agua.

La reducción en el uso de fertilizantes hasta un 93% se debe a la optimización en la aplicación de nutrientes basada en las necesidades específicas de los cultivos y las condiciones del suelo, utilizando sensores de suelo y análisis de Big Data.

En referencia a las emisiones de metano, la Agricultura 4.0 ha logrado una reducción al 94%, comparado con la agricultura tradicional, gracias a la mejora en la eficiencia operativa y el uso de tecnologías como el guiado automático y la telemetría de máquinas. Estas tecnologías

optimizan las rutas y el funcionamiento de la maquinaria agrícola, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones asociadas³².

El consumo de agua se ha reducido significativamente, de 1000 m³/ha en métodos tradicionales a 700 m³/ha con Agricultura 4.0, gracias a los sistemas de riego de precisión implementados en proyectos como el de la Universidad de Córdoba.

En este sentido, el estudio referenciado demostró que la utilización de sensores de humedad del suelo y sistemas de riego automatizados pueden ajustar la aplicación de agua de manera dinámica, asegurando de esta forma que las plantas reciban la cantidad adecuada en el momento preciso. Con todo ello, la eficiencia en el uso del agua ha mejorado notablemente, alcanzando un 90% frente al 70% de la agricultura tradicional, debido al monitoreo y control avanzados proporcionados por estas tecnologías³³.

Finalmente, la productividad de los cultivos ha aumentado a un 115% con Agricultura 4.0, en comparación con el 100% de la agricultura tradicional. Este incremento se debe a la aplicación precisa de insumos y el monitoreo constante de las condiciones de crecimiento, como se observó en el estudio de ‘Sensing, Smart and Sustainable Technologies for Agri-food 4.0’, donde se evidenció que los sensores inteligentes y las tecnologías de Big Data optimizan la producción agrícola y mejoran la sostenibilidad³⁴.

En conclusión, los datos expuestos evidencian que la Agricultura 4.0 optimiza el uso de recursos, mejora la sostenibilidad ambiental y aumenta la eficiencia y productividad agrícola.

³² Association of Equipment Manufacturers (2021)

³³ Universidad de Córdoba (2020)

³⁴ Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. (2019)

2.3 ENERGÍAS RENOVABLES EN LA AGRICULTURA 4.0

2.3.1 INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SECTOR AGRÍCOLA

En otro orden de cosas, conviene destacar que la integración de energías renovables en el sector agrícola es esencial para promover la sostenibilidad y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

En línea con lo expuesto, señala el artículo "Integration of Renewable-Energy-Based Green Hydrogen into the Energy Future"³⁵, las energías renovables como la solar, eólica, biomasa y biogás emergen como soluciones viables y efectivas para minimizar la huella ambiental de la agricultura y adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes.

Ciertamente, el uso de las tecnologías expuestas no solo contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que, adicionalmente ofrecen oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y la resiliencia económica de las explotaciones agrícolas.

En referencia a lo expuesto, el Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) Agroalimentario³⁶ es una iniciativa clave que respalda una transición hacia fuentes de energía renovables. Este proyecto está respaldado por políticas gubernamentales, incentivos económicos y avances tecnológicos que facilitan su implementación en diversas escalas y contextos agrícolas. La transición hacia estas fuentes de energía no solo es crucial para cumplir con los objetivos de sostenibilidad globales, sino que también, puede aumentar la competitividad y la sostenibilidad a largo plazo de las explotaciones agrícolas.

El PERTE Agroalimentario incluye una inversión significativa destinada a la digitalización y automatización del sector, así como a la promoción del uso de energías renovables. Estas medidas no solo favorecen la inversión en nuevas instalaciones y tecnologías, generando

³⁵ Marouani, I., Guesmi, T., Alshammari, B.M., Alqunun, K., Alzamil, A., Alturki, M., & Hadj Abdallah, H. (2023)

³⁶ Consejo de Ministros (2021)

actividad económica y empleo, sino que también optimizan la utilización de los recursos naturales y minimizan los impactos ambientales. El proyecto contempla la integración de energías renovables como la solar, eólica, biomasa y biogás, promoviendo una agricultura más eficiente y sostenible.

En línea con lo expuesto, la energía solar es una de las fuentes de energía renovable más prometedoras e implementadas en el sector agrícola. Esta tecnología utiliza paneles solares fotovoltaicos para convertir la luz solar en electricidad, lo que permite a las explotaciones agrícolas reducir su dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Resulta incuestionable que la integración de la energía solar en la agricultura ofrece múltiples beneficios. Los paneles solares pueden reducir significativamente los costes operativos de las explotaciones agrícolas, permitiendo a los agricultores generar su propia energía y disminuir su factura de electricidad en un 60% a 80%, dependiendo del aprovechamiento de la energía generada³⁷.

En otro orden de cosas, la energía eólica es otra fuente de energía renovable que está ganando terreno en el sector agrícola. Dicha tecnología aprovecha la energía del viento para generar electricidad mediante aerogeneradores, lo que ofrece una alternativa sostenible y eficiente a los combustibles fósiles.

Ciertamente, la energía eólica ofrece numerosas ventajas para la agricultura, promoviendo una convivencia sostenible. Su implementación permite un uso eficiente de la tierra, ya que los aerogeneradores ocupan solo una pequeña parte del terreno, dejando el resto disponible para el cultivo. En suma, proporciona ingresos adicionales a los agricultores debido a que el sobrante de energía de la explotación lo venden a la red eléctrica española y genera empleo

³⁷ SolarPlak (2024)

en el mantenimiento de las infraestructuras. Adicionalmente, mejora el acceso a los campos y actúa como cortafuegos.

Todos los factores expuestos inciden en que dicha energía ayude a fijar la población en zonas rurales, permitiendo que las familias jóvenes permanezcan en estas áreas, contrarrestando así el envejecimiento demográfico.³⁸

La biomasa y el biogás son fuentes de energía renovable que están siendo cada vez más utilizadas en el sector agrícola. La biomasa se refiere a la materia orgánica, como residuos agrícolas, restos de cultivos y estiércol, que se convierte en energía mediante procesos de combustión o digestión anaeróbica y el biogás es un gas renovable que se produce a partir de la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono³⁹. Estas tecnologías permiten convertir residuos orgánicos en energía, ofreciendo una solución sostenible para la gestión de residuos y la producción de energía.

En el mundo agrícola, la biomasa y el biogás tienen aplicaciones significativas para promover la sostenibilidad y la eficiencia energética. Un ejemplo notable es el proyecto llevado a cabo por la cooperativa agropecuaria Valle de Odieta en la biogranja de Caparroso⁴⁰. Esta granja de vacuno utiliza los residuos orgánicos, como el estiércol, para producir biogás a través de un proceso de digestión anaerobia.

El biogás generado se convierte en electricidad y calor, los cuales son utilizados en la misma granja, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía no renovables. Entre las ventajas de este proyecto se incluyen la disminución de los costes energéticos, la reducción de emisiones de metano y otros gases de efecto invernadero, y la gestión eficiente de los residuos agrícolas.

³⁸ Vientos de Futuro (2024)

³⁹ Agencia Andaluza de la Energía (2024)

⁴⁰ Valle de Odieta cooperativa agropecuaria (s. f.)

La planta de biogás, gestionada por HTN Biogás, es una de las más grandes del sur de Europa y tiene la capacidad de abastecer de energía renovable a unos 14,000 hogares, lo que representa un ahorro equivalente a 7 millones de litros de gasolina.

Además, el digestato, subproducto del proceso, se utiliza como fertilizante orgánico, cerrando así el ciclo de nutrientes y mejorando la calidad del suelo.

Este tipo de proyectos demuestra cómo las tecnologías basadas en biomasa y biogás pueden integrarse eficazmente en las prácticas agrícolas, aportando beneficios tanto económicos como ambientales.

Cada una de las tecnologías renovables expuestas ofrece ventajas únicas y oportunidades para su implementación. Sin embargo, para maximizar los beneficios y la eficiencia en un entorno específico, hemos decidido enfocar nuestra investigación en la energía solar fotovoltaica para su futura implementación en un olivar.

Para justificar la profundización en el estudio de las placas fotovoltaicas frente a otras energías renovables se ilustra en la gráfica expuesta a continuación:

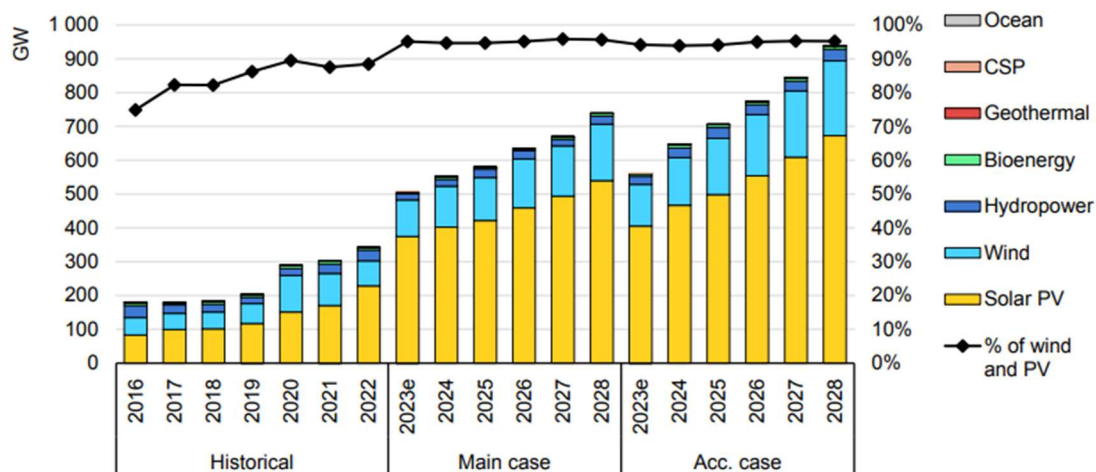


Ilustración 7: Adiciones de capacidad de electricidad renovable por tecnología y segmento. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA), 2023

Los datos reflejados en el gráfico presentados en el informe "Renewables 2023" de la Agencia Internacional de la Energía⁴¹ ofrece una visión clara sobre el crecimiento y la relevancia de la energía solar fotovoltaica y eólica en el futuro cercano, lo cual, resulta crucial para comprender las tendencias de crecimiento y las oportunidades de inversión en diferentes tecnologías de energía renovable.

Ahondando más en la cuestión expuesta, el gráfico muestra las adiciones de capacidad de diferentes tecnologías de energía renovable entre 2016 y 2028, dividido en escenarios históricos, principales y acelerados.

La principal diferencia entre el escenario principal y el escenario acelerado es que el escenario principal asume que las políticas y medidas de apoyo existentes continuarán sin cambios significativos y que no se introducirán nuevas iniciativas importantes. Sin embargo, el escenario acelerado considera un conjunto de políticas y medidas adicionales que podrían implementarse para acelerar la transición energética. Incluye mayores incentivos, reducciones de barreras regulatorias y un apoyo más fuerte para las inversiones en energías renovables.

Como queda constatado en el gráfico expuesto, la energía solar fotovoltaica, representando en amarillo, muestra un aumento continuo y significativo en la capacidad instalada, especialmente, en el escenario acelerado. Por ende, la energía eólica, representada en azul claro, muestra un crecimiento, aunque el aumento es más constante y menos pronunciado en comparación con la solar fotovoltaica. Asimismo, se encuentra ilustrada la hidroelectricidad, bioenergía, geotermia, CSP y energía oceánica reflejando unos incrementos más modestos.

En el caso del escenario acelerado como se puede observar en la gráfica se proyecta un crecimiento mucho más rápido y significativo de la capacidad instalada de energía renovable, especialmente para tecnologías como la solar PV y la eólica.

⁴¹ Agencia Internacional de la Energía (2024)

La energía solar fotovoltaica muestra el mayor incremento en capacidad instalada tanto en el escenario principal como en el acelerado, representando el 95% del total. Esto indica un alto potencial de expansión y adopción, lo que la hace una opción viable para satisfacer las necesidades energéticas de un olivar. Por lo que, su alto potencial de crecimiento, junto con ventajas económicas y políticas, hacen que esta tecnología sea la más adecuada para satisfacer las necesidades energéticas y sostenibles de los olivares.

2.3.2 USO DE PLACAS SOLARES EN OLIVARES

2.3.2.1 Beneficios económicos y ambientales

La implementación de placas solares en olivares ofrece una serie de beneficios económicos y ambientales que justifican su estudio y adopción. La energía solar fotovoltaica no solo es una opción sostenible, sino que también se ha vuelto cada vez más competitiva desde un punto de vista económico.

El coste energético nivelado es una medida que representa el coste total de construir y operar una planta de generación de electricidad a lo largo de su vida útil, dividido por la cantidad total de energía generada. Es una métrica clave para comparar la rentabilidad de diferentes tecnologías de generación de energía.⁴²

La Agencia Internacional de Energías Renovables destaca que el coste energético nivelado de la energía solar fotovoltaica ha disminuido significativamente en los últimos años. Esta reducción se debe a varios factores clave, incluyendo avances tecnológicos, economías de escala, mejoras en la eficiencia de los paneles solares y la disminución de los costes de instalación y mantenimiento.⁴³

En 2022, el coste energético nivelado de nuevos proyectos de energía solar fotovoltaica disminuyó a USD 0.049/kWh. Esta cifra representa una disminución notable en comparación con años anteriores, haciendo que la energía solar fotovoltaica sea una de las opciones más

⁴² Caja de Ingenieros (2022)

⁴³ IRENA (2024)

económicas entre las tecnologías de generación de energía renovable. Para poner esto en perspectiva, este coste energético nivelado es competitivo no solo frente a otras fuentes de energía renovable, sino también frente a muchas plantas de generación a base de combustibles fósiles. En comparación, el coste energético nivelado para nuevas plantas de carbón y gas natural varía típicamente entre USD 0.060 y 0.150/kWh, dependiendo de la región y la tecnología específica utilizada.⁴⁴

Además, un informe de EY destaca que, en 2022, alrededor del 86% de los nuevos recursos de energía renovable comisionados generaron electricidad a un coste inferior al promedio del coste de generación de combustibles fósiles. El informe señala que el coste energético nivelado global promedio ponderado para la energía solar es ahora un 29% más bajo que la opción de combustible fósil más barata disponible. Este notable descenso desde más de USD 400/MWh en los primeros años de la década de 2010 a aproximadamente USD 49/MWh en 2022, representa una reducción del 88%.⁴⁵

Además de los beneficios económicos, la implementación de placas solares en olivares ofrece importantes beneficios ambientales que justifican su adopción. La energía solar fotovoltaica es una opción sostenible que contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles y ayudando a combatir el cambio climático.⁴⁶

Finalmente, una de las ventajas más destacadas de la energía solar fotovoltaica es la estabilidad de los precios energéticos que ofrece. A diferencia de los combustibles fósiles, cuyos precios pueden fluctuar significativamente debido a factores geopolíticos y económicos, la energía solar se basa en un recurso abundante y gratuito. Esta característica permite que los costes de generación de energía solar sean mucho más estables y predecibles a lo largo del tiempo. Al aprovechar la energía solar, los consumidores pueden reducir su dependencia de los precios volátiles del petróleo y el gas, lo que proporciona una mayor

⁴⁴ Agencia Internacional de Energía Renovable (2022)

⁴⁵ Kennedy, R. (2023)

⁴⁶ Fundación Aquae (2023)

estabilidad financiera a largo plazo. Esto es especialmente beneficioso en el contexto agrícola, donde la estabilidad de costes es crucial para la planificación y la sostenibilidad económica de los cultivos.⁴⁷

Además de los beneficios económicos, la implementación de placas solares en olivares ofrece importantes beneficios ambientales que justifican su adopción. La energía solar fotovoltaica es una opción sostenible que contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles y ayudando a combatir el cambio climático⁴⁸.

Los beneficios ambientales de la energía solar fotovoltaica superan a los de otras energías renovables por varias razones. Primero, la energía solar no produce emisiones directas de gases de efecto invernadero durante su operación, lo que la hace más limpia en comparación con la bioenergía, que puede liberar CO₂ y otros gases si no se maneja adecuadamente. Las plantas de energía solar fotovoltaica no emiten estos contaminantes atmosféricos, lo que reduce el impacto ambiental y mejora la calidad del aire. Además, mientras que la biomasa requiere una gestión adecuada para evitar emisiones perjudiciales, la energía solar no presenta este riesgo, ofreciendo una solución más directa y limpia para la generación de energía⁴⁹.

En términos de uso del terreno, la energía solar fotovoltaica también presenta ventajas significativas sobre la energía eólica. Los parques eólicos requieren grandes extensiones de terreno debido a la necesidad de espaciar las turbinas para evitar interferencias y maximizar la eficiencia, lo que puede impactar negativamente en el uso del suelo. Por ejemplo, un parque eólico puede necesitar entre 674 y 932 kilómetros cuadrados de terreno para generar la misma cantidad de electricidad que una planta nuclear de 1000 megavatios, mientras que una instalación solar fotovoltaica comparable requeriría entre 117 y 194 kilómetros cuadrados. Además, las instalaciones solares pueden ubicarse en una variedad de superficies,

⁴⁷ La Energía del Futuro (2023)

⁴⁸ Acciona (s. f.)

⁴⁹ U.S. Energy Information Administration (s. f.)

incluyendo tejados y terrenos agrícolas no productivos, permitiendo una utilización más eficiente del espacio disponible.⁵⁰

2.3.2.2 Viabilidad y desafíos de la instalación de placas solares

La implementación de placas solares en olivares no solo ofrece numerosos beneficios económicos y ambientales, sino que también plantea una serie de desafíos que deben ser considerados para asegurar su viabilidad. A continuación, se detallan los aspectos más importantes relacionados con la viabilidad y los desafíos de la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica en olivares.

Investigadores de la Universidad de Jaén y la Universidad La Sapienza de Roma han llevado a cabo un estudio sobre la integración de paneles solares bifaciales en olivares de alta densidad⁵¹. El estudio modela la instalación óptima de estos paneles para maximizar la captación de luz solar sin afectar negativamente la fotosíntesis de los olivos. Los investigadores destacaron que los olivos, al ser plantas C3, requieren menos luz para la fotosíntesis, lo que los hace adecuados para sistemas agrovoltaicos. Además, los paneles solares pueden mejorar la eficiencia agrícola al conservar la humedad del suelo, al tiempo que protegen a los árboles de temperaturas extremas.

La viabilidad de la energía solar fotovoltaica en olivares está fuertemente respaldada por la abundancia de recursos solares en muchas regiones donde se cultivan olivos, especialmente en el Mediterráneo. La alta irradiación solar en estas áreas asegura una producción eficiente de electricidad a partir de paneles solares.

Acorde al estudio mencionado previamente, la implementación de paneles solares en plantaciones de olivos es altamente viable debido a la abundante irradiación solar que reciben las regiones mediterráneas, donde comúnmente se encuentran los olivares. El estudio destaca que estas áreas reciben una cantidad considerable de luz solar durante todo el año,

⁵⁰ Ritchie, H. (2022)

⁵¹ Mouhib, E., Fernández-Solas, Á., Pérez-Higueras, P. J., Fernández-Ocaña, A. M., Micheli, L., Almonacid, F., & Fernández, E. F. (2024)

lo que optimiza la eficiencia y productividad de los sistemas fotovoltaicos instalados en estas plantaciones.

Los olivares generalmente disponen de grandes extensiones de tierra, lo que facilita la instalación de paneles solares sin necesidad de competir con el área cultivada. Los paneles pueden ser instalados en terrenos no agrícolas o en zonas marginales, optimizando el uso del espacio y evitando cualquier impacto negativo en la producción de olivos.

Apoyándonos en el estudio expuesto, este señala que los olivares ofrecen amplio espacio entre las filas de árboles, lo que permite la instalación de paneles solares sin interrumpir las actividades agrícolas. Esta integración eficiente asegura que la producción agrícola no se vea afectada, mientras se maximiza la utilización del terreno disponible para la generación de energía.

En línea con lo expuesto, la generación de electricidad puede reducir significativamente los costes energéticos de las operaciones agrícolas, disminuyendo la dependencia de la red eléctrica y protegiendo contra la volatilidad de los precios de la energía. Esto es particularmente beneficioso para los agricultores que buscan mejorar la rentabilidad de sus cultivos a largo plazo. El estudio también destaca los beneficios económicos de integrar paneles solares, como la significativa reducción de costes energéticos para riego y otras operaciones agrícolas, mejorando así la sostenibilidad económica de las plantaciones de olivos.

Los resultados del estudio muestran que los ahorros energéticos obtenidos a lo largo de la vida útil de los sistemas fotovoltaicos pueden compensar la inversión inicial en un período razonable, haciendo que la adopción de esta tecnología sea económicamente viable para los agricultores.

Pese a la gran viabilidad que ofrecen las placas fotovoltaicas, existen algunos desafíos relacionados con ellas para una implantación exitosa.

Uno de los principales desafíos para la instalación de placas solares es el alto coste inicial. Aunque los costes han disminuido significativamente en los últimos años, la inversión en

paneles solares y la instalación puede ser considerable. Sin embargo, esta inversión inicial puede ser recuperada a través de los ahorros en costes energéticos a lo largo de la vida útil del sistema que se tasa entre unos 25 y 30 años, y después de estos siguen funcionando, pero a menor capacidad. La cantidad de años en recuperar la inversión dependerá de la calidad y de la cantidad de placas solares que se utilicen, pero gracias a los incentivos del Estado se puede llegar a cubrir entre el 30 y el 40% del coste para los particulares, y entre el 45 y el 60% para las empresas. Esto implica que el precio de la instalación puede reducirse más de la mitad, suponiendo un considerable ahorro en la inversión inicial y acelerando el período de recuperación de la inversión. ⁵²

Junto a esto, aunque los sistemas de energía solar fotovoltaica requieran relativamente poco mantenimiento, es esencial asegurar un mantenimiento adecuado para maximizar la eficiencia y la vida útil de los paneles. Esto incluye la limpieza regular de los paneles y la revisión periódica del sistema eléctrico para prevenir fallos y optimizar el rendimiento. ⁵³

Otro gran desafío de las placas solares es que el clima en áreas con fluctuaciones climáticas significativas. Este desafío puede ser mitigado por la implementación de sistemas de almacenamiento de energía, como baterías. Las cuales pueden mitigar este problema al almacenar el exceso de energía generada durante los períodos de alta irradiación para su uso durante la noche o en días nublados. Estos sistemas más conocidos como sistemas híbridos, que combinan energía solar con almacenamiento en baterías, permiten una gestión eficiente de la energía, asegurando un suministro continuo y estable, independientemente de las condiciones meteorológicas. ⁵⁴

En conclusión, los desafíos relacionados con la inversión inicial, el mantenimiento y la variabilidad de la producción energética deben ser gestionados adecuadamente para asegurar

⁵² ESR Solar (2023)

⁵³ ESR Solar (2023)

⁵⁴ (Futuro Eléctrico s. f.)

el éxito de estos proyectos y poder así conseguir que la energía solar fotovoltaica pueda ser una solución sostenible y rentable para los olivares.

2.3.2.3 Tecnologías innovadoras: Placas solares flotantes

Las placas solares flotantes representan una tecnología innovadora que está comenzando a desarrollarse en España. Aunque su implementación aún es limitada, su potencial es significativo, especialmente en embalses cercanos a áreas agrícolas como los olivares. Esta tecnología puede aprovechar el espacio acuático de manera eficiente, sin competir con terrenos agrícolas.

Actualmente, España cuenta con 106 embalses autorizados para la instalación de paneles solares flotantes, distribuidos en las principales cuencas hidrográficas del país. Estas concesiones se otorgan por un período máximo de 25 años, lo que proporciona estabilidad a largo plazo para las inversiones en energía renovable.⁵⁵

El reciente Real Decreto aprobado por el Gobierno español regula la instalación de plantas fotovoltaicas flotantes en embalses de dominio público hidráulico. La normativa establece que estas instalaciones podrán ocupar entre el 5% y el 15% de la superficie del embalse, dependiendo de la calidad del agua. Además, se prohíbe la instalación en cuerpos de agua naturales o protegidos para asegurar la conservación de los ecosistemas acuáticos.⁵⁶

La aprobación de este Real Decreto está en línea con la Ley de Cambio Climático y Transición Energética de España, que busca alcanzar un 42% de penetración de energías renovables en el consumo final y un 74% de generación renovable en el sistema eléctrico para 2030. Las placas solares flotantes se presentan como una solución prometedora para alcanzar estos objetivos, mejorando la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental

Las placas solares flotantes se benefician de la refrigeración natural del agua, lo que aumenta su eficiencia. Los paneles fotovoltaicos instalados sobre cuerpos de agua pueden ser hasta

⁵⁵ Ferrer, J. (2024)

⁵⁶ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2024)

un 15% más eficientes que los instalados en tierra debido a las temperaturas más bajas del agua, que ayudan a mantener los paneles más fríos y, por tanto, más eficientes en la conversión de luz solar en electricidad.⁵⁷ .

Adicionalmente, el Laboratorio Nacional de Energías Renovables del Departamento de Energía de EE. UU. reportó una mejora promedio global en la conversión de energía solar del 9% para paneles solares montados en un eje de seguimiento único, con mejoras individuales que van desde el 4% hasta el 15%. Esto es especialmente ventajoso en áreas donde la tierra es escasa o costosa. Al utilizar cuerpos de agua existentes, estas instalaciones liberan terrenos para la agricultura, la conservación de la naturaleza o el desarrollo urbano.⁵⁸

Una de las ventajas ambientales más importantes de las placas solares flotantes es su capacidad para reducir la evaporación del agua en los embalses y lagos. Esto no solo ayuda a conservar recursos hídricos valiosos, sino que también contribuye a mantener niveles de agua estables, lo que es crucial en regiones propensas a la sequía. Las instalaciones solares flotantes no requieren el uso de terrenos agrícolas o espacios que podrían ser utilizados para otros fines. Al estar instaladas sobre el agua, las placas solares flotantes están menos expuestas a la acumulación de polvo y suciedad, lo que reduce la necesidad de limpieza frecuente y mantenimiento. Además, al no tener obstáculos cercanos, no sufren de sombras que puedan disminuir su rendimiento.⁵⁹

En el mundo agrícola el hecho de que las placas solares flotantes ayuden a reducir la evaporación del agua es especialmente beneficioso para sistemas de riego. Al conservar el agua en los embalses y lagos, estas instalaciones aseguran un suministro más constante y eficiente de agua para el riego de cultivos, como los olivares. Además, pueden integrarse eficazmente con sistemas de riego existentes, proporcionando energía renovable para alimentar bombas y otros equipos de riego.

⁵⁷ Casey, T. (2023)

⁵⁸ Solar Power Systems (2024)

⁵⁹ Endesa (2022)

La integración expuesta no solo reduce los costes energéticos, sino que, también mejora la sostenibilidad del sistema de riego, al disminuir la dependencia de combustibles fósiles. Además de conservar el agua, las instalaciones solares flotantes pueden tener un impacto positivo en los ecosistemas acuáticos. Al proporcionar sombra, pueden reducir la temperatura del agua y mejorar las condiciones para la vida acuática. Asimismo, al evitar la deforestación y la alteración de hábitats terrestres, estas instalaciones contribuyen a la conservación de la biodiversidad.⁶⁰

El capítulo del Estado de la Cuestión proporciona un análisis detallado sobre la integración de tecnologías digitales y energías renovables en la Agricultura 4.0, centrándose en las explotaciones olivareras en España. A través de la revisión de trabajos previos y soluciones ya implementadas, este capítulo nos permite identificar las tecnologías avanzadas que optimizan la producción y reducen el uso de recursos. Se destacan los beneficios de la aplicación de tecnologías como el Big Data y el uso de sensores inteligentes para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la agricultura.

Uno de los puntos clave del análisis es cómo estas innovaciones pueden reducir los costes productivos y mejorar la sostenibilidad del sector agrícola. La integración de energías renovables, como los paneles solares, se presenta como una solución eficaz para reducir los costes energéticos a largo plazo, a pesar de los elevados costes iniciales de implementación.

Este capítulo sienta las bases para los siguientes capítulos de la obra al proporcionar un marco comprensivo sobre el estado actual y las brechas en la implementación de tecnologías avanzadas en la agricultura. Las conclusiones y hallazgos del Estado de la Cuestión nos guían hacia una visión más sostenible y tecnológicamente avanzada de la agricultura, orientada a la mejora de la eficiencia y la reducción de costes.

En los capítulos siguientes, se desarrollarán y analizarán en detalle las tecnologías mencionadas, sus aplicaciones prácticas, y su impacto económico en el sector agrícola. Se

⁶⁰ Endesa (2022)

abordarán también las estrategias para superar las barreras de implementación y maximizar los beneficios de la Agricultura 4.0 en las explotaciones olivareras.

Estas bases permiten una transición lógica hacia la exploración de soluciones prácticas y estudios de caso específicos, donde se demostrará la viabilidad de las tecnologías discutidas y se propondrán modelos de implementación que podrían ser adoptados por los agricultores para mejorar su producción y sostenibilidad.

Capítulo 3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL OLIVAR

En este capítulo, se presenta una descripción técnica detallada de la explotación de olivar ubicada en el municipio de Espejo, Córdoba. Se proporciona información sobre la ubicación y características de la finca, incluyendo su historia y estructura organizativa.

Adicionalmente, se analizará el clima del área, crucial para la producción del olivo y se detallará el sistema actual de riego que posee la finca. También se detallará el equipamiento necesario y el personal involucrado en las operaciones de mantenimiento y explotación de la finca.

3.1 UBICACIÓN

La explotación se encuentra en el municipio de Espejo, Córdoba. Espejo es un pequeño pueblo que cuenta con una población de 3212 habitantes⁶¹, y su principal cultivo leñoso de regadío es el olivar contando con 205 hectáreas explotadas por olivares de regadío.

⁶¹ Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (2023)

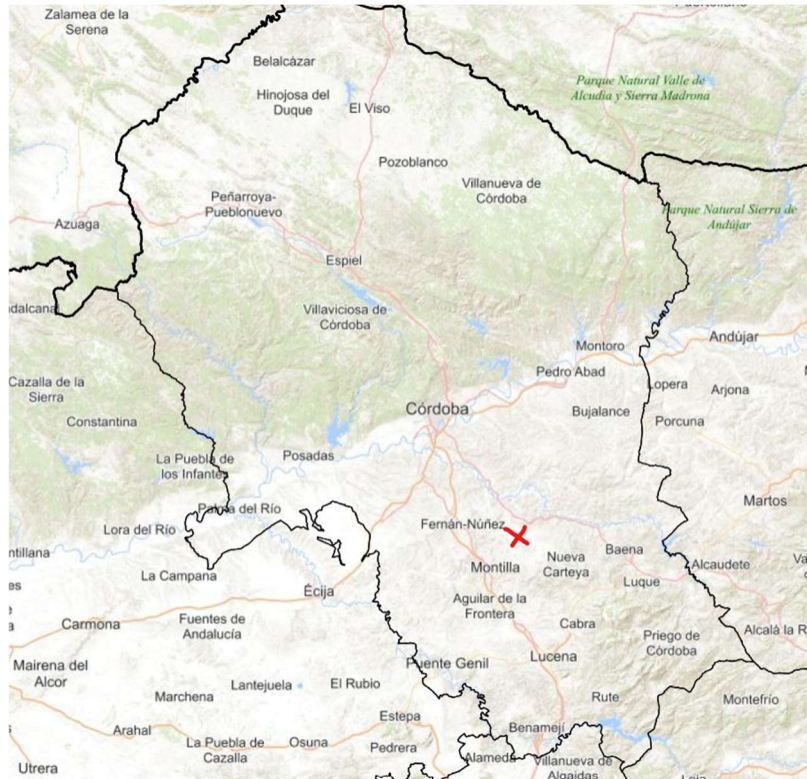


Ilustración 8: Ubicación del municipio Espejo dentro de Córdoba Fuente: Catastro, 2024

La finca está muy próxima al municipio de Espejo y se denomina Era Chinchilla y fue adquirido por mi bisabuelo en 1976 como consecuencia del Plan del Instituto de Reforma y desarrollo Agrario con el fin de paliar el alto grado de desequilibrio en el ámbito agrario y efectuar una reordenación territorial relevante de la mano de la colonización agraria, proveyendo a cada agricultor concesionario de un título definitivo de adquisición de las fincas que les habían sido adjudicadas.

En consecuencia, se trata de un negocio familiar que ha sido transmitido de generación en generación encontrándose actualmente en la tercera línea sucesoria.

La finca se encuentra integrada por diversas parcelas registrales con sus respectivas referencias catastrales, que se corresponden con la explotación de olivos y un cortijo actualmente destinado a guardar la maquinaria y aperos de labranza.

La explotación cuenta en su totalidad con una superficie de olivares explotados de 169.845 m², de los que 89.269 m² son de regadío. Como se constata en la ilustración 9 la parcela número 33 es la que se corresponde a la de olivar de regadío.

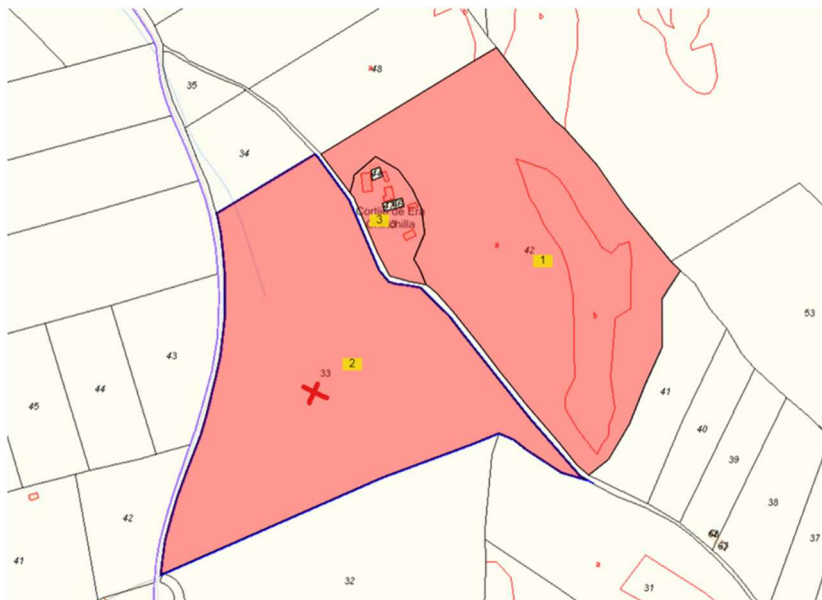


Ilustración 9: Superficie total del Olivar Fuente: Catastro, 2024

Estos olivares fueron plantados con un sistema de cultivo tradicional, con una separación de 8 metros entre olivos y los olivos promedian una edad de 20 años.

El olivar de regadío se refleja en la ilustración 10, en la que se refleja que cuenta con un terreno llano y homogéneo.



Ilustración 10: Terreno del Olivar Fuente: Elaboración Propia, 2024

3.2 DATOS HISTÓRICOS

Para analizar los datos históricos de esta finca nos apoyaremos en una tabla proporcionada por Climate Data⁶² acerca de factores climatológicos relevantes como puede ser la temperatura media de cada mes o los mm de precipitación de cada mes. Esta tabla recoge la media de datos por mes desde 1991 hasta el 2021 del municipio de Espejo.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	8.3	9.6	12.5	15.3	19.8	25.4	28.4	28.3	23.8	18.8	12.3	9.3
Temperatura min. (°C)	3.2	4.1	6.6	9.3	13.2	18.1	20.8	21.1	17.8	13.4	7.4	4.5
Temperatura máx. (°C)	13.6	15.2	18.2	21	25.9	32	35.4	35.2	29.9	24.3	17.3	14.5
Precipitación (mm)	56	50	54	53	35	12	2	6	31	60	65	70
Humedad(%)	75%	69%	64%	60%	49%	39%	34%	37%	48%	61%	69%	75%
Días lluviosos (días)	6	5	5	6	5	1	0	1	3	6	6	6
Horas de sol (horas)	6.2	7.1	8.3	9.5	11.2	12.7	12.9	12.0	10.4	8.5	6.9	6.3

Tabla 2: Media de factores climatológicos por mes desde 1991 hasta 2021 Fuente: Climate Data, 2021

Como se puede evidenciar en la tabla en el municipio de Espejo predomina un clima mediterráneo caracterizado por veranos calurosos y secos e inviernos suaves y húmedos, lo cual es ideal para el cultivo del olivo.

En cuanto a las precipitaciones, un olivo adulto, mayor de tres años, necesita alrededor de 4000 a 6000 litros de agua al año para una plena producción⁶³, lo cual se transfiere entre 334 y 500 litros al mes, lo que hace que el riego por goteo en meses como julio donde caen cerca de 2 litros por metro cuadrado sea imprescindible.

⁶² Climate Data (2021)

⁶³ AlmaRural (s. f.)

Como es sabido, la hora solar pico es un parámetro que define la cantidad de energía solar que recibe una superficie a una radiación de 1000 watios por metro cuadrado durante 1 hora.

En concreto, la localidad de Córdoba cuenta con un promedio de 5,9 horas de sol pico de media⁶⁴ lo que la hace idónea para la implantación de placas solares, ya que estas con un promedio anual de 4 horas de sol pico al día reciben lo suficiente para producir una buena cantidad de energía solar⁶⁵.

En suma, al ser terreno llano en el que se encuentra el olivar, la implantación de las placas fotovoltaicas resulta todavía más óptima al poder elegir la orientación de las placas y no tener que usar soportes para cuestas.

3.3 REGADÍO DEL OLIVAR Y CONSUMO ENERGÉTICO

Actualmente el regadío del olivar es llevado a cabo por la comunidad de regantes San Bartolomé de Espejo S.A.T. que es una empresa que comenzó su actividad en 2010 en Castro Del Rio, Córdoba.

La comunidad de regantes promovió un proyecto de transformación en riego localizado de olivar con una superficie de 355,5 hectáreas entre los años 2007-2009.

Actualmente, la comunidad de regantes cuenta con una balsa que se encuentra aproximadamente a un kilómetro de la finca y dispone de una capacidad de 180 millones de litros de agua.

La toma de agua de la comunidad de regantes se efectúa a través de dos bombas en el río Guadajoz. Estas primeras bombas de 50 CV se encargan de sacar el agua del río y llevarla a unas piscinas de decante, que están a pie de río.

⁶⁴ Powen (2023)

⁶⁵ Clark, E. (2023)

Las primeras bombas funcionan de primavera a otoño debido al permiso que tienen para sustraer agua del río.

En una segunda fase, en las piscinas de decante hay otras dos bombas de 75 CV que suben el agua de las piscinas a la balsa. Este sistema se completa con la estación principal existente en la balsa integrada por cuatro bombas horizontales de 100 CV instaladas a pie de balsa, que distribuyen el agua a los diferentes sectores de riego, en los que se dividen las fincas integradas en la comunidad de regantes.

El conjunto de bombas suele funcionar prácticamente a la vez, ya que, se gasta el mismo agua para regar que la que se sustrae del río a la balsa, usándose así el agua almacenada de la balsa por si alguna finca quiere regar fuera de ese tiempo.

Como se ha comentado, la SAT SAN BARTOLOME ESPEJO la cual es una comunidad de regantes de olivar con una superficie de 355,5 hectáreas y que por la prestación de sus servicios ofrece un canon de agua y en su factura de sus servicios se repercute tanto el coste de energía para que el agua llegue al riego, como el de la propia agua consumida. Por lo que la finca no posee factura eléctrica.

La finca Era Chinchilla no cuenta con suministro eléctrico y, como se ha comentado anteriormente, el coste de la energía para que el agua llegue a el riego se retribuye dentro de los servicios de la comunidad de regantes.

Los pagos de la comunidad de regantes se fraccionan en 4 o 5 pagos durante el año y, a modo ilustrativo, durante la campaña de 2023 por sus servicios en la finca ascendieron a 3893,37 euros. Es decir, el consumo anual de la finca tanto a nivel energético como de agua fue de 3893,37 euros con pagos bimensuales de 778,68 euros.

La finca cuenta con un pozo de agua que no está en uso actualmente. En la ilustración 9 se puede observar que hay una X marcada en rojo que referencia la existencia del pozo y en la ilustración 10 se puede ver con más detalle la boca del pozo.

Este pozo se encuentra en desuso pese a tener una gran capacidad de agua y profundidad debido a que previamente mi abuelo explotaba la finca y el coste que a él le suponía por aquel entonces implementar un sistema de regadío con el agua del pozo era muy elevado y tampoco disponía de ningún tipo de alimentación eléctrica en la finca.

En el próximo capítulo se detallará cómo este pozo será la nueva fuente para el regadío del olivar. A estos efectos, se presentarán los planes de infraestructura necesarios para integrar este recurso hídrico en el sistema de riego existente, asegurando un suministro eficiente y constante de agua para los olivos.

3.4 GASTO DEL PERSONAL, MANTENIMIENTO Y MAQUINARIA

La maquinaria actual que opera en la explotación agrícola es un tractor de cadenas de la propiedad de la finca, para realizar los diferentes trabajos de arado, recogida interna de la cosecha, abono, etc.



Ilustración 11: Tractor utilizado en la finca Era Chinchilla Fuente: Elaboración Propia, 2024

Si bien, para la recolección de la aceituna son necesarios diferentes modelos de maquinaria como las vibradoras que ofrecen un alto rendimiento en la caída de la aceituna en olivos de tronco grande, consiguiendo con menor esfuerzo y coste humano desprender la aceituna del olivo y que caigan en los paraguas que la recogen para evitar su caída al suelo.

Adicionalmente a la maquinaria de recolección resulta necesaria durante la campaña disponer de un tractor de gomas que pueda trasladar la aceituna recogida desde la finca hasta la Cooperativa Olivarera San Isidro Espejo (Córdoba) de la que los propietarios de la finca a lo largo de tres generaciones han sido socios.

La Cooperativa San isidro se fundó en 1960 y cuenta en la actualidad con un total de 1500 asociados de los que 1008 son cultivadores de 4000 hectáreas de olivares.

Los trabajos de explotación de la finca y su mantenimiento son llevados a cabo por los distintos jornaleros, que fluctúan durante las diversas épocas del año, siendo temporada alta los meses de recolección de la aceituna que suele concentrarse entre los meses de diciembre y enero.

En consecuencia, la finca cuenta con un personal en temporada alta de unos 14 jornaleros y de 3 jornaleros todo el año que se ocupan de las labores de mantenimiento y puesta a punto de la finca para cada campaña.

En los meses de temporada alta el gasto aproximado total de personal es de 5290,06 euros. El resto de los meses del año la mano de obra supone un coste total de 972,33 euros.

El mantenimiento que se suele hacer durante los meses que no son temporada alta está centrado en labores como la poda de los olivos que se suele realizar después de la recolección, así como, los trabajos preparatorios de la campaña, como el arado y tratamiento fertilizante de los olivos usando herbicidas para la eliminación del crecimiento de plantas indeseadas y realizando un tratamiento foliar el cual es llevado a cabo por la empresa “Agrícola Cubas SL” que recibe un importe aproximado de 2920,41 euros.

En referencia a la parte de olivar que cuenta con regadío los trabajos son más extensos, al deber realizarse labores de control de fugas y de reposición de las gomas que distribuyen el riego por goteo. Adicionalmente, en los horarios de riego que corresponden a la finca, según calendario de riego por fincas establecido por la comunidad de regantes, se debe controlar su correcto acceso a la finca bien por los propios trabajadores contratados como por el guarda asignado por la comunidad para el control del sistema de detección de las posibles averías.

La descripción técnica llevada a cabo sienta las bases para entender las necesidades hídricas y energéticas de la finca, lo cual es crucial para los siguientes pasos en la mejora de su eficiencia y sostenibilidad. La identificación del pozo actualmente en desuso y su potencial para ser una fuente adicional de agua es un punto clave que conecta este capítulo con las siguientes etapas del proyecto.

El análisis detallado de la situación actual del olivar en este capítulo proporciona un marco de referencia esencial para las mejoras tecnológicas propuestas en los capítulos siguientes. La comprensión de los aspectos técnicos y operativos de la finca permite planificar de manera más efectiva la integración de nuevas tecnologías que optimicen el uso del agua y la energía.

El siguiente capítulo se enfocará en dos innovaciones clave para la finca "Era Chinchilla".

En primer lugar, se abordará la implementación de sensores junto con transmisores para recolectar datos precisos sobre la humedad del suelo, la temperatura y la conductividad eléctrica. Esto permitirá una gestión más precisa y eficiente del uso de fertilizantes, adaptándose a las necesidades específicas del olivar en tiempo real y de la gestión del riego que irá enlazada directamente con la segunda parte del próximo capítulo.

En la segunda parte, se describirá cómo se utilizará el pozo de la finca para implementar una bomba eléctrica alimentada por paneles solares. Este sistema no solo asegurará un suministro constante de agua, sino que también promoverá la sostenibilidad al utilizar energía renovable para el funcionamiento de la bomba.

En consecuencia, todas estas medidas combinadas tienen el potencial de transformar la gestión del riego en la finca, mejorando la productividad y reduciendo los costos operativos y el impacto ambiental.

Capítulo 4. IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES Y PLANTACIÓN FOTOVOLTAICA

En este capítulo, se presenta una descripción detallada acerca de dos implementaciones de tecnologías avanzadas en la agricultura. Se centra en la utilización de sensores inteligentes para optimizar el riego y la fertilización, asegurando que las plantas reciban los recursos necesarios de manera eficiente.

Adicionalmente, se describe la instalación de una planta fotovoltaica que alimenta una bomba de agua eléctrica, reduciendo la dependencia de la red eléctrica y promoviendo la sostenibilidad ambiental. Todas estas innovaciones contribuyen a mejorar la eficiencia y productividad de las explotaciones agrícolas.

4.1 IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES

La implementación de sensores inteligentes en los sistemas de riego y fertilización permite una gestión precisa y basada en datos, asegurando que las plantas reciban exactamente lo que necesitan para crecer de manera óptima.

Siguiendo el exitoso modelo del proyecto BrioAgro Aqua⁶⁶ expuesto previamente, utilizaremos sensores de humedad del suelo, temperatura y conductividad eléctrica del suelo para proporcionar la información necesaria y maximizar la eficiencia del riego y la aplicación de fertilizantes. Este enfoque nos permitirá alcanzar resultados similares en términos de ahorro de recursos y mejora en la productividad.

⁶⁶ BrioAgro Technologies (s. f.)

En resumen, el proyecto de BrioAgro Aqua a través de estos sensores junto con información climática es capaz de aprovechar las horas de tarifa eléctrica reducida, que cambian cada día. De esta forma, el riego se realiza al precio de la electricidad más barato, es decir, consiguiendo incluso una reducción del 50% en el gasto eléctrico. No obstante, en nuestro proyecto de explotación no sería relevante, al no contar la finca con suministros eléctrico.

El sistema de BrioAgro se incorpora al sistema de riego mediante la conexión a cualquier tipo de electroválvula. El controlador es 12.24, AC-CD. Utiliza el sistema Latch para la activación robotizada del riego y fertirrigación en todos los sectores. Es capaz de controlar varios contadores, tanto generales como de fertilizantes. No tiene un número determinado de depósitos de fertilizantes que pueda controlar, podemos incorporar todo lo necesario. Teniendo en cuenta que dispone de detectores de nivel.

El proyecto de BrioAgro ya ha sido implementado con éxito en numerosas explotaciones agrícolas y cuenta con clientes relevantes en el sector alimentario, como Don Simon, Florette y Biocampo entre otros.

A continuación, se explicará brevemente el tipo de sensores que se emplearan junto con una breve descripción de su funcionamiento, así como con el número de sensores de cada tipo que se necesitan para la correcta optimización de la producción agrícola:

En línea con lo expuesto, los sensores de conductividad eléctrica del suelo miden la salinidad terrestre, un indicador importante para analizar la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas. En la práctica, estos sensores se colocan en varios puntos del campo para monitorear la salinidad del suelo. De esta forma, los datos obtenidos indican la cantidad de nutrientes disponibles y si hay acumulación de sales que podrían ser perjudiciales.

Con base en los datos suministrados, se puede ajustar la aplicación de fertilizantes para mantener un balance óptimo de nutrientes en el suelo, asegurando que las plantas reciban los nutrientes necesarios sin sobre fertilización, ya que, está podría dañar tanto el cultivo, como el suelo.

En consecuencia, el sistema expuesto permite aplicar fertilizantes de manera precisa y eficiente, mejorando la absorción de nutrientes por parte de las plantas y ayudando a prevenir la salinización del suelo, una condición que puede reducir significativamente la productividad del cultivo⁶⁷.

En este punto, resulta relevante destacar que los sensores de temperatura en la agricultura inteligente son cruciales para monitorear las condiciones ambientales y del suelo. Estos dispositivos permiten a los agricultores obtener datos precisos sobre la temperatura, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre el riego, la siembra y la protección contra heladas. De esta forma, al mantener un control adecuado de la temperatura, se puede optimizar el crecimiento de los cultivos y aumentar la productividad. Estos sensores contribuyen significativamente a la eficiencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas⁶⁸.

En la misma línea, los sensores de humedad del suelo son dispositivos que miden el contenido de agua en el suelo. Estos sensores proporcionan datos en tiempo real sobre la disponibilidad de agua; información que es crucial para planificar y gestionar el riego de manera efectiva.

En la práctica, los sensores de humedad del suelo se instalan a diferentes profundidades y en varios puntos del olivar para obtener una visión detallada del estado hídrico del suelo. Los datos recopilados de esta forma se envían a un sistema central que los analiza y determina cuándo el suelo necesita riego. Basado en estos datos, el sistema de riego se activa automáticamente cuando los niveles de humedad del suelo caen por debajo de un umbral predefinido, que generalmente es alrededor del 40% de humedad volumétrica, ya que, la humedad ideal del suelo se sitúa entre el 50% y el 60%⁶⁹, asegurando que las plantas siempre tengan suficiente agua sin desperdiciar recursos.

⁶⁷ South Dakota Soil Health Coalition (2024)

⁶⁸ Synox (s. f.)

⁶⁹ Petar (2023)

Conforme a lo expuesto, este sistema no solo evita el riego excesivo y la escasez hídrica, conservando el agua y reduciendo los costes, sino que también mantiene niveles óptimos de humedad, mejorando la salud y el rendimiento de los olivos⁷⁰.

Hay diferentes tipos de sensores de humedad del suelo, si bien, nos centraremos en la presente investigación en los sensores que miden el contenido volumétrico de agua en el suelo. Dentro de estos, existen tres diferentes modalidades: los TDR, la sonda de neutrones y los de Capacidad.

En referencia a los modelos de sensores expuestos, indicar que el sensor de sonda de neutrones no será implementado debido a que su coste es aproximadamente 9200 euros por sensor, por lo que, su coste para el tipo de explotación analizada no resulta viable, ya que, su amortización tardaría más años que la propia vida útil del sensor⁷¹.

Respecto a los otros dos tipos de sensores indicados y efectuando una valoración comparación entre los TDR y los de Capacidad para determinar cuál debería implementarse en el olivar estudiado, se ha de considerar sus reducidas dimensiones y su presupuesto limitado, así como que no se requiere una precisión extrema. Por todo ello, la opción más adecuada serían los sensores de capacidad.

En consecuencia, los sensores de capacidad son más económicos y fáciles de instalar y su utilización es menos compleja, en comparación con los sensores TDR. Por ende, aunque los sensores de capacidad pueden ser menos precisos y tener limitaciones en la profundidad de medición, proporcionan suficiente información para gestionar eficazmente el riego en una explotación pequeña, como es nuestro caso.

⁷⁰ EOS Data Analytics (2022)

⁷¹ University of Minnessota (s. f.)

Dentro de los sensores de capacitancia existen diversos modelos. A continuación, se expondrá una tabla con diferentes modelos:

SENSOR	COSTE	VENTAJAS
SMEC-300 Sensor WaterScout ⁷²	357 €	-Alta precisión -Mide humedad, conductividad eléctrica y temperatura -Fácil de instalar
Spectrum WaterScout SM100 ⁷³	200 €	- Económico - Fácil de instalar
Sentek Diviner 2000 ⁷⁴	1200 € - 1500 €	- Portátil
Decagon Ech20 5TE ⁷⁵	567 €	- Mide humedad, temperatura y conductividad eléctrica - Fácil integración en sistemas automatizados de riego
PRISMAB AT32 ⁷⁶	248,58 €	- Económico - Mide humedad, conductividad eléctrica temperatura

⁷² AlphaOmega Electronics (s. f.)

⁷³ AlphaOmega Electronics (s. f.)

⁷⁴ HydroTerra (s. f.)

⁷⁵ SeedMech (s. f.)

⁷⁶ FuenteJardín (s. f.-b)

Tabla 3: Diferentes tipos de Sensores de Humedad del suelo Fuente: Elaboración Propia, 2024

Para la explotación que se estudia en este trabajo de fin de grado el PRISMAB AT32 se presenta como la mejor opción ya que mide no solo la humedad del suelo, sino también, la conductividad eléctrica y la temperatura, proporcionando datos valiosos para la gestión del riego y una gran reducción en los precios al desarrollar una tarea de tres sensores en uno. En suma, su precio es significativamente más bajo en comparación con otros sensores que ofrecen características similares.

Gracias a las directrices científico-técnicas para el establecimiento de sistemas de monitorización por sensores del contenido de humedad del suelo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas⁷⁷, podemos denotar que para la instalación de sensores PRISMAB AT32 en una explotación de olivar de 9 hectáreas en un suelo llano y homogéneo, se recomienda la colocación de los sensores a diferentes profundidades para obtener una visión completa del perfil de humedad del suelo. Según estas directrices, se sugiere instalar los sensores a profundidades de aproximadamente 25 cm, 50 cm y entre 70 y 90 cm. Esto permite un seguimiento óptimo de la humedad en la zona radicular y el control del drenaje y lixiviación de fertilizantes. Dado que se trata de un suelo homogéneo, se estima que entre 4 y 5 sensores distribuidos uniformemente serían suficientes para proporcionar datos representativos y garantizar una gestión eficiente del riego en toda la explotación.

⁷⁷ Consejo Superior de Investigaciones Científicas (2023)



Ilustración 12: Colocación del transmisor en la explotación Fuente: FuenteJardín, 2024



Ilustración 13: Colocación del sensor en la explotación Fuente: FuenteJardín, 2024

Como se puede observar en la Ilustración 12 y 13, los sensores se colocarán en pequeños agujeros escarbados en la tierra a una profundidad de aproximadamente 70 cm ya que buscamos conocer el estado de las raíces profundas y se colocara una estaca de madera próxima al sensor para sujetar el transmisor y que sea reconocible y visible por los trabajadores de la explotación.

Por todo ello, el gasto a incurrir en la compra de los sensores se estima entre unos 1036 y unos 1295 euros.

En otro orden de cuestiones, para que los sensores puedan compartir sus datos con la nube, es necesario un transmisor. Este transmisor recoge los datos generados por los sensores PRISMAB AT32 y los envía a una plataforma centralizada en la nube. Utilizando tecnologías de comunicación RS485, ya que es el formato de comunicación compatible con el sensor PRISMAB AT32, el transmisor permite que los datos sean accesibles en tiempo real desde cualquier ubicación.

Todo ello, facilita una gestión eficiente del riego, ya que los agricultores pueden analizar las condiciones del suelo y ajustar el riego automáticamente mediante sistemas de control integrados, optimizando así el uso del agua y mejorando la productividad del cultivo.

A continuación, se expondrá una tabla con diferentes transmisores validos con el sensor PRISMAB AT32 para analizar sus diferentes precios y cuál es el óptimo para la implementación en nuestra explotación.

TRANSMISOR	COSTE	VENTAJAS

PRISMAB TRANSMISOR LINK V2.3 ⁷⁸	507 € Oferta: 629 € Transmisor + sensor PRISMAB AT32	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñado específicamente para el sensor PRISMAB AT32 - Fácil instalación y configuración - Autonomía de 3 años con 4 pilas AA - No requiere cuotas mensuales ni tarjeta SIM
Decagon Em50 Datalogger ⁷⁹	500 - 700 €	<ul style="list-style-type: none"> - Compatible con sensores RS485 - Almacenamiento de datos integrado - Fácil configuración
Rain Bird ESP-TM2 Exterior ⁸⁰	140 €	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil de usar y configurar - Compatible con varios sensores de humedad - Control automatizado de riego
Netafim NMC Pro ⁸¹	6800 €	<ul style="list-style-type: none"> - Puede abrir y cerrar electroválvulas desde el propio transmisor - Gestión avanzada de riego - Compatible con múltiples tipos de sensores

⁷⁸ FuenteJardín (s. f.-a)

⁷⁹ Wafer Sensor (s. f.)

⁸⁰ RiegoPro (s. f.)

⁸¹ Land&Water (s. f.)

Tabla 4: Diferentes Transmisores válidos para el sensor PRISMAB AT32 Fuente: Elaboración Propia, 2024

Por lo expuesto, para la transmisión de datos se presentan como las mejores opciones tanto el modelo de Rain Bird como el de PRISMAB. Sin embargo, el modelo de Rain Bird pese a ser la opción más económica, conviene destacar que la necesidad de una conexión constante a Internet para acceder a todas sus funciones es un inconveniente importante, ya que, la finca no dispone de internet. Esta desventaja, junto con la falta de integración directa con plataformas móviles avanzadas, hacen que el transmisor PRISMAB sea una opción superior para nuestras necesidades específicas.

En este sentido, el transmisor PRISMAB permite una conexión sencilla y rápida de los sensores a la nube mediante la red SigFox, sin necesidad de cuotas mensuales ni de acceso a Internet. Además, ofrece una autonomía de hasta cuatro años con cuatro pilas AA, lo que lo hace ideal para largas temporadas en el campo.

La red SigFox es una red de área amplia de baja potencia diseñada para conectar dispositivos IoT a la nube. Opera utilizando una tecnología de radiofrecuencia que permite la transmisión de pequeñas cantidades de datos a largas distancias con muy bajo consumo de energía. Los dispositivos SigFox envían datos a través de estaciones base que cubren amplias áreas geográficas eliminando la necesidad de conexiones Wi-Fi⁸².

El fabricante PRISMAB también ofrece junto con el sensor y el transmisor el uso de la aplicación PRISMAB que facilita el acceso a los datos en tiempo real desde cualquier dispositivo, permitiendo la configuración de alertas y la descarga de datos históricos. A través de la tecnología IoT, los datos se transmiten directamente a la nube sin intermediarios, lo que asegura una alta precisión y reducción de posibles errores. Además, ofrece un sistema de instalación Plug-and-Play, que simplifica la configuración inicial y el uso continuo,

⁸² McClelland, C. (2017)

garantizando que incluso los usuarios sin experiencia técnica puedan beneficiarse de sus capacidades avanzadas⁸³.



Ilustración 14: Sensor PRISMAB AT32 y transmisor LINK V2.3 Fuente: FuenteJardín, 2024

El coste de implementación por tanto de los sensores junto con los transmisores estaría entorno a los 2516 € y los 3145 € dependiendo si se instalan 4 o 5 sensores en la explotación.

4.2 PLANTACIÓN FOTOVOLTAICA JUNTO CON BOMBA DE AGUA

En el estado de la cuestión ya se han comentado los múltiples beneficios económicos de la implementación de placas fotovoltaicas en la explotación analizada, así como, la reducción de costes operativos de las operaciones agrícolas, disminuyendo con ello la dependencia de la red eléctrica y protegiendo a los agricultores contra la volatilidad de los precios de la energía y beneficios medioambientales como la disminución de emisiones de gases de

⁸³ PRISMAB (s. f.)

efecto invernadero y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Por ende, existen diferentes necesidades importantes a la hora de implementar una plantación fotovoltaica que deben ser analizados.

Como se ha expuesto en el capítulo 3, la finca recibe el agua por parte de una comunidad de regantes, lo que supone a la explotación aproximadamente un gasto cercano a los 3900 euros por campaña.

Ante esto, se propone el uso de una bomba vertical de agua eléctrica para extraer el agua del pozo que se encuentra en desuso en la finca y generar la electricidad que consume esta bomba a través de placas fotovoltaicas.

Si bien, con carácter previo se han de efectuar inicialmente los cálculos necesarios para conocer la potencia eléctrica de la que debe disponer la bomba de agua de extracción. En línea con esta cuestión, debemos analizar otras cuestiones adicionales, como las tuberías que se implementarían junto con las pérdidas de fricción, la eficiencia de la bomba y el caudal que bombearía la bomba.

Uno de los primeros análisis a realizar es conocer cuántos litros de agua por segundo extraerá la bomba del pozo. En este punto, conviene destacar que el consumo de agua en la campaña 2023 fue de 2845,8 m³, es decir, 2845800 litros de agua.

El tiempo de uso de la bomba se estimará en una hora y media al día, ya que en verano la bomba trabajara más horas debido a las altas temperaturas y en invierno habrá días que la bomba no hará falta que funcione ya que con las precipitaciones el olivar ya estará regado.

Por lo que, la bomba tendrá un caudal de:

$$Q = \frac{2845800 \text{ litros}}{365 \text{ dias} * 1,5 \frac{\text{Horas}}{\text{dia}} * 3600 \frac{\text{seg}}{\text{hora}}} = 1,444 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

Ecuación 1: Cálculo del Caudal en litros por segundo de la bomba eléctrica. Fuente: Elaboración Propia, 2024

El pozo posee una profundidad de 80 metros, pero debido a que queremos emplear una bomba que consiga llegar al riego por goteo necesitaremos una tubería, aparte de la de 80 metros, de 300 metros para conseguir llegar a la distribución central, la cual, tiene una apertura de 50 mm de diámetro.

Por lo que, debido a la larga extensión de la tubería en su conjunto consideraremos la fórmula de Hazen-Williams para calcular la pérdida de carga en tuberías debido a la fricción:

$$h = 10,674 * \left(\frac{Q}{C * D^{2,63}} \right)^{1,852} * L$$

Ecuación 2: Fórmula de Hazen-Williams. Fuente: Yepes, V. 2022

En esta fórmula h equivale a los metros de tubería que habría que alargarla debido a las pérdidas por fricción. La C es el coeficiente de Hazen-William el cual varía según el material de la tubería, la D es el diámetro interno de la tubería y la L, la longitud de la tubería.

Por lo tanto, para poder conocer la pérdida de carga en la tubería primero debemos seleccionar el tipo de tubería que se empleara. A continuación, se detallará en una tabla diferentes tipos de tuberías junto con su coste, en este primero vendrá reflejado el número de mm de diámetro y posteriormente el coste de metro de tubería, y ventajas:

TIPO DE TUBERÍA	COSTE	VENTAJAS
PVC (Cloruro de Polivinilo) ⁸⁴	32mm – 1,75 € 40 mm – 2,00 € 50 mm – 3,50 €	- Resistente a la corrosión y productos químicos - Fácil de instalar y conectar - Duradera
PPR (Polipropileno Copolímero Random) ⁸⁵	25 mm – 1,11 € 32 mm – 1,37 € 50 mm – 3,10 € 63 mm – 5 €	-excelente resistencia a la presión interna -Superficie Lisa y Baja Fricción -resistente a la corrosión y al incrustamiento de minerales
Polietileno Reticulado (PEX) ⁸⁶	32 mm – 2,66 €	- Muy flexible - Resistente a la corrosión y a la congelación - Fácil de instalar en espacios reducidos
PEAD (Polietileno de Alta Densidad) 10 bar ⁸⁷	25 mm – 0,97 € 32 mm – 1,21 € 50 mm – 3,13 € 63 mm – 3,88 €	- Muy flexible y ligero -Larga vida útil - Buena para aplicaciones agrícolas

⁸⁴ LeroyMerlin (s. f.)

⁸⁵ PecoMark (s. f.)

⁸⁶ GarciaRuiz (s. f.)

⁸⁷ LeroyMerlin (s. f.)

Tabla 5: Diferentes tipos de tubería. Fuente: Elaboración Propia, 2024

Para la implantación que se quiere llevar a cabo en la explotación de olivar, se hará una comparación entre la tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) y la tubería de polipropileno copolímero random (PPR) debido a que poseen ambos unos costes muy similares y bajos. Ambas opciones presentan características ventajosas, pero es crucial elegir la que mejor se adapte a las necesidades específicas de la finca.

La tubería de PPR se destaca por su excelente resistencia a la presión interna, situación que es ideal para sistemas de riego que requieren una alta durabilidad. Su superficie lisa reduce la fricción, facilitando un flujo eficiente de agua. Además, es resistente a la corrosión y al incrustamiento de minerales. Todo ello, la convierte en una opción confiable y duradera para sistemas de agua potable y riego⁸⁸.

Por otro lado, la tubería de PEAD ofrece ventajas adicionales significativas, especialmente en aplicaciones agrícolas. Su alta flexibilidad y ligereza facilitan la instalación en terrenos irregulares y dinámicos, reduciendo el riesgo de fracturas y mejorando el manejo. Además, el PEAD es altamente resistente a impactos y a la corrosión, asegurando una larga vida útil y minimizando la necesidad de mantenimiento⁸⁹. El PEAD es especialmente adecuado para terrenos agrícolas donde la durabilidad y adaptabilidad son esenciales.

Comparando ambas opciones, el PPR tiene un costo inicial más bajo y es adecuado para aplicaciones estándar de riego. Sin embargo, el PEAD, con su superior flexibilidad, durabilidad y resistencia, proporciona una mejor solución a largo plazo. Su capacidad para soportar condiciones difíciles y su compatibilidad con una amplia gama de temperaturas y presiones hacen del PEAD una elección más robusta y eficiente.

⁸⁸ Sinelec (s. f.)

⁸⁹ Structuralia (2020)

Puesto que tanto la tubería PEAD como la tubería PPR poseen el mismo coeficiente de pérdida de carga por fricción, igual a 150. Ahora se calculará usando la fórmula proporcionada en la ecuación 2 el número de metros de pérdida de carga por fricción para comprobar cuál es el diámetro más eficiente, si usar 50 mm para igualarlo a la apertura del sistema central o usar 63 mm con un acople para la apertura.

Para un diámetro de 50 mm, una longitud de 380 metros, un caudal de 0,00144 metros cúbicos partidos de segundo y un coeficiente de Hazen Williams igual a 150 el número de metros perdidos por carga por fricción es igual a 4,49 metros mientras que para un diámetro de 63 mm es igual a 1,457 metros.

A nivel de coste, para un diámetro de 50 mm el coste total sería de 1189,4 euros y para un diámetro de 63 mm de 1474,4 euros.

Aunque la tubería de 50 mm es más económica en términos de costo inicial, la mayor pérdida de carga por fricción puede afectar la eficiencia del sistema de riego. En este sentido, la tubería de 63 mm, aunque más costosa, ofrece una pérdida de carga significativamente menor, lo que mejora la eficiencia del sistema de riego y asegura un suministro de agua más uniforme y constante a lo largo de la longitud total de la tubería.

En términos de beneficio total para la implantación del sistema de riego por goteo en la explotación de olivar, la tubería de 63 mm es la opción más ventajosa a largo plazo. La menor pérdida de carga garantiza una mejor eficiencia operativa y un rendimiento óptimo del sistema, justificando el costo adicional inicial.

Para la implementación de la bomba primero hay que conocer cuántos caballos de vapor necesita la bomba para conseguir subir el agua. A continuación, en la ecuación 3 se mostrará la fórmula a seguir para el cálculo de la potencia de la bomba.

$$\text{Potencia (CV)} = Q * \frac{H + h + p}{450 * \text{Rendimiento total}}$$

Ecuación 3: Fórmula para el cálculo de la potencia de una bomba Fuente: Gargil, 2021

En la ecuación 3 la Q representa el caudal (litros/min), la H representa la altura vertical, la h representa la pérdida de carga y la p representa la punta de lanza. Por lo que, para el cálculo de la potencia debemos buscar el valor de la punta de la lanza y del rendimiento total de la bomba.

Los valores de punta de lanza en tuberías para riego suelen variar entre 1 bar y 2.4 bar⁹⁰ por lo que se elegirá un valor de 1.5 bar debido a que el caudal de la explotación agrícola es bajo.

En línea con lo expuesto, usaremos un rendimiento aproximado al 80% ya que es el valor sobre el que oscilan la mayoría de las bombas eléctricas. Asumiendo este valor del rendimiento obtenemos que la bomba al menos debe tener 19,97 HP de potencia, lo que, equivale a 20,25 CV.

A continuación, se desarrollará una tabla comparando distintos modelos de bombas eléctricas sumergibles compatibles con energía solar con una potencia superior a los 20,25 CV para así poder cumplir con los requisitos previamente calculados.

BOMBA	COSTE	CV / EFICIENCIA	VENTAJAS
Grundfos SQFlex 25 SQF-3 ⁹¹	2500 €	25 CV / 75%	-Alta durabilidad, diseño para pozos profundos
Grundfos SQFlex 40 SQF-4 ⁹²	2297,11 €	30 CV / 80%	-Capacidad de elevación alta -Ideal para aplicaciones agrícolas

⁹⁰ Sprinkler (s. f.)

⁹¹ Solar Electric (s. f.)

⁹² TheSolarStore (s. f.)

			-robustez y fiabilidad
Franklin Electric 6" High Capacity ⁹³	2835,44 €	30 CV/ 80%	Alta capacidad de flujo -Diseño resistente -Óptima para pozos profundos
Xylem Goulds 25GS50 ⁹⁴	2159, 24 €	25 CV / 78%	-Buena capacidad de flujo -Diseño duradero -Excelente para uso continuo

Tabla 6: Tipos de Bombas Eléctricas Sumergibles Fuente: Elaboración Propia, 2024

Analizando la tabla, la Grundfos SQFlex 40 SQF-4 se destaca como la mejor opción debido a su combinación de alta capacidad de flujo, durabilidad y eficiencia del 80%. Con una potencia de 30 CV, esta bomba garantiza una operación confiable y eficiente, adecuada para manejar las demandas de riego en grandes explotaciones agrícolas. El coste de 2297,11 € también es competitivo en comparación con las otras opciones, ofreciendo un excelente equilibrio entre coste y rendimiento.

⁹³ R.C. Worst (s. f.)

⁹⁴ Locke (s. f.)



Ilustración 15: Bomba Grundfos SQFlex 40 SQF-4 Fuente: Solar Electric, 2024

Conociendo la potencia final de la bomba, para comprobar el correcto funcionamiento del sistema de tuberías junto con la bomba de agua sumergible se ha llevado a cabo una simulación en EPANET. El resultado de la simulación es que se debería comprar las tuberías de 63 mm en vez de con 10 bares de resistencia con 16 bares de resistencia ya que en el último nodo de la tubería horizontal de 300 metros la presión que se obtiene es de 10,47 bar. En la ilustración 16 se puede observar que aparece que la altura total son 106,77 metros ya que se toma el punto de referencia en el fondo del pozo. Estos 106,77 metros de columna de agua equivalen a los 10,47 bares de presión.

Esto supondría un gasto adicional, considerando que el metro de tubería pasará a costar 4,58 euros el metro, en vez de 3,88 euros el metro. Lo que sería un coste total de 1740,4 euros.

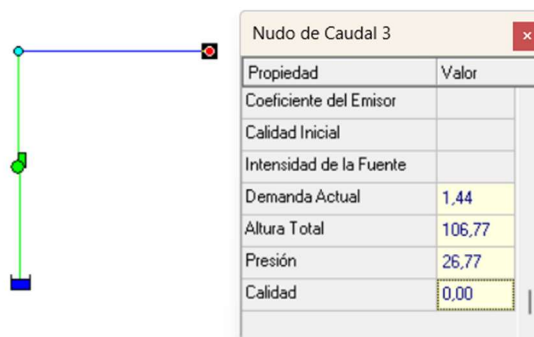


Ilustración 16: Comprobación funcionamiento a través de EPANET Fuente: Elaboración Propia, 2024

Consumo mínimo	Consumo máximo	Riego al día	Wh/día Mínimo	Wh/día Maximo
300 W	1400 W	1,5 h	450 Wh/día	2100 Wh/día

Tabla 7: Cálculo consumo de la bomba al día Fuente: Elaboración Propia, 2024

La bomba escogida posee un consumo máximo de 1400 W y un consumo mínimo de 300 W⁹⁵. Esta bomba como se mencionó previamente trabajara una media de 1.5 horas al día por lo que la bomba en un día tendría un máximo de consumo de 2100 W y un mínimo de consumo de 450 W.

Para alimentar este consumo, evaluamos varias opciones de placas solares disponibles en el mercado, considerando su potencia, eficiencia y coste. Todos los modelos se evaluarán contando con el dato proporcionado en el Capítulo 3 de datos históricos de que en Córdoba la media de horas de sol pico son 5,9 horas al día. A continuación, se presentan algunos modelos de placas solares adecuados:

Placa Solar	Potencia (W)	Eficiencia (%)	Costo por Placa (€)	Producción Diaria por placa (Wh)	Placas Necesarias
Renogy 300W Monocrystalline ⁹⁶	300	21	420	1770	2
LG NeON 2 325W ⁹⁷	325	19	298	1917.5	2

⁹⁵ TheSolarStore (s. f.)

⁹⁶ Renogy (s. f.)

⁹⁷ SuministrosdelSol (s. f.)

JA Solar 345W Mono PERC Half Cell ⁹⁸	345	17,2	165	2035.5	2
Trina Solar TSM DD05A 310W ⁹⁹	310	19,2	90	1829	2

Tabla 8: Tipos de Placas Solares Fuente: Elaboración Propia, 2024



Ilustración 17: Placa Fotovoltaica LG NeON 2 325W Fuente: Solar Electric, 2024

Para determinar cuál es la mejor opción a largo plazo para la explotación del olivar, considerando la garantía y la durabilidad se escogerá la placa solar LG NeON 2 325 W ya que esta ofrece garantía de 25 años tanto para el producto como para la potencia. Pese a que

⁹⁸ SuministrosdelSol (s. f.)

⁹⁹ SecondSol (s. f.)

no es la opción más barata la tecnología CELLO y el rendimiento mejorado en condiciones reales lo hacen una inversión sólida y duradera.

Al día una placa generaría 1917,5 W por lo que harían falta dos placas para así poder satisfacer el máximo consumo de la bomba de 2100W. Sin embargo, para garantizar un suministro continuo de energía, especialmente durante períodos sin luz solar, es esencial considerar el uso de baterías.

Las placas se colocarán orientadas hacia al sur debido a que Córdoba se encuentra dentro del hemisferio norte y orientando las placas hacia el sur se aprovecha al máximo las horas de sol. En este punto, conviene destacar que Córdoba, (España), se encuentra aproximadamente 37,88° de latitud norte.

Las placas se colocarán con una inclinación igual a la latitud del lugar donde se encuentra Córdoba debido a que según un estudio de la EIA¹⁰⁰ la inclinación óptima se alinea con la latitud geográfica de donde se coloca la placa. En consecuencia, la inclinación ideal sería sería cercana a 37-38 grados.

El tejado del cortijo de la Era Chinchilla es aproximadamente de unos 34° con orientación sur por lo cual nos permitirá que las placas trabajen prácticamente de la forma más óptima posible.

Las baterías almacenan la energía generada por las placas solares durante el día para su uso durante la noche o en días nublados, asegurando que la bomba pueda funcionar sin interrupciones. Para determinar la capacidad de la batería necesaria, primero calculamos el consumo diario y luego consideramos la autonomía requerida.

El consumo máximo de la bomba en un día es de 2100W y vamos a suponer 2 días de autonomía para asegurar el funcionamiento continuo. Por lo que, la batería debería tener una

¹⁰⁰ U.S. Energy Information Administration (2018)

capacidad de al menos 4,2 kWh para garantizar que la bomba tenga suficiente energía almacenada para operar durante dos días sin generación solar.

Para sistemas solares, las baterías de litio son una opción popular debido a su alta eficiencia, durabilidad y menor mantenimiento en comparación con las baterías de plomo-ácido. A continuación, se presentan algunas opciones de baterías compatibles con energía solar:

Batería Solar	Capacidad (kWh)	Costo (€)	Eficiencia (%)	Garantía (años)
Tesla Powerwall 2 ¹⁰¹	13,5	7417,84	96,4	10
LG Chem RESU 6.5 ¹⁰²	5,9	4820,43	90	10
BYD B-BOX HV 6.4 ¹⁰³	6,4	4529,10	90	10

Tabla 9: Tipos de Baterías de Litio Fuente: Elaboración Propia, 2024

¹⁰¹ TiendaSolar (s. f.)

¹⁰² AutoSolar (s. f.)

¹⁰³ TiendaSolar (s. f.)



Ilustración 18: Batería BYD B-BOX HV 6.4 Fuente: Tienda Solar, 2024

Para la explotación tanto la batería de litio de LG Chem RESU 6.5 como la de BYD B-BOX HV 6.4 serían buenas opciones ya que ambas comparten la misma eficiencia y garantía con un coste similar. Sin embargo, debido a que ofrece un coste más bajo nos quedaremos con la opción de BYD B-BOX HV 6.4.

Para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de energía solar, es esencial el uso de un controlador de carga solar. Este dispositivo regula el flujo de electricidad entre los paneles solares y las baterías, protegiendo estas últimas de sobrecargas y descargas profundas, lo que extiende su vida útil y optimiza el rendimiento del sistema. Además, un controlador de carga avanzado, como uno con tecnología MPPT, maximiza la eficiencia de carga al ajustar continuamente la resistencia eléctrica para mantener el punto de máxima potencia.

El controlador de carga que se ha seleccionado es el Regulador SmartSolar VICTRON MPPT 100/50 el cual es compatible junto con la placa y la batería seleccionadas y tiene un coste de 215 euros. Este regulador posee la tecnología MPPT mencionada previamente y tiene acoplado tecnología Bluetooth que permite monitorizar el estado del sistema solar

fácilmente desde cualquier dispositivo. Se puede monitorear la producción instantánea, diaria e histórica, el estado de la batería y el consumo de la instalación¹⁰⁴.

A continuación, en la siguiente ilustración se puede observar un pequeño esquema del sistema solar formado por las placas fotovoltaicas, el controlador de carga y la batería de litio.

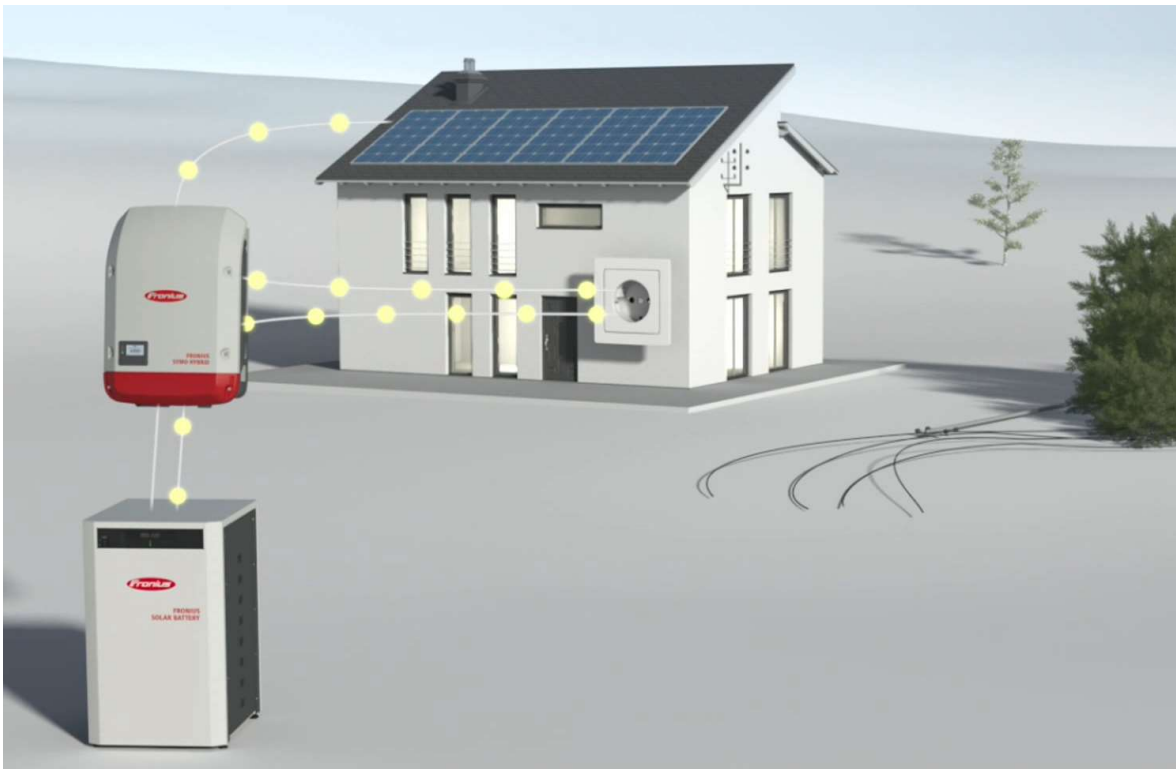


Ilustración 19: Esquema del Sistema Solar Fuente: Cambio Energético, 2024

¹⁰⁴ Monsolar (s. f.)

Para la conexión entre la bomba de agua y la batería, la energía almacenada en la batería se dirigirá directamente a la bomba sin necesidad de la implementación de un inversor. Debido a que la bomba puede operar en una amplia gama de voltajes y ya posee un propio inversor que facilita la conexión directa a la salida de la batería.

Por todo lo expuesto, el análisis efectuado en este capítulo resulta trascendental para comprender cómo las tecnologías modernas pueden transformar la agricultura tradicional y así gestionar las explotaciones en una práctica más eficiente y sostenible. En este proceso, como se ha expuesto, los sensores inteligentes y la energía fotovoltaica representan pasos clave hacia la automatización y el uso eficiente de los recursos en el sector agrícola.

Ahondando más en la cuestión expuesta, el siguiente capítulo se centrará en el análisis económico de estas implementaciones tecnológicas, para de esta forma evaluar la rentabilidad y el impacto financiero de su aplicación en la agricultura, concretamente, en la explotación objeto de estudio en la presente investigación.

Capítulo 5. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se realizará un análisis económico detallado de las implementaciones tecnológicas descritas en los capítulos anteriores. Adicionalmente, se evaluará la rentabilidad de la instalación de sensores inteligentes y la planta fotovoltaica en la explotación del olivar en Espejo, Córdoba.

Previamente al análisis económico, hay que conocer la vida útil de cada componente que se va a implementar para poder así calcular de manera más objetiva los costes de la implementación.

Se va a establecer un período de tiempo de 10 años, para poder así analizar los beneficios de una forma más detallada.

Las tuberías de Polietileno de Alta Densidad destacan por su durabilidad y resistencia, características que aseguran su longevidad y reducen significativamente la necesidad de reemplazo a lo largo del tiempo. Su capacidad para mantener un rendimiento óptimo bajo presión y en ambientes adversos garantiza que no será necesario sustituirlas durante los años de explotación previstos.

La bomba implementada es una bomba muy duradera y confiable para cualquier aplicación. Las protecciones integradas y el bajo mantenimiento requerido aseguran que esta bomba puede ofrecer una vida útil prolongada, minimizando el riesgo de fallos y garantizando un rendimiento eficiente durante muchos años.

Pese a ello, se implementarán dos bombas en vez de una para que se vayan alternando y en caso de algún tipo de falla en alguna de ellas se pueda garantizar el correcto funcionamiento del sistema y el cumplimiento de todo el tiempo de uso previsto.

La vida útil de los sensores se tasa en 8 años¹⁰⁵ por lo que habrá que contabilizar la compra de una segunda tanda de sensores a los 8 años de la implementación. Mientras que los transmisores asociados poseen una autonomía de 3 años¹⁰⁶ pero estos están alimentados por cuatro pilas AA por lo que no habría que comprar nuevos transmisores solo nuevas pilas.

Las placas solares LG NeON 2 325W tienen una vida útil bastante prolongada. Estas placas vienen con una garantía de producto y rendimiento de 25 años. Según LG, la eficiencia de salida de los paneles se mantiene al 98% durante el primer año, y luego disminuye en un 0.33% anual. Esto asegura que al menos un 95.03 % de su capacidad de generación original al final de los 10 años de uso previsto.

El controlador de carga está diseñado con la última tecnología para maximizar la eficiencia y prolongar la vida útil del sistema solar por lo que puede operar sin problemas durante más de 10 años, garantizando un rendimiento confiable y continuo.

Por su parte, la batería BYD B-BOX HV 6.4 está diseñada para proporcionar una durabilidad excepcional y estabilidad a largo plazo. Esta batería tiene una vida útil esperada de más de 10 años o aproximadamente 6000 ciclos de carga y descarga, lo que la hace ideal para aplicaciones de almacenamiento de energía en sistemas solares.

Como se ha expuesto en el Capítulo 4, el gasto de implementación del sensor PRISMAB AT32 tiene un coste inicial estimado entre 994,32 y 1242,9 euros, dependiendo de si la cantidad de sensores empleados en la finca es de 4 o 5, que, junto con los transmisores estaría entorno a los 2516 € y los 3145 €.

En la explotación se comenzará con la implementación de 4 sistemas de sensores y transmisores adjuntos, puesto que, se quiere primero comprobar la eficiencia del sistema y

¹⁰⁵ PRISMAB (s. f.-a)

¹⁰⁶ PRISMAB (s. f.-a)

en un futuro cuando se amortice esta instalación se planteará la compra de un 5 sensor más transmisor para así poder alcanzar la eficiencia plena.

A continuación, se recopilan en una tabla todos los precios de compra de los diferentes elementos a implementar citados en el capítulo 4 y se incluirán repetidos aquellos productos que su vida útil sea inferior al tiempo previsto de uso de la instalación.

	COSTE
Compra sensores y transmisores	2516 €
Compra reemplazo sensores en el 8 año de explotación	994,32 €
Compra Placas + Controlador de Carga	811 €
Compra Bomba	2297,11€
Compra segunda Bomba	2297,11 €
Compra Tuberías	1832 €
Compra Batería de Litio	4529,10 €

Tabla 10: Coste de las Implantaciones del Capítulo 4 Fuente: Elaboración Propia, 2024

Para estimar el costo de instalación del sistema de riego descrito en el capítulo 4.2 del documento de la finca "Era Chinchilla" es necesario considerar varios elementos, incluyendo la mano de obra, la maquinaria y los costes indirectos. Utilizando la base de precios proporcionada por el Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara¹⁰⁷, podemos obtener una aproximación detallada de estos costos.

UNIDAD SENSOR CON TRANSMISOR			
mt36bse150aaa	UNIDAD SENSOR PRISMAB AT32 con TRANSMISOR PRISMAB LINK V2.3 Conjunto de sensor PRISMAB AT32 con TRANSMISOR PRISMAB LINK V2.3, con capacidad del sensor multivariable, midiendo temperatura, conductividad eléctrica y humedad del suelo, alcance de 1 km en campo abierto y transmisión a través de la red Sigfox incluso instalación.	1,000	629,00
			629,00
	Materiales		629,00
	TOTAL PARTIDA		629,00
	Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEISCIENTOS VEINTINUEVE EUROS		
UNIDAD SENSORES DE RECAMBIO			
mt36bse150aaa	UNIDAD SENSOR PRISMAB AT32 unidad de sensor PRISMAB AT32 de recambio	1,000	248,58
			248,58
	Materiales		248,58
	TOTAL PARTIDA		248,58
	Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOSCIENTOS CUARENTA Y OCHO EUROS con CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS		

Tabla 11: Cálculo del Coste de implementación del Sistema Sensor y Transmisor Fuente: Elaboración Propia, 2024

Como se puede observar en la Tabla 11, el precio de la implementación del sistema de sensores y transmisores es de 877,58 euros de los cuales 248,58 euros son debido a que como se ha explicado previamente la vida útil de los sensores es de 8 años y habrá que comprar cuatro nuevos sensores.

¹⁰⁷ Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara. (s. f.)

E20AL SISTEMA DE IMPULSIÓN EN POLIETILENO				
E20TE060	TUBERÍA POLIETILENO DN63 mm 2 1/2"	m		
	Tubería de polietileno de alta densidad (PE-100), para uso agrícola, de 63 mm de diámetro nominal (2 1/2") y PN 16 atm, conforme UNE-EN 12201; para tuberías de alimentación de suministro de agua. Totalmente montada, incluyendo p.p. de piezas especiales (codos, manguitos, etc), y p.p de medios auxiliares. Conforme a CTE DB HS-4.			
O01OB170	Oficial 1ª fontanero calefactor	0,150 h	20,19	3,03
O01OB180	Oficial 2ª fontanero calefactor	0,150 h	18,39	2,76
P17PH040	Tubo polietileno AD PE100 PN-16 63 mm	1,000 m	4,58	4,58
P17YC070	Codo latón 90º 75 mm 2 1/2"	0,100 u	70,00	7,00
P17YE065	Enlace mixto latón macho 75 mm 2 1/2"	0,100 u	24,96	2,46
%PM0200	Pequeño Material	0,588 %	2,00	1,18
M05RN020	Retrocargadora neumáticos 75 cv	0,200 h	25,87	5,17
P01AA020	Arena de río 0/6 mm	0,284 m3	17,09	4,85
	Mano de obra			5,79
	Maquinaria			5,17
	Materiales			24,06
	Otros			1,18
	TOTAL PARTIDA			31,03

Asciede el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TREINTA Y UN EUROS con TRES CÉNTIMOS

Tabla 12: Cálculo del Coste de implementación del Sistema de Impulsión en Polietileno Fuente: Elaboración Propia, 2024

Como se puede observar en la Tabla 12, el precio por metro lineal de instalación de la tubería es de 31,03 euros por metro. Habiendo considerado para este precio medio de instalación los costes necesarios de piezas auxiliares de instalación y acople, así como los propios de excavación y soterramiento de la propia instalación en los terrenos existentes.

E17SFA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA

E17SFA040 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO CON BATERIA DE LITIO Y CONTROLADRO DE CARGA
Sistema de energía solar fotovoltaica aislado **modelo LG NeON2 325 W** para alimentación de bomba sumergible, con tensión de sistema 41 V, que consta de dos paneles solares fotovoltaicos monocristalinos, con una potencia pico total por panel de 325W pico. **Batería de litio BYD B-BOX HV 6.4 KWh** para energía solar, de tensión desde 200V hasta los 500V i/ controlador de carga de batería modelo **SmartSolar MPPT 100/50** que soporta hasta 50 A, para garantizar el correcto funcionamiento y protección de la batería, totalmente conectado a bomba sumergible instalada en pozo y funcionando.

O01OB200	Oficial 1ª electricista	12,000 h	19,38	232,56
O01OB220	Ayudante electricista	12,000 h	18,14	217,68
P15LFC120	Panel solar monocristalino modelo LG NeON2 325 W	2,000 u	298,00	596,00
P15LFB070	Batería de litio BYD B-BOX HV 6.4 KWh	1,000 u	4529,10	4529,10
P15LFR040	Controlador SmartSolar MPPT 100/50	1,000 u	215,00	215,00
P15LFA010	Soporte aluminio 30-45° 1 panel	2,000 u	161,00	322,00
P15AD060	Conductor aislante RV-k 0,6/1 kV 50 mm2 Cu	40,000 m	20,92	836,80
P15LFA070	Caja 2-6 portafusibles incluido fusibles	1,000 u	45,65	45,65
P15GF190	Canaleta PVC tapa exterior 30x40 mm	6,000 m	5,38	32,28
P15GB060	Tubo PVC corrugado M 50/gp5	10,000 m	1,91	19,10
Mano de obra				450,24
Materiales				6595,93
TOTAL PARTIDA				7.046,17

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SIETE MIL CUARENTA Y SEIS EUROS con DIECISIETE CÉNTIMOS

Tabla 14: Cálculo del Coste de implementación del Sistema Solar Fuente: Elaboración Propia, 2024

Como se puede observar en la Tabla 13, el precio total de la instalación del Sistema Solar es de 7046,17 euros. En este precio se ha considerado la instalación de las placas fotovoltaicas en la cubierta del cortijo Era Chinchilla, así como su implementación con la batería de litio y el controlador de carga anteriormente descritos. Adicionalmente, en el precio estimado hemos considerado la conexión eléctrica al cuadro de la bomba sumergible.

A continuación, en base al cálculo de los precios anteriormente estimados pasamos a confeccionar el presupuesto total de inversión de las medidas a implementar en el cortijo Era Chinchilla.

Presupuesto de los sistemas a implementar en Era Chinchilla

Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	Pres	ImpPres
E17SFA	Capítulo		INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA	1	7.046,17	7.046,17
	Partida	u	SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO CON BATERIA DE LITIO Y CONTROLADOR DE CARGA	1,00	7.046,17	7.046,17
			Sistema de energía solar fotovoltaica aislado modelo LG NeON2 325 W para alimentación de bomba sumergible. con tensión de sistema 41 V, que consta de dos paneles solares fotovoltaicos monocristalinos, con una potencia pico total por panel de 325W pico. Batería de litio BYD B-BOX HV 6.4 KWh para energía solar, de tensión desde 200V hasta los 500V i/ controlador de carga de batería modelo SmartSolar MPPT 100/50 que soporta hasta 50 A, para garantizar el correcto funcionamiento y protección de la batería, totalmente conectado a bomba sumergible instalada en pozo y funcionando.			
			Total E17SFA	1	7.046,17	7.046,17
E20AL	Capítulo		SISTEMA DE IMPULSIÓN EN POLIETILENO	1	11.791,40	11.791,40
E20TE060	Partida	m	TUBERÍA POLIETILENO DN63 mm 2 1/2"	380,00	31,03	11.791,40
			Tubería de polietileno de alta densidad (PE-100), para uso alimentario, de 63 mm de diámetro nominal (2 1/2") y PN 16 atm, conforme UNE-EN 12201; para tuberías de alimentación de suministro de agua. Totalmente montada, incluyendo p.p. de piezas especiales (codos, manguitos, etc), y p.p de medios auxiliares. Conforme a CTE DB HS-4.			
			Total E20AL	1	11.791,40	11.791,40
GB	Capítulo		GRUPO DE CAPTACIÓN Y BOMBEO	1	5.387,27	5.387,27
GB	Partida		Conjunto de dos electrobombas modelo Grundfos SQFlex 40 SQF-4 l	1	5.387,27	5.387,27
			pozo, modelo Grundfos SQFlex 40 SQF-4, con una potencia de 30 CV, diseñadas para sistemas de energía solar con una potencia nominal máxima de 1,4 KW capaz de operar a profundidades significativas de hasta 120 m siendo alimentada por energía solar con voltajes de 30-300 VDC, todo instalado y funcionando.			
			Total Grupo bombeo	1	5.387,27	5.387,27
GB	Capítulo		INSTALACIÓN DE SENSORES Y TRANSMISORES	1	877,58	3.510,32
GB	Partida		Unidad de sensor PRISMAB AT32 con trasmisor PRISMAB LINK V2.3	4	629,00	2.516,00
			Conjunto de sensor PRISMAB AT32 con TRANSMISOR PRISMAB LINK V2.3, con capacidad del sensor multivariable, midiendo temperatura, conductividad eléctrica y humedad del suelo, alcance de 1 km en campo abierto y transmisión a través de la red Sigfox incluso instalación.			
GB	Partida		Unidad de sensor de recambio PRSMAB AT32	4	248,58	994,32
			Total instalación de sensores y transmisores necesaria	1	877,58	877,58
Total presupuesto				1	25.102,42	25.102,42

Tabla 15: Presupuesto de los sistemas a implementar en Era Chinchilla Fuente: Elaboración Propia, 2024

En línea con lo expuesto, la Junta de Andalucía ha destinado 50 millones de euros para modernizar el sector olivarero mediante la adquisición de maquinaria y equipamiento agrario. Estas ayudas forman parte del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Andalucía 2014-2020 y buscan mejorar el rendimiento, sostenibilidad y eficiencia energética de las explotaciones. Las subvenciones cubren el 50% de la inversión, pudiendo incrementarse hasta un 90% en ciertos casos específicos, con un máximo de 150.000 euros por solicitud. Con estas medidas se espera beneficiar a más de 2.500 profesionales del sector¹⁰⁸.

En línea con lo expuesto, la implementación de sensores PRISMAB AT32, transmisores PRISMAB LINK V2.3, placas fotovoltaicas, bomba eléctrica sumergible y una batería de litio sería altamente elegible para la subvención del PDR, debido a su alineación con los objetivos de modernización tecnológica, eficiencia en el uso de recursos y sostenibilidad ambiental. La subvención cubriría el 50% de la inversión lo que ayudaría mucho a agilizar la amortización de estos elementos.

Como se puede observar en la Tabla 15, el coste total del presupuesto sería de 25102,42 euros por lo que la subvención sería de 12551,21 euros.

Posteriormente al cálculo de la subvención por parte del PDR se procede a desglosar la mejora de costes de explotación que se generará con las implementaciones del capítulo 4.

Como se menciona previamente en el capítulo 3, la empresa Agrícola Cubas realiza el mantenimiento a los olivos, que supone un gasto para la finca de 2920,41 euros.

En este punto, centrándonos en el uso de fertilizantes, aproximadamente 1000 de los 2920,41 van destinados en el tratamiento foliar del olivo, como se puede evidenciar en la Tabla 1, gracias a la aplicación de la Agricultura 4,0 el uso de fertilizantes desciende en un 7%. Por ello, asumiremos que el coste descenderá un 7% gracias a la aplicación del sensor que puede medir la conductividad eléctrica del suelo y conocer que nutrientes le hacen falta al olivar.

¹⁰⁸ Olimerca (2024)

Por lo tanto, se asumirá una reducción en el gasto de aproximadamente 70 euros por campaña en fertilizantes.

En referencia al consumo de agua, el coste que supone para la finca como se menciona previamente en el capítulo 3 es de 3893,37 euros. Por lo que, la implementación de las tecnologías del capítulo 4 supondrán un ahorro por campaña de 3893,37 euros.

Por lo tanto, las implementaciones analizadas generarán unos ingresos adicionales de 3963,37 euros por campaña.

En la campaña 2023, los ingresos que se recibieron en la finca Era Chinchilla fueron de 9189,52 euros. Esto significa que gracias a la implementación de las nuevas tecnologías la rentabilidad se ha visto aumentada en un 43,1%.

El VAN, valor actual neto, es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión¹⁰⁹.

La TIR es una métrica clave para evaluar una inversión. Te dice cuánto ganarás o cuánto perderás, en porcentaje¹¹⁰. Para calcularlo se han calculado previamente las cantidades de dinero que se obtendrán con esta inversión.

Para analizar los beneficios de la instalación se procederá a calcular el TIR y el VAN con y sin la subvención PDR para así analizar por si hubiera algún riesgo con los fondos del programa si esta implementación siguiese siendo beneficiosa.

¹⁰⁹ (Velayos, V. 2024)

¹¹⁰ Sevilla, A. (2024)

A continuación, se presentará una ilustración acerca de cómo se han obtenido los valores del VAN y el TIR

	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año	8 año	9 año	10 año
Fertilizantes	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Consumo de Agua	3893,37	3893,37	3893,37	3893,37	3893,37	3893,37	3893,37	3893,37	3893,37	3893,37
Gasto Sensores Recambio								-994,32		
TOTAL	3963,37	3963,37	3963,37	3963,37	3963,37	3963,37	3963,37	2969,05	3963,37	3963,37
Inversión Inicial con Subvención	-12054,05									
Inversión Inicial sin Subvención	-24108,1									
	VAN	26.585,33 €	14.531,28 €							
	TIR	30%	10%							

Ilustración 20: Cálculo del TIR y el VAN Fuente: Elaboración Propia, 2024

En la ilustración 20 se puede observar como en las primeras columnas se añaden los ingresos que se van a generar con la nueva implementación y como en el año 8 se descuenta el recambio de sensores nuevos que harán falta como se ha mencionado previamente, este recambio también está sustraído de la inversión inicial.

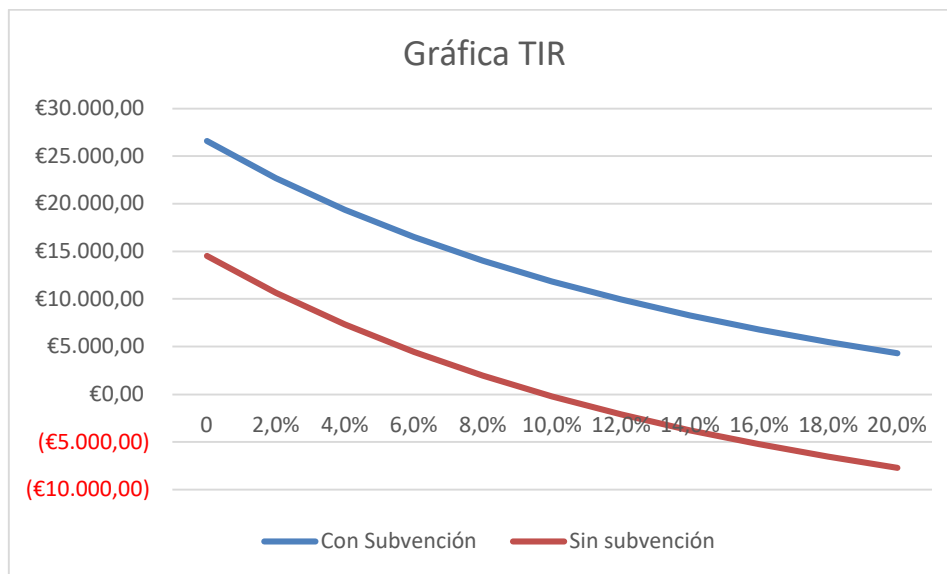


Ilustración 21: Gráfica TIR inversión con y sin subvención Fuente: Elaboración Propia, 2024

Como se puede comprobar en la ilustración 21, el VAN y el TIR obtenidos con la subvención es un TIR del 30% y un VAN de 26585,33 euros mientras que sin subvención los resultados obtenidos son un 10% en el TIR y un VAN de 14531,28 euros.

Debido a estos resultados, tanto si se obtiene la subvención como si se plantea el caso más desfavorable en el que no se obtienen las subvenciones, el TIR es lo suficientemente interesante como para acometer el proyecto de inversión.

A la hora de realizar estos cálculos se ha asumido que la inversión inicial proviene de fondos propios por lo que no hay ninguna tasa de intereses.

Adicionalmente a lo anterior, cabe destacar que la implementación analizada supondría evidentemente una mejora en la productividad del olivar, al aportar a los olivos los recursos y nutrientes necesarios en todo el ciclo de producción. Esta mejora de productividad no ha sido tomada en cuenta en el presente análisis económico por la limitación de su alcance, si bien, nos abre nuevas vías de investigación para trabajos futuros.

En línea con lo expuesto, el análisis económico del proyecto de modernización de la finca olivarera Era Chinchilla ha revelado varios aspectos clave que respaldan la viabilidad y los beneficios de la implementación de tecnologías avanzadas y energías renovables. A través del uso de sensores inteligentes y paneles solares que alimentan a la bomba de extracción de agua del pozo, se ha demostrado que es posible mejorar significativamente la eficiencia operativa, reducir los costos energéticos y minimizar el impacto ambiental. Aunque la inversión inicial es considerable, los ahorros a largo plazo y los incentivos gubernamentales hacen que el proyecto sea económicamente atractivo.

El presente capítulo de análisis económico nos proporciona una base sólida sobre la cual se apoyan las decisiones técnicas y estratégicas descritas en los capítulos anteriores. Ahondando más en esta cuestión, los hallazgos económicos refuerzan la necesidad y la eficacia de adoptar tecnologías de Agricultura 4.0 y energías renovables en la finca Era Chinchilla, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia del proyecto.

En el próximo capítulo, se presentarán las conclusiones generales del proyecto, sintetizando los hallazgos más relevantes y su impacto en la finca olivarera. Además, se apuntarán líneas de investigación para analizar los trabajos futuros, a fin de continuar mejorando y

optimizando la producción olivarera mediante la adopción de nuevas tecnologías y prácticas sostenibles.

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La investigación realizada en el trabajo consiste en abordar inicialmente los aspectos económicos y ambientales que rodean al cultivo del olivar, en una zona geográfica centrada en su cultivo. El análisis realizado nos ha permitido constatar que el actual sistema de explotación no es viable para preservar su continuidad para los pequeños explotadores y que actualmente existen diferentes medidas que pueden implementarse para conseguir mejorar las rentabilidades existentes.

Derivado de lo anterior, el objetivo del presente trabajo es abordar la sostenibilidad agraria en un olivar cordobés desde una perspectiva de eficiencia, considerando para ello sus características y la posible implantación de diversas tecnologías aplicadas en el cultivo del olivar que contribuirán a reducir el consumo de agua y potenciar la eficiencia energética, que serán elementos esenciales como estímulo para incrementar los beneficios económicos de la explotación y, con ello, preservar su continuidad.

Todo ello, lleva en una última fase del trabajo a reflexionar acerca de la implantación de tecnologías en las explotaciones, como herramienta clave para garantizar su continuidad.

Teniendo en cuenta todos estos argumentos, los resultados obtenidos permiten poner de manifiesto algunos aspectos relevantes a fin de fomentar la implantación de políticas medioambientales y energéticas relacionadas con el cultivo del olivar que contribuirán al desarrollo y modernización rural y a diseñar políticas que generen un desarrollo agrario en zonas centradas en el cultivo del olivo.

Especialmente remarcable resulta en este trabajo la implementación de un sistema de extracción y riego propio, apoyado por la instalación fotovoltaica que alimenta autónomamente a este sistema y que junto con la colocación de sensores y trasmisores permiten mejorar la productividad y rentabilidad del mismo.

Desde la práctica empresarial, consideramos esencial optimizar la explotación en los siguientes aspectos:

- Una mejora de la productividad, derivada de la optimización de procesos y mejora del rendimiento, lo que pasa por la introducción de innovaciones en la mecanización del olivar tradicional que, en suma, debe ir ligada a una formación de los agricultores en el uso de las instalaciones que pueden aumentar la eficiencia del sistema productivo.
- La prevención o mitigación de impactos ambientales, garantizando una relación eficiente con el entorno medioambiental, con una mayor prevención de la contaminación medioambiental al adaptarse a las necesidades del entorno, favoreciendo con todo ello, un cultivo más ecológico y lograr una competitividad elevada en los mercados.
- Una reducción de los costes de explotación y, en consecuencia, un mayor beneficio empresarial y así poder aumentar la competitividad en este sector.

Si bien, la implantación de las instalaciones analizadas está siendo muy reducida en las explotaciones olivareras de reducida dimensión, evidenciándonos la falta de concienciación sobre su conveniencia y de políticas de su fomento.

En este sentido, hay que tener en cuenta que la activación de políticas de apoyo a la generación de energía renovable y su posterior empleo afectaría positivamente también a la sostenibilidad de otros procesos de producción.

En definitiva, la evaluación de la sostenibilidad de sistemas complejos, como los agrarios, requiere la aplicación de nuevos enfoques analíticos; a su vez, su consecución requiere la implementación de nuevas herramientas y tecnologías que, minimizando los impactos negativos sobre los recursos naturales, satisfagan realmente las necesidades de los agricultores actuales sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras.

En este contexto, los trabajos futuros se centrarán en la profundización y ampliación de las tecnologías y políticas descritas en este trabajo, explorando nuevas vías para incrementar la sostenibilidad y eficiencia del olivar.

Otro de los posibles trabajos futuros a realizar consistiría en el estudio de todas las gomas del riego por goteo para la posterior implantación de reguladores de presión para así poder obtener una presión ideal en el sistema del riego y poder mejorarlo todavía más.

En línea con lo expuesto, un trabajo a futuro desarrollable que automatizaría todas las tecnologías implementadas sería el desarrollo de un programa que recibiendo los datos a través de los transmisores mandara una señal a la bomba para su activación o apagado dependiendo de las necesidades del olivo. Así, la eficiencia del olivar aumentaría ya que en el sistema propuesto sería manualmente un trabajador de la finca el que debería activar o desactivar la bomba en función de los parámetros de la app PRISMAB.

En definitiva, la implantación de tecnologías y herramientas digitales en las explotaciones olivareras favorecerá el camino para alcanzar los objetivos empresariales de la explotación, fomentando adicionalmente una mejora medioambiental que incidirá directamente en una mayor calidad del producto y, todo ello, contribuirá a la pervivencia de dichas explotaciones.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acciona. s. f. «¿Qué es la Energía Solar Fotovoltaica y cómo funciona?»
- Agencia Andaluza de la Energía. 2024. «Energía de la biomasa y biogás».
- Agencia Andaluza de la Energía. s. f. «Energía de la biomasa».
- Agencia Internacional de Energía Renovable. 2022. «Renewable Power Generation Costs in 2022».
- Agencia Internacional de Energías Renovables. 2024. «Estadísticas de Energía Renovable 2024».
- Agencia Internacional de la Energía. 2024. «Renewables 2023: Analysis and forecasts to 2028».
- AlmaRural. s. f. «La cantidad de agua ideal para un olivo».
- AlphaOmega Electronics. s. f.-a. «SM100 Sensor de Humedad de Suelo WaterScout».
- AlphaOmega Electronics. s. f.-b. «SMEC-300 Sensor WaterScout para Humedad de suelo, CE y Temperatura».
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, J. C. 2021. «Characterising the Agriculture 4.0 Landscape—Emerging Trends, Challenges and Opportunities». *Agronomy*, 11(4), 667.
- Association of Equipment Manufacturers. 2021. «Environmental Benefits of Precision Agriculture».
- AutoSolar. s. f. «Batería Litio LG Chem Resu 6.5».
- BASF. 2022. «Ventajas de la Agricultura 4.0 y la gestión de fincas».
- BrioAgro Technologies. s. f. «Olive grove irrigation».
- Caja de Ingenieros. 2022. «¿Qué es el LCOE y para qué sirve?»
- Capital. 2024. «La inflación de España es un 45% superior a la media de la zona euro».
- Casey, T. 2023. «Floating Solar Poised For World Domination, With Tracking».
- Clark, E. 2023. «¿Qué son las horas pico de sol?»

- Climate Data. 2021. «Clima Espejo (España)».
- Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara. s. f. «Generador de Precios de la Construcción».
- Consejo de Ministros. 2021. «El Gobierno impulsa las energías renovables y el hidrógeno verde». *La Moncloa*.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 2023. «Directrices científico-técnicas para el establecimiento de sistemas de monitorización por sensores del contenido de humedad del suelo».
- Endesa. 2022. «Plantas solares flotantes: una alternativa más para generar energía renovable».
- EOS Data Analytics. 2022. «Sensores De Humedad Del Suelo: ¿Para Qué Sirven?»
- ESR Solar. 2023. «Guía completa del autoconsumo solar fotovoltaico 2023».
- European Commission. 2023. «EU Agricultural Outlook 2023-2035». *Agriculture and Rural Development*.
- Ferrer, J. 2024. «106 embalses españoles, autorizados a instalar paneles solares flotantes». *el Periódico*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2023. «The State of Food and Agriculture».
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2024. «Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura».
- FuenteJardín. s. f.-a. «PRISMAB LINK V2.3».
- FuenteJardín. s. f.-b. «PRISMAB SENSOR DE SUELO AT32 + TRANSMISOR LINK V2.3».
- FuenteJardín. s. f.-c. «PRISMAB Sensor de suelo AT32. Humedad, conductividad y temperatura».
- Fundación Aquae. 2023. «Ventajas y desventajas de la energía solar».
- Futuro Eléctrico. s. f. «Energía solar híbrida : Qué es, tipos, ventajas y aplicaciones».
- GarciaRuiz. s. f. «RAYPER barra tubo 5 metros PEX-a BARBI de 32 x 2,9 mm».
- Gargallo, A. 2021. «Análisis de viabilidad de instalación solar fotovoltaica para comunidad de vecinos». *Universidad de Zaragoza*.

- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. 2010. «Precision agriculture and food security.» *Science*, 327, 828-831.
- Gouiza, N., Jebari, H., Reklouai, K. 2024. «IoT in Smart Farming: A review». *Springer Link*.
- HydroTerra. s. f. «Sentek Diviner 2000».
- IBM. 2024. «¿Qué es la ciencia de datos?»
- Infaoliva. 2024. «Observatorio de precios del aceite de oliva».
- Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. 2023. «Ficha del municipio Espejo (Córdoba)».
- Instituto Nacional de Estadística. 2022. «Censo Agrario 2020».
- International Monetary Fund. 2024. «World Economic Outlook: Moderating Inflation and Steady Growth Open Path to Soft Landing».
- Jude, T. 2024. «What Is the Best Angle for Solar Panels? (2024 Guide)».
- Kennedy, R. 2023. «Solar levelized cost of electricity is 29% lower than any fossil fuel alternative». *pv magazine*.
- La Energía del Futuro. 2023. «12 beneficios sorprendentes de la energía fotovoltaica que no conocías».
- La Moncloa. 2024. «¿Qué es la Política Agraria Común (PAC)?»
- Land&Water. s. f. «Netafim NMC-PRO Irrigation Controller».
- LeroyMerlin. 2024. «Tubería polietileno alimentaria 50 mm 10 bar 100m PE100 alta densidad AENOR».
- LeroyMerlin. s. f.-a. «Tubería polietileno alimentaria 10 bar 100m PE100 alta densidad AENOR».
- LeroyMerlin. s. f.-b. «Tuberías de PVC evacuación».
- Lezoche, M., Hernandez, J. E., Alemany Díaz, M. D. M. E., Panetto, H., & Kacprzyk, J. 2020. «Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture». *Computers in Industry*, 117, 103187.
- Llberia Hydraulic Solutions. 2020. «Características Técnicas Generales del Polietileno».
- Llamas, M. 2024. «El problema del campo se llama PAC». *The Objective*.

- Locke. s. f. «25GS50 - Goulds Pumps GS Liquid End».
- Marouani, I., Guesmi, T., Alshammari, B.M., Alqunun, K., Alzamil, A., Alturki, M., & Hadj Abdallah, H. 2023. «Integration of Renewable-Energy-Based Green Hydrogen into the Energy Future». *Processes*, 11(9), 2685.
- McClelland, C. 2017. «IoT Connectivity - Comparison of LoRa, SigFox, RPMA, and other LPWAN Technologies».
- Merino, R. 2022. «El sector agrícola acapara el 82,1% del agua consumida en España».
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2023. «Una visión global de la agricultura española a través del análisis del censo agrario 2020, Informe de análisis 2023».
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2024. «Política Agraria Común (PAC)».
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2022. «Planes Hidrológicos del tercer ciclo de planificación (2022-2027)».
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2024a. «El Gobierno aprueba el real decreto que regula la instalación de plantas fotovoltaicas flotantes en embalses en el dominio público hidráulico».
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2024b. «Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI)».
- Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. 2019. «Sensing, Smart and Sustainable Technologies for Agri-food 4.0». *Computers in Industry*, 108, 21-36.
- Momir, S. 2023. «Application Possibilities of Data Science Tools in Agriculture: A Review.»
- Monsolar. s. f. «Regulador SmartSolar VICTRON MPPT 100/50 para 12/24V y 50A».
- Morillo, Y. s. f. «Energía solar fotovoltaica : Qué es, cómo funciona, usos y aplicaciones».
- Mouhib, E., Fernández-Solas, Á., Pérez-Higueras, P. J., Fernández-Ocaña, A. M., Micheli, L., Almonacid, F., & Fernández, E. F. 2024. «Enhancing land use: Integrating bifacial PV and olive trees in agrivoltaic systems». *Applied Energy*, 359, 122660.
- Olimerca. 2024. «Andalucía destina 50 millones de euros para modernizar el olivar».
- Organización de Consumidores y Usuarios. 2024. «Baja el IVA del aceite al 0%».
- PecoMark. s. f. «Tubería polipropileno copolímero random PP-R».
- Petar. 2023. «Los mejores medidores de humedad para comprobar el suelo de los olivos».

- Powen. 2023. «¿Cuántas horas de sol hay en España por provincias?»
- PRISMAB. s. f.-a. «AT32».
- PRISMAB. s. f.-b. «LINK V2.3 – Transmisor conectado a internet. 4 pilas AA. 2 años de autonomía. Conectividad incluida».
- PRISMAB. s. f.-c. «PRISMAB Link».
- R.C. Worst. s. f. «Franklin Electric Tri-Seal 6" High Capacity 100FH5S6-PE Submersible Well Pump End Only 100 GPM 5.0 HP».
- Renogy. s. f. «300 Watt 12 Volt Solar Starter Kit with 30A PWM Charge Controller».
- RiegoPro. s. f. «Programador de Riego Rain Bird ESP-TM2 Exterior».
- Ritchie, H. 2022. «How does the land use of different electricity sources compare?»
- SAS. 2024. «Big data: Qué es y por qué es importante».
- SecondSol. s. f. «Trina Solar TSM DD05A 310W».
- SeedMech. s. f. «Sensor de humedad de suelo Decagon Ech20 5te».
- Sevilla, A. 2024. «Tasa interna de retorno (TIR): Qué es, fórmula y ejemplos».
- Sinelec. s. f. «¿Qué son las tuberías PPR? – Tipos y Usos».
- Solar Electric. s. f. «Grundfos SQFlex 25 SQF-3 Centrifugal Submersible Solar Pump».
- Solar Power Systems. 2024. «The Ascendance of Floating Solar Farms in Powering the Future».
- SolarPlak. 2024. «La energía solar en el sector agrícola: beneficios y aplicaciones».
- South Dakota Soil Health Coalition. 2024. «Soil Electrical Conductivity».
- Sprinkler. s. f. «Drip Irrigation Pressure Regulator».
- Structuralia. 2020. «Tuberías PEAD: qué son, para qué se utilizan y cuáles son sus ventajas».
- SuministrosdelSol. s. f.-a. «JA solar 345W Mono PERC Half Cell - JAM60S10-345/MR».
- SuministrosdelSol. s. f.-b. «Panel Solar LG NeON 2 Black 325W y 60 Células Monocristalino».

- Synox. s. f. «Intelligent soil management, temperature and humidity sensors for adapted agriculture».
- Talend. 2023. «Big Data and Agriculture: A Complete Guide».
- TechTarget. 2021. «Sensor Inteligente».
- TheSolarStore. s. f. «Grundfos SQFlex 40 SQF-4 Solar Submersible Water Pump».
- TiendaSolar. s. f.-a. «Batería de Litio BYD B-BOX HV de 6,4 kWh».
- TiendaSolar. s. f.-b. «Bateria TESLA POWERWALL 2 AC 13.5KWH».
- Torres, R. & Fernández, M. 2022. «El conflicto en Ucrania y la economía española». *Funcas*.
- Universidad de Córdoba. 2020. «Un nuevo sistema ayuda a los agricultores a realizar un riego más eficiente».
- University of Minnessota. s. f. «Sensores de humedad del suelo para la programación del riego».
- U.S. Energy Information Administration. 2018. «Most utility-scale fixed-tilt solar photovoltaic systems are tilted 20 degrees-30 degrees».
- U.S. Energy Information Administration. s. f. «Biomass and the environment».
- Valle de Odieta cooperativa agropecuaria. s. f. «Biogranja de Caparroso».
- Velayos, V. 2024. «Valor actual neto (VAN): Qué es y cómo utilizarlo».
- Vientos de Futuro. 2024. «La eólica y la agricultura, una convivencia sostenible».
- Villasur, S. 2023. «Esta es la diferencia entre el biogás y la biomasa y sus ventajas».
- Wafer Sensor. s. f. «Em50 Data Logger».
- Wikifarmer. 2023. «Big Data in Agriculture».