



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**“OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AOVE DE LA
ALMAZARA”**

Autor: Ignacio Cánovas Parra

Directora: Susana Ortiz Marcos

Madrid

Agosto 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el proyecto presentado con el título “Optimización de la línea de producción de AOVE de la almazara en la ETS de Ingeniería – ICAI de la Universidad Pontificia de Comillas en el curso académico 2024/25 es de mi autoría, original 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.: Ignacio Cánovas Parra

Fecha 30/08/2025



Autorizada la entrega del proyecto:

LA DIRECTORA DEL PROYECTO



Fdo. Susana Ortiz Marcos

Fecha 30/08/2025



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**“OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AOVE DE LA
ALMAZARA”**

Autor: Ignacio Cánovas Parra

Directora: Susana Ortiz Marcos

Madrid

Agosto 2025

OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AOVE DE LA ALMAZARA

Autor: Cánovas Parra, Ignacio.

Directora: Ortiz Marcos, Susana.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Resumen

El presente proyecto aborda la problemática de la ineficiencia en el proceso productivo de las almazaras tradicionales y plantea una propuesta tecnológica innovadora para optimizar la extracción del aceite de oliva virgen extra (AOVE). La propuesta consiste en el diseño de un sistema integral de sensores en fases clave de la producción del AOVE: NIR en línea para el análisis del rendimiento graso de la aceituna, NIR como sensor de humedad en la batidora, báscula en línea para medir el flujo másico tras la fase de batido y caudalímetro Coriolis para medir el flujo tras la fase de centrifugado vertical. El objetivo es la reducción de pérdidas de materia prima, la mejora del control y trazabilidad y el aumento de la rentabilidad. La investigación combina un análisis del contexto actual del sector oleícola y la almazara, la identificación de factores que condicionan los costes y la rentabilidad y la simulación del funcionamiento de la propuesta.

Palabras clave: AOVE, Almazara, Digitalización, Eficiencia Productiva, Innovación Tecnológica y Trazabilidad.

Introducción

Uno de los pilares fundamentales de la economía agroalimentaria española, el sector oleícola, se encuentra al frente de los retos consecuencia de la volatilidad de los precios del AOVE, la variabilidad de la producción por factores incontrolables y las exigencias del mercado internacional. La introducción de innovaciones tecnológicas para maximizar el rendimiento y amortiguar los efectos del mercado en la almazara, se ha convertido en una necesidad. El proyecto está enfocado en poner de manifiesto la transformación necesaria del sector oleícola y diseñar una propuesta tecnológica que funcione como herramienta de control y registro de datos de campaña, que constituya una ventaja competitiva en el mercado.

Definición del proyecto

Se inicia el proyecto desde la identificación de los problemas principales: las inexactitudes en el proceso de producción del AOVE, la carencia de trazabilidad operativa y la alta dependencia humana de las almazaras para la toma de decisiones basadas en experiencia. Como respuesta a los problemas identificados, que tienen consecuencias de pérdidas en materia prima, energéticas y económicas, se diseña una unidad central de procesamiento y visualización de datos, que implementa diferentes equipos de medición en línea para la obtención de resultados de alta precisión y en tiempo real. En el proyecto se incluye el desglose del proceso productivo de la almazara actual y el análisis de costes estructurales y operativos para la identificación de áreas donde la digitalización pueda generar un ahorro.

Descripción de la propuesta/herramienta

La propuesta tecnológica está compuesta por cinco elementos clave: el sensor NIR FOSS ProFOSS 2 para la determinación del rendimiento graso de la aceituna en tiempo real, el sensor NIR KPM MCT566 para el control de la humedad de la pasta de aceituna durante el batido, la báscula en línea Thayer Scale HWF para medir el flujo másico de pasta tras la batidora, el caudalímetro Coriolis Emerson Micro Motion ELITE para medir el flujo de AOVE tras la centrifugación vertical y el software SCADA y unidad PC central Siemens SIMATIC para la integración de los otros 4 sistemas. La unidad central y software se encarga de recoger y registrar los datos para su visualización en tiempo real y facilitar la toma de decisiones al maestro almazarero. La interconexión de los sistemas ofrece un control completo de la materia prima en la línea de producción y permite el cálculo del aceite potencial frente al que se extrae, lo que posibilita que la almazara mejore a través de la identificación de pérdidas y puntos críticos en el proceso productivo.

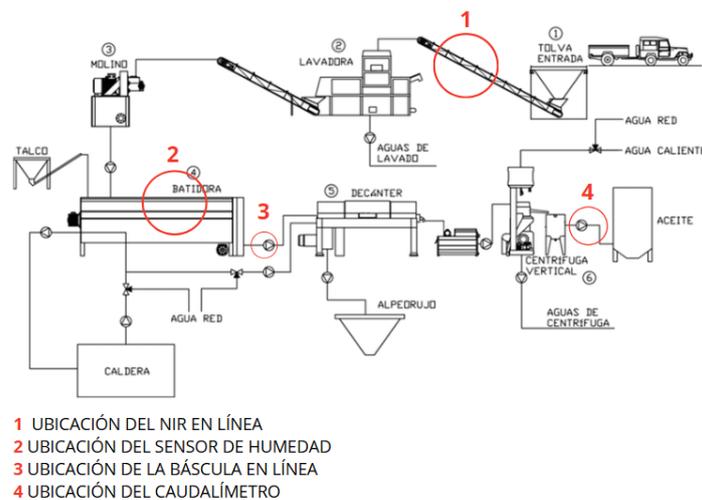


Ilustración 1. Ubicación de los dispositivos de medición. 2025 (Elaboración propia).

Resultados

Los resultados se centran en tres focos: diseño y simulación del sistema, viabilidad técnica y viabilidad económica de la propuesta. El diseño del diagrama de flujo de datos demuestra cómo los sensores generan continuamente información que es procesada por la unidad central y utilizada como herramienta para el ajuste de los parámetros de la línea de producción de la almazara.

La viabilidad técnica justifica la posibilidad de instalación de estos equipos y su compatibilidad con la maquinaria presente en la almazara, requiere la integración con el software del sistema y la formación del personal.

En términos de viabilidad económica, se realiza una estimación CAPEX de la propuesta, que sitúa la inversión inicial entre 110.000€ y 165.000€. Se calcula un ahorro estimado del 11'5% en los costes de producción relacionados con el consumo energético, gasto en personal y costes de control y trazabilidad. Se estima, para una almazara de un volumen de producción de más de 10 millones de kg de AOVE por campaña que aplique la propuesta, un ROI de 67'2% anual y un Payback de 1'5 años de la inversión inicial.

Por tanto, se proyecta una recuperación rápida de la inversión tanto por el ahorro potencial en costes de producción como por los ingresos adicionales derivados de un aumento del volumen de producción de AOVE por campaña por una mayor fidelización de agricultores y clientes.

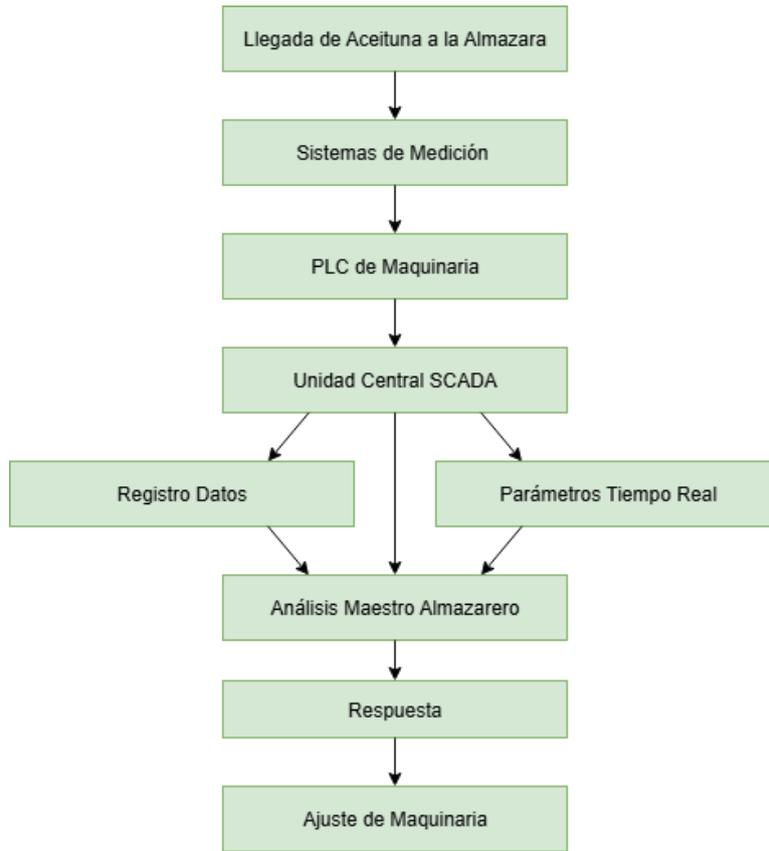


Ilustración 2. Diagrama de flujo del funcionamiento de la propuesta. 2025 (Elaboración Propia).

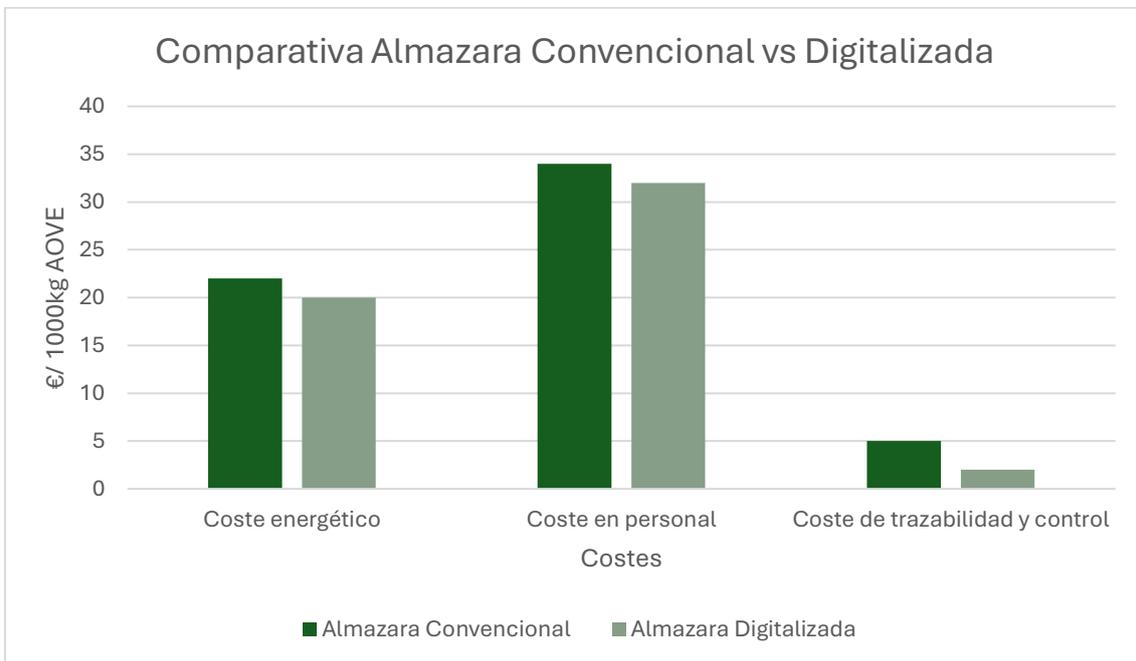


Ilustración 3. Gráfico de barras comparativo de estimaciones de costes de almazara convencional vs almazara digitalizada. 2025 (Elaboración propia de informes del MAPA, COI y Cátedra de Aceites de Jaén).

Conclusiones

El trabajo demuestra que la digitalización de las almazaras mediante sistemas avanzados de medición y análisis en tiempo real es técnica y económicamente viable. La propuesta consiste en el desarrollo de un sistema que, a través de una unidad central, integre 4 sensores (NIR para el rendimiento graso, NIR para el control de humedad en batidora, báscula en línea para el seguimiento del flujo másico tras el batido y caudalímetro tras el centrifugado vertical para contabilizar el AOVE producido) en partes clave del proceso de producción para garantizar mayor trazabilidad, control de calidad y permitir la mejora de la almazara a través de la identificación de puntos críticos del proceso. La propuesta supone una inversión inicial de entre 110.000€ y 165.000€ y representa un paso inevitable hacia la modernización del sector, permitiendo reducir pérdidas, optimizar recursos, generar ahorro de costes y garantizar una producción más sostenible. El proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7, 9 y 12), contribuyendo a la eficiencia energética, la innovación industrial y la reducción de residuos. A través del proyecto se propone la innovación tecnológica como solución a la situación actual y tendencias del mercado de AOVE en términos de producción, precios y competitividad. Se motiva a la implementación de la propuesta en una almazara real y a dar el siguiente paso a través el desarrollo de modelos predictivos con inteligencia artificial para automatizar la toma de decisiones.

OPTIMIZATION OF THE EVOO PRODUCTION LINE OF THE OIL MILL

Author: Cánovas Parra, Ignacio.

Supervisor: Ortiz Marcos, Susana.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

PROJECT SUMMARY

Abstract

This project addresses the inefficiency issues present in traditional olive mills and proposes an innovative technological solution to optimize the extraction of extra virgin olive oil (EVOO). The proposal consists of designing an integrated sensor system for key stages of EVOO production: an in-line NIR sensor for analyzing the fat yield of olives, an NIR sensor for moisture measurement in the malaxer, an in-line scale to measure mass flow after the malaxation phase, and a Coriolis flowmeter to measure flow after vertical centrifugation. The main goals are to reduce raw material losses, improve process control and traceability, and increase profitability. The research combines an analysis of the current olive oil sector context and mill operation of cost and profitability drivers, and a simulation of the proposed system's performance.

Keywords: EVOO, Olive Mill, Digitalization, Production Efficiency, Technological Innovation, Traceability.

Introduction

The olive sector, one of the cornerstones of the Spanish agri-food economy, faces challenges stemming from EVOO price volatility, production variability due to uncontrollable factors, and international market demands. The introduction of technological innovations to maximize yield and mitigate market impacts in olive mills has become a necessity. This project aims to highlight the required transformation of the sector and design a technological proposal that functions as both a monitoring and campaign date recording tool, ultimately providing a competitive advantage in the marketplace.

Project Design

The project begins with the identification of the main problems: inaccuracies in the EVOO production process, lack of operational traceability, and the heavy reliance on human expertise for decision-making in olive mills. In response to these issues, which result in raw material, energy and economic losses, a central processing and data visualization unit is designed. This unit implements different in-line measurement systems to obtain high-precision, real-time results. The project also includes a breakdown of the current production process in the olive mills and an analysis of structural and operating costs to identify areas where digitalization can generate savings.

Description of the Proposal

The technological proposal is composed of five key elements: the FOSS ProFOSS 2 NIR sensor for determining the fat yield of the olive in real time, the KPM MCT566 NIR sensor for monitoring the moisture of the olive paste during malaxation, the Thayer Scale HWF in-line scale to measure the mass flow of paste after malaxation, the Emerson Micro Motion ELITE Coriolis flowmeter to measure the EVOO flow after vertical centrifugation, and the Siemens SIMATIC SCADA and central PC unit for the integration of the other four systems. The central unit and software are responsible for collecting and recording data for real-time visualization and facilitating decision-making by the “maestro almazarero”. The interconnection of the systems offers complete control of the war material in the production line and allows the calculation of potential versus extracted oil, enabling the mill to improve through the identification of losses and critical points in the production process.

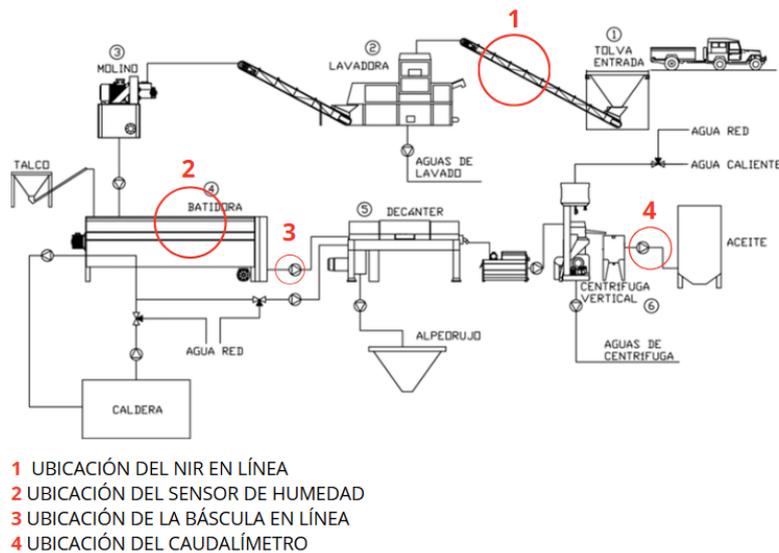


Ilustración 4. Location of the measuring devices. 2025 (Own elaboration).

Results

The results focus on three areas: system design and simulation, technical feasibility, and economic feasibility of the proposal. The design of the data flow diagram demonstrates how the sensors continuously generate information that is processed by the central unit and used as a tool for adjusting the parameters of the olive mill production line.

The technical feasibility justifies the possibility of installing this equipment and its compatibility with the machinery present in the olive mill. It requires integration with the system software and staff training.

In terms of economic feasibility, a CAPEX estimate of the proposal places the initial investment between €110,000 and €165,000. An estimated savings of 11.5% in production costs is calculated, related to energy consumption, personnel expenses, and control and traceability costs. For an olive mill with a production volume of over 10 million kg of EVOO per campaign that implements the proposal, an annual ROI of 67.2% and a payback period of 1.5 years for the initial investment are estimated.

Therefore, a rapid recovery of the investment is projected, both due to potential savings in production costs and additional income derived from an increased EVOO production volume per campaign, thanks to greater loyalty from farmers and customers.

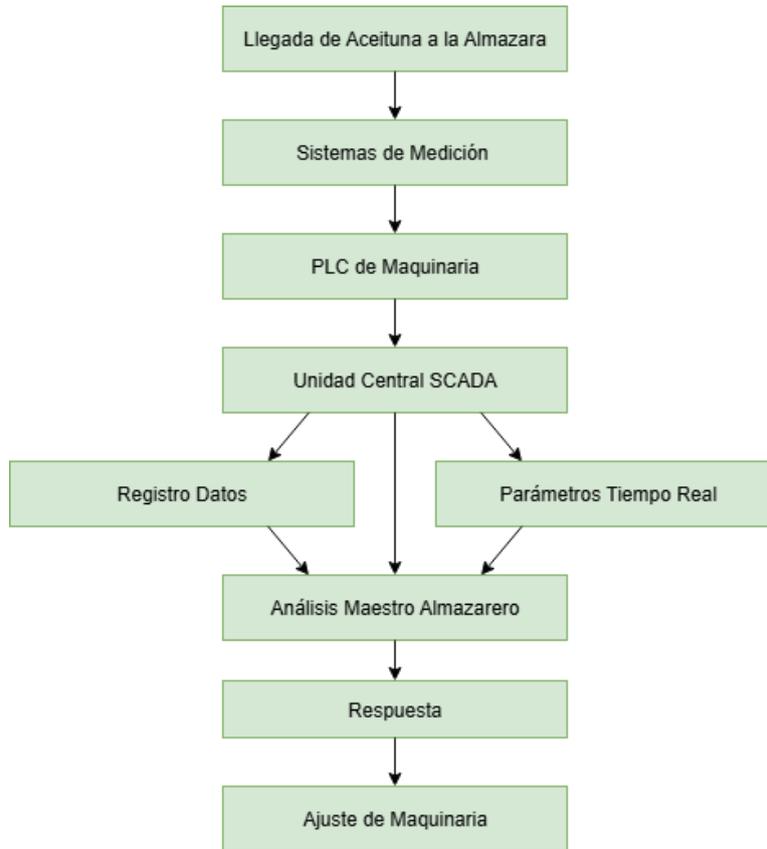


Ilustración 5. Flowchart of the proposal's operation. 2025 (Own elaboration).

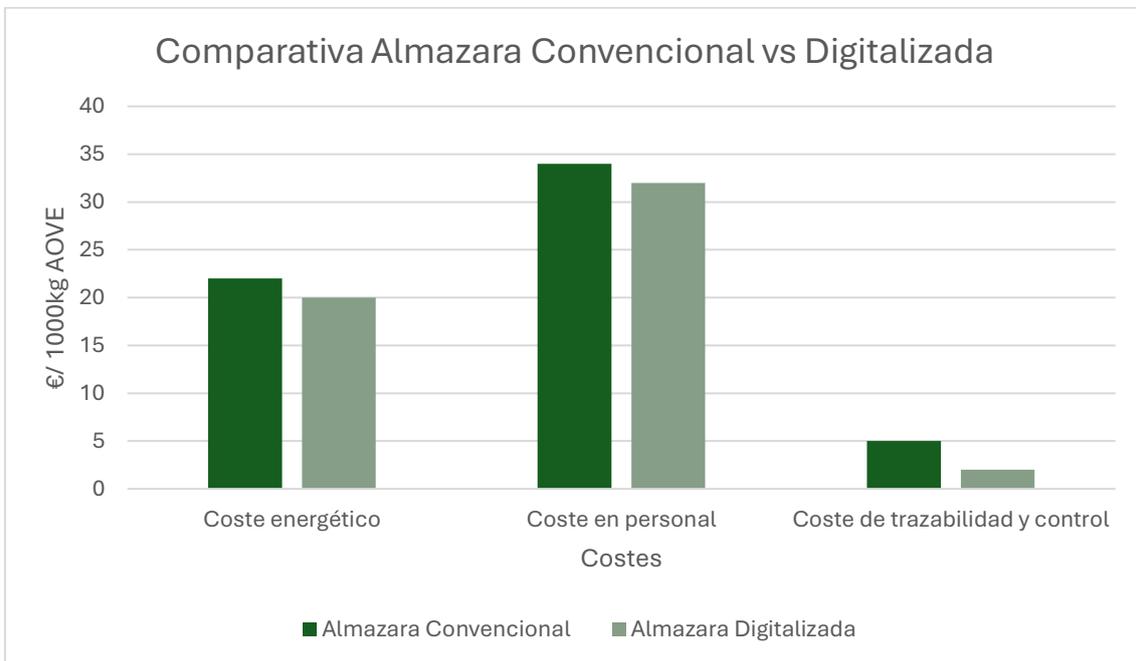


Ilustración 6. Comparative bar chart of cost estimates: conventional olive mill vs. digitalized olive mill. 2025 (Own elaboration based on reports from MAPA, IOC, and the Chair of Olive Oils of Jaén).

Conclusions

The study demonstrates that the digitalization of olive mills through advanced real-time measurement and analysis systems is both technically and economically viable. The proposal consists of developing a system that, through a central unit, integrates four sensors (NIR for fat yield, NIR for moisture control in the malaxer, an in-line scale for monitoring mass flow after malaxation, and a flowmeter after vertical centrifugation to quantify the EVOO produced) in key stages of the production process to ensure greater traceability, quality control, and enable improvement of the mill by identifying critical points in the process.

The proposal involves an initial investment between 110,000 and €165,000 and represents an inevitable step toward the modernization of the sector, allowing the reduction of losses, resource optimization, cost savings, and ensuring a more sustainable production. The project is aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs 7, 9 and 12), contributing to energy efficiency, industrial innovation, and waste reduction. Through the project, technological innovation is proposed as a solution to the current situation and market trend of EVOO in terms of production, prices, and competition. The implementation of the proposal in a real olive mill is encouraged, as well as taking the next step through the development of predictive models with artificial intelligence to automate decision-making.



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**“OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AOVE DE LA
ALMAZARA”**

Autor: Ignacio Cánovas Parra

Directora: Susana Ortiz Marcos

Madrid

Agosto 2025

Índice de la Memoria

1.	Capítulo I: Introducción y Objetivos del Proyecto	1
1.1.	Introducción al problema de investigación	1
1.2.	Justificación del estudio	3
1.3.	Objetivos específicos	4
1.4.	Metodología y alcance.....	5
1.5.	Estructura del proyecto	6
2.	Capítulo II: Contexto de la Industria del AOVE.....	8
2.1.	Importancia del AOVE en la economía agroalimentaria	8
2.2.	Análisis DAFO de la industria del AOVE en España.....	9
2.3.	Principales actores del sector: agricultor y almazara.....	11
3.	Capítulo III: Evolución del Precio del AOVE en las Últimas Campañas.....	14
3.1.	Conceptos clave para el análisis de precios, producción de AOVE	14
3.2.	Producción de aceite de oliva en España, Italia y Grecia	15
3.3.	Evolución de precios en origen del AOVE en España, Italia y Grecia	18
3.4.	Factores determinantes de la tendencia de precios del AOVE	19
3.5.	Impacto de la volatilidad del mercado en agricultores y almazaras.....	20
3.6.	Relación entre la volatilidad de precios del AOVE y la necesidad de optimización tecnológica en la almazara	22
4.	Capítulo IV: Proceso Actual de Producción de AOVE	23
4.1.	Diagrama de flujo de las fases de una almazara	23
4.2.	Fases del proceso de producción de AOVE en una almazara	23
4.2.1.	Recepción de la aceituna.....	23
4.2.2.	Limpieza y clasificación de la aceituna	25
4.2.3.	Recogida y análisis de muestras.....	27
4.2.4.	Almacenamiento intermedio en tolva	28
4.2.5.	Molturación.....	29
4.2.6.	Batido	30
4.2.7.	Extracción (Decanter-Centrifugación horizontal).....	32
4.2.8.	Separación final del aceite	33
4.2.9.	Almacenamiento del AOVE	34
4.3.	Principales fuentes de inexactitud y margen de mejora	36
4.4.	Impacto de la inexactitud y falta de trazabilidad sobre el agricultor y la almazara	38
4.5.	Márgenes de mejora a través de la implementación tecnológica y la automatización	39

5.	Capítulo V: Costes de Producción y Rentabilidad en la Almazara	42
5.1.	Costes de producción de la almazara.....	43
5.2.	Factores que afectan la eficiencia y rentabilidad	48
6.	Capítulo VI: Propuesta Tecnológica para la Mejora de la Producción de AOVE en la Almazara	53
6.1.	Problema y objetivo principal.....	53
6.2.	Innovaciones tecnológicas aplicables al proceso de producción.....	54
6.2.1.	NIR en línea para el muestreo de la aceituna.....	54
6.2.2.	Sensor de humedad en la batidora	58
6.2.3.	Caudalímetro y báscula en línea	59
6.3.	Arquitectura del sistema digital y recogida de datos.....	59
6.4.	Beneficios esperados: impacto en precisión y rendimiento	60
6.5.	Viabilidad técnica de la implementación	62
6.5.1.	NIR en línea para el análisis del rendimiento graso	62
6.5.2.	Sensor de humedad en la batidora	62
6.5.3.	Báscula en línea tras batido y caudalímetro tras centrifugación vertical..	63
6.5.4.	Sistema digital central	63
6.6.	Casos de referencia y benchmarking.....	65
6.6.1.	NIR en línea para análisis de rendimiento graso y humedad.....	65
6.6.2.	Báscula en línea para la pasta de aceituna	65
6.6.3.	Caudalímetro de aceite final producido.....	65
6.7.	Limitaciones técnicas de la propuesta	65
7.	Capítulo VII: Viabilidad Económica y Rentabilidad de la Propuesta	67
7.1.	Selección y justificación de los equipos tecnológicos propuestos	67
7.1.1.	NIR en línea para el análisis del rendimiento graso: FOSS Modelo ProFOSS 2	67
7.1.2.	Sensor de humedad NIR en la fase de batido: Sensor KTM Modelo MCT566	68
7.1.3.	Báscula en línea tras fase de batido: Báscula Thayer Modelo HWF	69
7.1.4.	Caudalímetro Coriolis tras fase de centrifugación vertical: Caudalímetro Emerson Modelo Micro Motion ELITE	70
7.1.5.	Ordenador central y software SCADA: Siemens SIMATIC WinCC Professional + SIMATIC Industrial PC	71
7.2.	Estimación de la inversión inicial (CAPEX) para la implementación de la propuesta	72
7.2.1.	NIR en línea para el análisis del rendimiento graso: FOSS Modelo ProFOSS2	72

7.2.2.	Sensor de humedad NIR en la fase de batido: Sensor KTM Modelo MCT566 73	
7.2.3.	Báscula en línea tras fase de batido: Báscula Thayer Modelo HWF	74
7.2.4.	Caudalímetro Coriolis tras la fase de centrifugación vertical: Caudalímetro Emerson Modelo Micro Motion ELITE	75
7.2.5.	Ordenador central y software SCADA: Siemens SIMATIC WinCC Professional + SIMATIC Industrial PC	76
7.3.	Amortización de la propuesta tecnológica	77
7.4.	Costes operativos de la propuesta tecnológica (OPEX)	78
7.5.	Evaluación Económica y Retorno de la Inversión: Comparativa entre Modelos de Almazara y Proyecciones de Ingresos	79
8.	Capítulo VIII: Simulación del Funcionamiento de la Propuesta en una Almazara	85
8.1.	Diagrama de flujo del funcionamiento de la propuesta.....	85
8.2.	Funcionamiento de la línea de producción de la almazara	86
8.3.	Funcionamiento de la propuesta.....	86
9.	Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones	88
9.1.	Resumen de hallazgos clave	88
9.2.	Implicaciones para el sector oleícola	89
9.3.	Próximos pasos y líneas de investigación futuras	90
10.	Capítulo X: Referencias	92
	Anexo Objetivos de Desarrollo Sostenible	101

Índice de figuras

Figura 1. Gráfica Evolución Precio Medio AOVE España (2019-2024). Poolred 2024.	2
Figura 2. Actores de la cadena de valor del AOVE. 2022, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Gobierno de España. [22].....	8
Figura 3. Análisis DAFO de la industria del AOVE en España. (Fuente de elaboración propia Canva, 2025).	9
Figura 4. Gráfico de la producción de aceite de oliva de los tres países productores de la UE. 2025 (Elaboración propia a través de los datos del Consejo Oleícola Internacional (IOC). [9].....	16
Figura 5. Media anual del índice SPEI en 2021, 2022 y 2023. 2025. Fuente: Banco de España [14].	18
Figura 6. Gráfico de la evolución de precio de AOVE en las últimas campañas es los tres principales productores mundiales. 2025 (Elaboración propia a partir de los datos oficiales de precios del IOC). [9]	18
Figura 7. Diagrama de flujo proceso almazara. (Fuente de elaboración propia, Draw.io, 2025).....	23
Figura 8. Báscula para pesaje de la aceituna. 2025 (Elaboración propia).	24
Figura 9. Criba vibrante. 2025 (Elaboración propia).	25
Figura 10. Despalilladora. 2025 (Elaboración propia).	25
Figura 11. Pila de desechos de la limpieza aceituna. (Elaboración propia).	26
Figura 12. Lavadora hidráulica. 2025 (Elaboración propia).	26
Figura 13. Mecanismo para recogida de muestras. 2025 (Elaboración propia).	27
Figura 14. Cintas elevadoras para tolva de almacenamiento previo a molino. 2025 (Elaboración propia).....	28
Figura 15. Interior molino de martillos. 2025 (Elaboración propia).	29
Figura 16. Cámara interior de batidora. 2025 (Elaboración propia).	31
Figura 17. Decanter bifásico desmontado para limpieza. 2025 (Elaboración propia almazara).	32
Figura 18. Centrifugadora vertical de una almazara. Fuente: Pieralisi. [21].....	34
Figura 19. Depósitos almacenamiento AOVE. 2025 (Elaboración propia).....	35
Figura 20. Esquema de la cadena de valor del AOVE. 2022, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación Gobierno de España. [22].....	43
Figura 21. Distribución estimada de los costes de producción de una almazara según la categorización del MAPA. 2025 (Elaboración propia).	44
Figura 22. Tabla de clasificación de costes de producción de una almazara. 2025 (Elaboración propia). [23] [24] [25]	44
Figura 23. Tabla de factores del control interno de los procesos de una almazara. 2025 (Elaboración propia).....	49
Figura 24. Tabla de costes unitarios de las almazaras, según tamaño, en la campaña 2018/19 en €/kg AOVE. [24]	50
Figura 25. Tabla de costes unitarios de las almazaras, según tamaño, en la campaña 2019/20 en €/kg AOVE. [24]	50
Figura 26. Diagrama de la variabilidad en los rendimientos de la aceituna según ubicación el árbol. 2024 Fuente. Cooperativa Colival. [36]	56
Figura 27. Diagrama del proceso de una almazara con NIR en línea. [38].....	57

Figura 28. Tabla resumen de beneficios esperados de la integración de tecnologías. 2025 (Elaboración propia).....	61
Figura 29. Esquema clásico de una almazara del proceso de producción de AOVE. [43]....	64
Figura 30. Ubicación de los dispositivos de medición. 2025 (Elaboración propia). [43]....	64
Figura 31. Tabla de limitaciones técnicas de la propuesta. 2025 (Elaboración propia). [47][48][49].....	66
Figura 32. Sistema ProFOSS2. [51].....	68
Figura 33. Sensor NIR de humedad para la fase de batido. Sensor KPM MCT566. [55]	69
Figura 34. Báscula en línea Thayer HWF. [58].....	70
Figura 35. Caudalímetro Coriolis Micro Motion ELITE con Transmisor 5700. [59][60]	71
Figura 36. PC de control central SIMATIC IPC227E Industrial Edge. [64]	72
Figura 37. Tabla de costes de la inversión inicial del NIR en línea para el análisis del rendimiento graso. 2025 (Elaboración propia). [38][65][66][67]	73
Figura 38. Tabla de costes de la inversión inicial del sensor de humedad NIR en la fase de batido. 2025 (Elaboración propia).	74
Figura 39. Tabla de costes de la inversión inicial de la Báscula en línea tras fase de batido. (Elaboración propia). [64].....	75
Figura 40. Tabla de costes de la inversión inicial del caudalímetro tras la fase de centrifugación vertical. (Elaboración propia). [60]	75
Figura 41. Tabla de costes de la inversión inicial del ordenador central y software SCADA. (Elaboración propia).....	76
Figura 42. Gráfico de barras comparativo de estimaciones de costes de almazara convencional vs almazara digitalizada. 2025 (Elaboración propia de informes del MAPA, COI y Cátedra de Aceites de Jaén. [28] [29] [68] [69]	80
Figura 43. Tabla comparativa de costes entre almazara convencional y almazara digitalizada. 2025 (Elaboración propia a través de estimaciones realizadas a partir de informes del MAPA, COI y Cátedra de Aceites de Jaén [3] [23] [24] [29] [68] [69].....	80
Figura 44. Tabla de Flujo de Caja de una almazara con la propuesta tecnológica con proyección a 5 años.	82
Figura 45. Diagrama de flujo del funcionamiento de la propuesta. 2025 (Elaboración Propia).	85
Figura 46: ODS 7. (ONU). [72]	101
Figura 47. ODS 9. (ONU). [72]	102
Figura 48. ODS 12. (ONU). [72]	102

1. Capítulo I: Introducción y Objetivos del Proyecto

1.1. Introducción al problema de investigación

La evolución al alza de los precios en origen del Aceite de Oliva en todas sus categorías ha hecho que el sector empiece a sufrir una transformación y la implementación de nuevas tecnologías, dejando de hacerse de forma arcaica muchas de las tareas/operaciones que resultaban en métodos estimativos poco precisos.

El incremento sostenido del precio del Aceite de Oliva a nivel mundial en los últimos años ha convertido la eficiencia y precisión en el proceso de producción en un factor crítico para maximizar la rentabilidad de los agricultores y almazaras. La inexactitud en las estimaciones y controles actuales supone pérdidas económicas significativas, afectando directamente la competitividad del sector.

En función de su acidez, en el aceite de oliva hay tres categorías en función de su calidad, Aceite de Oliva Lampante, Aceite de Oliva Virgen y **Aceite de Oliva Virgen Extra**. Para simplificar el objeto de estudio de este proyecto, se utilizarán los datos del AOVE.

Según los datos extraídos de Poolred, hasta la campaña 2019, las oscilaciones de precio medio por campaña del AOVE en España estaban dentro de una holgura del 20%. El AOVE se mantenía en unos precios dentro del rango de los 2€/kg de aceite. Desde entonces, ha experimentado un crecimiento significativo llegando a máximos de 9,1€/kg en la campaña de 2023 y situándose en el entorno de 4,5€/kg en esta campaña 2024. Con el nivel de precios hasta 2019, las operaciones con métodos estimativos no suponían mucho dinero y, por tanto, eran de poca relevancia dentro de la transacción comercial entre el agricultor y el almazarero. Con el incremento de precios, la importancia económica de las operaciones por métodos estimativos justifica la inversión para que esas operaciones pasen a tener mayor precisión.

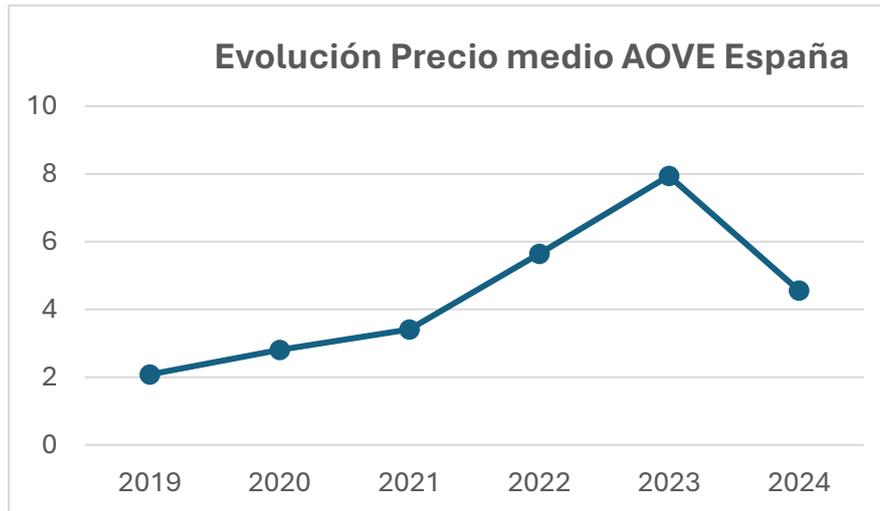


Figura 1. Gráfica Evolución Precio Medio AOVE España (2019-2024). Poolred 2024.

Un buen ejemplo para la correcta comprensión del enfoque del proyecto sería el pesaje de la cosecha. Durante la transacción entre el agricultor y el comprador de la cosecha, un factor crítico es el pesaje de ésta. En el pasado, lo habitual era que las fincas dispusieran de básculas para poder pesar los camiones cargados con la cosecha y así el agricultor no tenía una sola forma de medición del pesaje, que además era propiedad del individuo comprador del grano. También había básculas del Estado, en las que el agricultor pesaba sus camiones antes de llevarlos al destino, y así tenía un pesaje neutral para poder ganar fiabilidad y poder hacer una comparación con la medición de la báscula del comprador. Actualmente, en el sector oleícola, las básculas de las almazaras pasan revisiones periódicas del Ministerio de Industria que certifica una limitación del grado de error en el pesaje. Además, se han instalado pantallas para que el agricultor pueda ver el peso de la báscula a la vez que se pesa y haya total transparencia en vez de depender de la buena voluntad del comprador. La báscula, que está en la cinta transportadora de la aceituna, va haciendo pesajes una vez se ha separado la aceituna de la suciedad (hojas, ramas, abortos, etc.), también ha de pasar revisiones por el Ministerio y está conectada a una pantalla en la que el agricultor, a medida que su camión va descargando en la tolva de recepción y su producto limpio pasa por ese pesaje, va visualizando en directo el pesaje acumulado. Sin embargo, surge la cuestión de la limpieza. En muchas almazaras se tienen acuerdos de suciedad máxima, que son normas o límites establecidos entre la almazara y el agricultor para regular la cantidad máxima permitida de impurezas (llamadas “suciedad”) que puede contener una partida de aceitunas al ser entregada. En el proceso de limpieza, el agricultor soporta todas las ineficiencias de las cintas de la almazara. A pesar de las revisiones certificadas de la báscula, la aceituna que se descarga en la tolva de recepción y la que

pesa la báscula no suele coincidir. El tamaño de esta diferencia de cantidad de aceituna puede hacerse mayor por problemas de funcionamiento de las cintas, como que tengan fugas, o que la operación de limpieza de la aceituna tenga problemas de funcionamiento y se desperdicie aceituna mezclada con suciedad, etc. Demostrando con el pesaje de la aceituna un ejemplo de las ineficiencias que se pueden encontrar, la evolución de las básculas hasta las actuales y de la importancia de tener mayor precisión en las mediciones, en este caso, del peso de la aceituna.

El objeto del proyecto es más complejo, pero sigue una línea similar en cuanto a la necesidad de evolución en otros procesos al igual que la tecnología de las básculas. Con este proyecto se quiere contribuir a la evolución del sector a través de la implementación de innovaciones tecnológicas para aumentar la precisión y optimizar distintas fases del proceso de molturación de la aceituna en la almazara.

1.2. Justificación del estudio

La motivación que ha llevado al desarrollo de este proyecto de fin de grado es el interés personal del autor debido a su lugar de origen, Córdoba, región conocida por ser uno de los principales motores de la industria del aceite de oliva. Las condiciones de clima, microclimas y suelos de calidad españoles proporcionan un ambiente óptimo para el crecimiento próspero del olivar, permitiendo ser el principal país productor y exportador de aceite de oliva del mundo. En la temporada de 2023-24, se llegaron a producir 850.100 toneladas de aceite de oliva, siendo éste una industria fundamental para la economía del país. Además, recae una notable importancia sobre la industria del aceite de oliva en la región sur de España, Andalucía, representando el 80% del total de la producción total del aceite de oliva en España. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).

El interés por la ingeniería y los negocios ha sido la herramienta que ha llevado a buscar ambas, una ventaja competitiva en la industria como una solución a un conflicto real entre el agricultor de la plantación de olivos y el procesador del aceite, la almazara. El efecto complementario de los conocimientos adquiridos a través de los años en el grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales y en el grado de Administración y Dirección de Empresas lleva a la búsqueda de soluciones tecnológicas a problemas reales de la industria sin perder el factor de idea de negocio y rentabilidad de la solución. La labor del ingeniero es la de diseñar, desarrollar y aplicar tecnologías para resolver problemas técnicos y científicos. Pero, la labor de un buen ingeniero es la de buscar la solución más simple y rentable para crear a la vez un atractivo y una solución para la industria.

Teniendo el contexto del problema planteado, la industria del aceite de oliva ha experimentado grandes cambios en los últimos años. Para focalizar el objeto de estudio se centrará el proyecto en el aceite de oliva virgen extra (AOVE) que, según los datos de Poolred, hasta 2019 tenía unas oscilaciones en el precio anual de un 20%, estando en torno a los 3€/kg. Sin embargo, al llegar en 2023 a un máximo de precio de precio de 9,1€ por kilogramo de AOVE, hace que sea una industria muy atractiva para optimizaciones tecnológicas. Al haber un cambio tan grande en el precio del producto, supone un gran beneficio para el productor, pero cada ineficiencia supone una pérdida potencial de cuantía económica. Tanto el agricultor como la almazara quieren sacarle el mayor beneficio a esta subida de precios. Es por ello por lo que, cada proceso llevado a cabo hasta la obtención del producto final, el aceite de oliva virgen extra, debe ser analizado y optimizado para maximizar los resultados. El proyecto se centrará en toda la línea de producción de AOVE de la almazara.

Para concluir, la justificación que ha llevado a la elección de este proyecto como Trabajo de Fin de Grado es la combinación de tres conceptos clave: la importancia de la industria del aceite de oliva en España, el interés en la búsqueda de soluciones rentables por los conocimientos adquiridos en ingeniería y negocios y, por último, los cambios recientes en el precio del AOVE.

1.3. Objetivos específicos

1. Realizar una concienciación sobre la necesidad de introducir nuevas tecnologías en la industria del aceite, uno los sectores más tradicionales de la industria española.
2. Desarrollar una propuesta de aumento la precisión y exactitud en la línea de producción de AOVE en la almazara. Se busca dotar a las almazaras de mayor fiabilidad operativa para los agricultores, así como maximizar el rendimiento en la producción de aceite.
3. Ofrecer una solución al sector primario del aceite para que se trabaje con mayor exactitud en la almazara y no se llegue a la necesidad de plantear la integración vertical que, en la mayoría de las explotaciones agrarias, sería inviable económicamente. Para llegar a la solución y que sea realizable, se debe tener en cuenta la viabilidad económica para que las dos partes implicadas en este proceso, agricultor y almazara, estén interesadas en la solución.
4. Conseguir mantener o aumentar la rentabilidad económica de la almazara. Se busca realizar una evaluación económica de la inversión que supondría la

propuesta. La meta es determinar si la implementación de las mejoras identificadas permitirá optimizar la producción del AOVE, reduciendo pérdidas económicas derivadas de las imprecisiones de la producción.

5. Plantear el primer paso hacia la completa automatización de la almazara. En este proyecto se va a desarrollar una propuesta de innovación tecnológica necesaria para conseguir el objetivo final de maximizar completamente la producción de aceite a través de la automatización completa de la almazara.

Este proyecto se alinea con tres objetivos del plan de objetivos globales de la ONU (Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS):

- **ODS 7:** Energía asequible y no contaminante
- **ODS 9:** Industria, innovación e infraestructura
- **ODS 12:** Producción y consumo responsables

1.4. Metodología y alcance

La metodología de trabajo se trata de la explicación de cómo se va a desarrollar la solución al problema planteado, incluyendo el proceso de búsqueda de la solución, técnicas y procedimiento empleados.

1. En primer lugar, se lleva a cabo un análisis del histórico de precios del AOVE en los últimos años. El objeto de este análisis es estudiar la evolución del mercado del aceite de oliva en estos últimos años para tener una mejor visión del potencial que tiene el mercado de la industria del AOVE y del atractivo que tiene hacia posibles innovaciones tecnológicas.
2. En un segundo lugar, es necesario hacer un análisis exhaustivo de las operaciones llevadas a cabo por una almazara para el proceso de transformación de la aceituna en aceite. De esta manera, se comprende el proceso en cuanto a las partes en las que se divide, el tipo de maquinaria utilizada y el funcionamiento de esta maquinaria.
3. En tercer lugar, se investiga la relación y proceso de transacción entre el agricultor y la almazara. El objetivo es entender los acuerdos entre las almazaras, los agricultores, el proceso de venta, las fuentes de ingresos de una almazara y del agricultor, las muestras llevadas a cabo y las estimaciones. Así, se consigue una mejor comprensión del problema que se plantea y se contemplan las soluciones viables.

4. En cuarto lugar, se procede a la búsqueda de soluciones. Una vez que el problema/necesidad se ha detectado, se realiza una búsqueda de soluciones tecnológicas existentes que pueda haber ya desarrolladas. Se plantea una solución como propuesta con tecnologías avanzadas actuales.
5. Por último, se hace un estudio de la viabilidad técnica y económica de la propuesta. Como ya se ha mencionado antes, es fundamental que la solución suponga una ventaja competitiva en el mercado, que sea rentable y que sea viable desarrollarla técnicamente. La propuesta tiene que ser viable para que tenga sentido que una almazara quiera implementar la solución planteada en el proyecto. Se desarrollará un análisis detallado del retorno de inversión y la sostenibilidad de la propuesta.

1.5. Estructura del proyecto

El proyecto tiene la siguiente estructura:

Capítulo I: Introducción y Objetivos del Proyecto. Como primer capítulo se introduce el proyecto. Se aborda el problema a tratar, la justificación/motivación del proyecto, así como los objetivos y la metodología a llevar a cabo. Dentro de los objetivos se explican los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con los que se alinea el proyecto. Finalmente, se explica la estructura del propio proyecto.

Capítulo II: Contexto de la Industria del AOVE. Se desarrolla una discusión sobre la importancia del AOVE en la economía agroalimentaria. Se elabora un análisis DAFO de la industria del AOVE en España actualmente. Por último, se explica la posición del agricultor y almazara y sus preocupaciones.

Capítulo III: Evolución del Precio del AOVE en las Últimas Campañas. Se realiza un análisis de la producción de aceite de oliva de España, Grecia e Italia, en las última 6 campañas. Se realiza un análisis de la evolución y tendencia de precios en origen del AOVE de los mismos tres países. Se identifican los principales factores que determinan la volatilidad de los precios y se evalúa el impacto de esta volatilidad en los agricultores y almazaras. Por último, se explica la necesidad de optimización tecnológica en la almazara.

Capítulo IV: Proceso Actual de Producción del AOVE. Se explican en orden y detalladamente las distintas fases de la línea de producción de una almazara. Se identifican las principales fuentes de inexactitud, su margen de mejora y el impacto que tienen las inexactitudes identificadas en el agricultor y la almazara.

Capítulo V: Costes de Producción y Rentabilidad en las Almazaras. Se realiza un análisis de los costes de producción en la almazara y una identificación de los factores que afectan a la eficiencia y rentabilidad de la almazara.

Capítulo VI: Propuesta Tecnológica para la Mejora de la Producción de AOVE en la Almazara. Se explica el problema y objetivo principal de la propuesta. Se explican las innovaciones tecnológicas que se quieren introducir en la almazara. Se desarrolla la arquitectura digital que necesita la propuesta. Se evalúa la viabilidad técnica de la propuesta tecnológica. Se exponen casos de referencia y benchmarking con otros sectores alimentarios y sus logros a través de la inversión tecnológica. Por último, se identifican las limitaciones técnicas de la propuesta.

Capítulo VII: Viabilidad Económica y Rentabilidad de la Propuesta. Se expone y justifica la elección de los equipos específicos para la propuesta tecnológica. Se realiza una estimación de la inversión inicial necesaria para implementar la propuesta. Se expone la amortización para la propuesta y los costes operativos a tener en cuenta. Se realiza una evaluación económica de la propuesta a través de la comparación entre una almazara convencional y digitalizada.

Capítulo VIII: Simulación del Funcionamiento de la Propuesta en una Almazara. Se explica el funcionamiento de la línea de producción de la almazara y el funcionamiento de la propuesta.

Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones. Se hace un resumen de los hallazgos clave del proyecto. Se explican las implicaciones para el sector oleícola y la alineación del proyecto con los ODS. Por último, se explican los próximos pasos y futuras líneas de investigación del proyecto.

Capítulo X: Referencias.

2. Capítulo II: Contexto de la Industria del AOVE

2.1. Importancia del AOVE en la economía agroalimentaria

El aceite de oliva virgen extra (AOVE) constituye uno de los pilares fundamentales de la industria agroalimentaria en España, tanto por su peso económico como por su valor cultural y social. Siendo España el primer productor mundial de aceite de oliva, que representa aproximadamente una tercera parte de la producción mundial y siendo cercano al 70% de la producción en Europa según los datos del Consejo Oleícola Internacional. Sin embargo, en el contexto actual, las últimas campañas han estado marcadas por una elevada volatilidad por factores climáticos, provocando notables oscilaciones en la producción. Según el MAPA, durante la campaña del 2022/2023, la producción de AOVE en España cayó en más de un 60% en relación con el nivel de producción medio de las campañas anteriores, derivando en una gran subida de precios y provocando tensiones en el mercado interior.

La valoración del mercado del AOVE en España en el año 2024 fue de más de 4.700 millones de dólares, además, se prevé un crecimiento constante del 5,5% anual hasta llegar a los 6.800 millones de dólares en 2030 según Grand View Research [1]. La demanda internacional es la que impulsa este crecimiento, esto se debe a la alta estima del producto en mercados premium y la concienciación de los consumidores sobre la salud y la calidad de la alimentación. Sin embargo, el consumo interno en España se ha visto algo reducido en los últimos años debido a la subida de precio del producto que ha provocado cambios en los hábitos de consumo.



Figura 2. Actores de la cadena de valor del AOVE. 2022, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Gobierno de España. [22]

El sector del AOVE se organiza en torno a distintas figuras que intervienen en las diferentes fases de la cadena de valor. La primera figura o actor serían los agricultores, encargados del cultivo del olivar y recolección de la aceituna. El segundo actor, la almazara o cooperativa encargada del proceso de transformación de la aceituna en aceite. Las almazaras desempeñan las tareas de recepción, limpieza, molturación y extracción del aceite. Como última figura serían las empresas envasadoras y comercializadoras que

gestionan la presentación y venta del producto en el mercado. Cabe mencionar la participación de organismos reguladores, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), la Agencia de Información y Control Alimentarios (AICA), las Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) y el Consejo Oleícola Internacional (COI), que ofrecen una garantía de calidad, trazabilidad y cumplimiento de la normativa.

2.2. Análisis DAFO de la industria del AOVE en España

Análisis DAFO



Figura 3. Análisis DAFO de la industria del AOVE en España. (Fuente de elaboración propia Canva, 2025).

Se procede al desarrollo de la tabla DAFO (Fig. 3) presente:

Se identifican fortalezas como el liderazgo productivo de España a nivel mundial, la diversidad de variedades del olivar español y el reconocimiento internacional del AOVE como producto de alta calidad. Esto promueve la motivación de mantenerse en el puesto líder y por ende de querer seguir el ritmo a medida que avanza la tecnología. La amplia infraestructura industrial y capacidad exportadora consolidada se suma a las fortalezas actuales del sector.

Sin embargo, también existen debilidades estructurales que perjudican al sector, como la volatilidad de precios, que se debe a la dependencia de factores incontrolables como las condiciones climáticas adversas, que afectan al rendimiento de la cosecha. Otro factor que afecta a la volatilidad de los precios es la oscilación de oferta/demanda de AOVE cada

campana. Además, a pesar de ser España líder en producción de AOVE, existe una falta de digitalización en muchas explotaciones y almazaras lo que crea un vacío de información necesaria para la optimización de la producción.

Entre las oportunidades presentes en el sector, destaca el crecimiento de los mercados internacionales. Países como Estados Unidos, Canadá, Japón y China son mercados con un gran espacio de comercialización para un producto premium como es el AOVE. Además, según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) existe un aumento de la demanda de productos ecológicos y de denominación de origen en el mercado internacional. [2] Otra oportunidad presente en el sector es la incorporación de tecnologías avanzadas en las fases de producción de AOVE que mejoraría la producción en términos de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Esta oportunidad es clave en el presente proyecto dado que las tecnologías como sistemas de control de temperatura, automatización del proceso de molturación, sensores para medir parámetros clave en tiempo real y soluciones para la valorización de subproductos como el alperujo, maximizarían notablemente los beneficios tanto en términos de producción de AOVE como en ahorro energético.

Las amenazas actuales están relacionadas con la creciente competencia de nuevos países productores, los aranceles comerciales impuestos por grandes mercados y el riesgo de fraude alimentario [3]. Además, el impacto de los efectos del cambio climático, como pueden ser las altas temperaturas y la falta de disponibilidad de agua pueden ser negativos para la producción, ya que perjudica al olivar derivando en una menor cosecha de aceituna.

Con este contexto de la situación actual que afecta al sector, se refleja la importancia de la implementación de nuevas estrategias para mantenerse competitivos en el mercado por medio de la innovación tecnológica, la sostenibilidad medioambiental y la mejora continua de la calidad. Incorporar tecnologías avanzadas, algunas ya implementadas en otros sectores alimentarios, contribuye a mejorar la eficiencia y rentabilidad del proceso productivo. Además, permite ofrecer un mejorado producto final con mayor calidad, trazabilidad y diferenciación en el mercado. Esta es la solución para garantizar el exitoso enfrentamiento de los retos presentes y futuros en un entorno cada vez más exigente y competitivo.

2.3. Principales actores del sector: agricultor y almazara.

En el sector del AOVE en España, identificamos dos actores esenciales en los que se va a centrar el siguiente apartado: el agricultor y la almazara. Ambos son piezas fundamentales de la industria oleícola y se enfrentan a desafíos concretos dentro de la cadena de valor.

El agricultor

La base de esta industria son los agricultores. Actualmente, en España, más de 380.000 explotaciones agrícolas se dedican al olivar, con una superficie media de tan sólo 7 hectáreas y constituyendo más del 50% explotaciones de menos de 5 hectáreas [3]. Debido a que son pequeñas fincas, dependen principalmente de la venta de aceituna a almazaras o cooperativas. El precio de venta (en €/kg) se establece principalmente según 3 factores: variedad, rendimiento graso y estado del fruto. Algunos de los agricultores pertenecen a la cooperativa (son socios), lo que les beneficia en términos de retribuciones complementarias según calidad y volumen entregado. Además, pueden obtener ingresos adicionales a través de ayudas como las PAC (Política Agrícola Común) [4] que ofrecen organismos como el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) [5] o prácticas complementarias como oleoturismo. [6]

Destacan las siguientes **preocupaciones recurrentes** entre los agricultores:

- **Oscilación de precios:** la volatilidad de precios es uno de los grandes retos que afrontan los agricultores. En 2023/24 se alcanzaron máximos históricos. Sin embargo, en la última campaña, la de 2024/25, los precios cayeron a niveles similares a los de 2022. Esto genera incertidumbre económica, mermando márgenes reales que afectan negativamente a los pequeños productores.
- **Transparencia limitada:** la falta de accesibilidad a los datos reales de la propia cosecha de su explotación y el desconocimiento del proceso de extracción del AOVE produce una desconfianza del agricultor sobre la almazara.
- **Competencia de grandes explotaciones:** Las grandes explotaciones agrícolas, con sus nuevas operaciones intensivas, ofrecen costes más bajos y una mayor producción, mientras que los productores tradicionales tienen mayores gastos de producción y reciben menores ingresos por su menor cosecha. [7]

La almazara

La almazara es la encargada de transformar la aceituna en aceite mediante una línea de producción con múltiples fases como limpieza, molturación, batido, centrifugado y extracción. Además, algunas también gestionan el envasado y distribución, como almazaras o cooperativas con marca propia, que gestionan la comercialización de su producto.

Las fuentes de ingresos de una almazara no sólo están en la venta de AOVE, la mayoría de las almazaras intentan hacer un aprovechamiento completo o economía circular del producto que compran, la aceituna. Otras fuentes de ingresos de una almazara son:

- Biomasa a partir de las ramas y hojas que extraen de la limpieza de la aceituna, así como del propio hueso de la aceituna. Es utilizada como combustible industrial o doméstico.
- Alpechín, alperujo y orujos. Del alperujo se intenta extraer el máximo aceite posible, ya de peor calidad. Los orujos se venden a otras empresas que lo reutilizan para elaborar aceite de orujo y otros subproductos. El alpechín y el agua residual del proceso se trata y se suele utilizar como agua de regadío para la propia explotación de la almazara, en caso de que la tuviera.

Las **preocupaciones recurrentes** entre las almazaras son:

- **Falta de digitalización:** muchas instalaciones operan con sistemas tradicionales mecanizados, pero con baja automatización, lo que limita la trazabilidad y eficiencia. [8]
- **Escasez de personal cualificado:** especialmente de maestros almazareros con experiencia en tecnologías modernas, lo que reduce la capacidad de adoptar innovación.
- **Resistencia al cambio cultural:** muchas instalaciones operan con modelos heredados que funcionan, dificultando la modernización debido a la falsa impresión de no necesitar automatización.
- **Riesgo económico por aranceles y mercados internacionales:** los productores de AOVE se enfrentan a una creciente competencia y barreras comerciales que afectan a la rentabilidad.

Gracias a esta visión, se puede observar cómo ambos actores comparten necesidades relacionadas con la confianza, transparencia, eficiencia y estabilidad dentro de una industria sometida a múltiples presiones.

Campañas

3. Capítulo III: Evolución del Precio del AOVE en las Últimas Campañas

El aceite de oliva virgen extra (AOVE) constituye uno de los productos más representativos culturalmente en países productores como España, Italia y Grecia, formando las explotaciones de olivar parte de sus paisajes y tradición. Pero también suponen un pilar fundamental en la economía agroalimentaria. España se mantiene como líder mundial de producción, exportación y superficie dedicada al olivar, lo que convierte al sector oleícola en un sector estratégico de la economía española. Sin embargo, especialmente en los últimos años o campañas, la creciente competencia, volatilidad de los precios y climatología, han sometido a este sector a una elevada incertidumbre.

Durante el periodo comprendido entre las campañas 2019/2020 y 2024/2025, que van a ser el objeto de estudio, el mercado del AOVE se ha visto afectado por una serie de fuertes oscilaciones de precio. El desequilibrio en la producción entre los principales países productores, las condiciones climatológicas y el encarecimiento energético que desemboca en el aumento de los costes de producción, son factores que se van a tratar en este capítulo.

El fin de este capítulo es analizar la evolución del precio del AOVE en los últimos 5 años, realizando una comparativa de los tres principales países productores de la Unión Europea: España, Italia y Grecia. Se identificarán los factores críticos determinantes del precio y de su volatilidad. Finalmente se evaluará el efecto que tiene esa volatilidad de precios sobre los agricultores y las almazaras. De esta forma, se contextualizará la relevancia que tiene la optimización de la producción de AOVE en el futuro cercano a través de la innovación tecnológica.

3.1. Conceptos clave para el análisis de precios, producción de AOVE

Los principios que se plantean y se quieren demostrar a través del presente capítulo con el análisis de los datos de producción y precios del AOVE en las últimas campañas, (desde la campaña de 2019/20), tienen el objetivo de explicar el comportamiento actual del mercado y justificar la necesidad de optimización de las operaciones de la almazara. En un mercado caracterizado por la dependencia del imprevisible factor climático y una demanda internacional en crecimiento, la inversión tecnológica para aumentar la

Campañas

eficiencia y trazabilidad del proceso productivo del AOVE cobran una gran importancia estratégica para la sostenibilidad del sector.

En este escenario, se establecen los siguientes conceptos como base para el análisis:

Foco 1: La volatilidad de la producción ocasionada por factores incontrolables como el clima demuestra la necesidad de maximizar la producción de AOVE a través de la inversión tecnológica y digitalización.

La imprevisibilidad de los fenómenos meteorológicos adversos como las sequías prolongadas y las olas de calor, cuyas consecuencias las sufre el olivar, hacen que sea estratégico la optimización del proceso productivo de la almazara, para así obtener el máximo rendimiento de la aceituna disponible en cada campaña. Herramientas clave como la digitalización y control de procesos hace posible mejorar la eficiencia operativa de la almazara.

Foco 2: La tendencia creciente de los precios del AOVE incrementa el coste de las pérdidas de AOVE por inexactitudes en el proceso productivo de la almazara.

A pesar de sus oscilaciones, la tendencia creciente del precio medio del AOVE, hace que las ineficiencias en el proceso de producción se traduzcan en elevadas pérdidas económicas. Optimizar el proceso productivo supone tanto el aumento del rendimiento como de la rentabilidad de la almazara.

Foco 3: Las oscilaciones de precio del AOVE cada campaña refleja la necesidad de estabilizar la rentabilidad de la almazara a través de la eficiencia de producción.

La eficiencia operativa y reducción de pérdidas suponen ganar estabilidad en el margen de beneficio de la almazara. La automatización y digitalización de la almazara permiten optimizar la producción de la almazara amortiguando el impacto de los cambios de precio en origen.

3.2. Producción de aceite de oliva en España, Italia y Grecia

La producción de aceite de oliva en la cuenca mediterránea está profundamente condicionada por factores climáticos, estructurales y tecnológicos. España, Italia y Grecia son los tres principales países productores de la UE y del mundo, según el Consejo Oleícola Internacional representan más de 60% de la producción mundial de aceite de oliva. Para comprender el comportamiento del mercado del AOVE se tiene que empezar a analizar desde su base, la producción. Analizar la evolución de la producción de aceite de oliva en

Campañas

los últimos cinco años ayuda a entender los factores que generan un impacto sobre el precio del AOVE.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución en la producción de aceite de oliva de España, Italia y Grecia entre las campañas de 2019/20 y la última campaña de 2024/25:

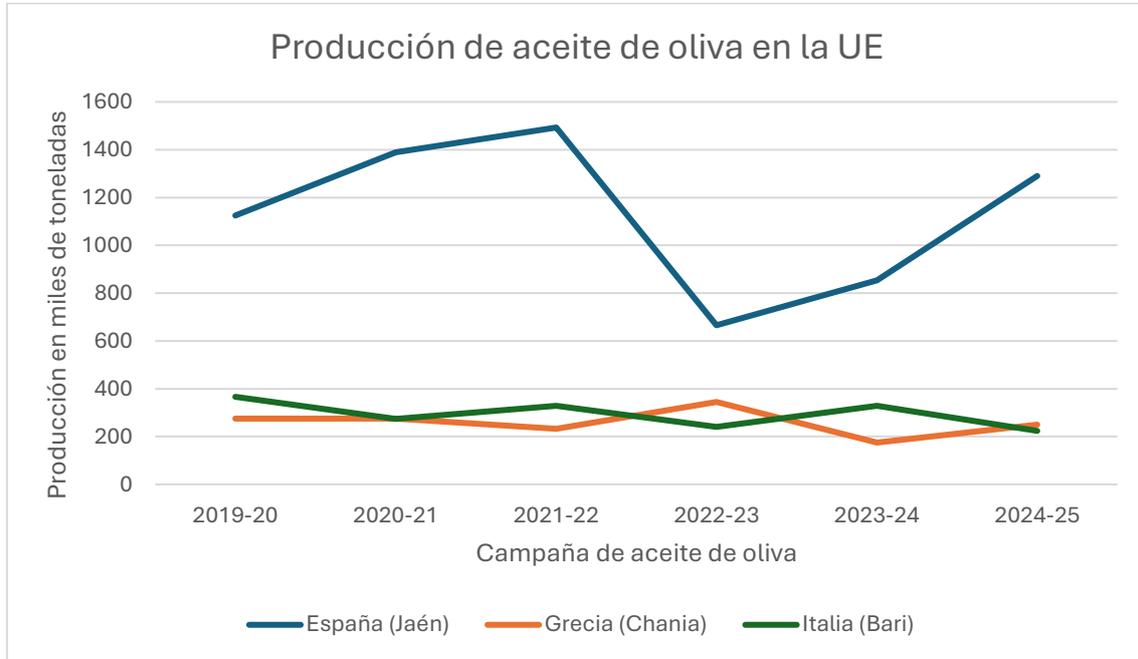


Figura 4. Gráfico de la producción de aceite de oliva de los tres países productores de la UE. 2025 (Elaboración propia a través de los datos del Consejo Oleícola Internacional (IOC). [9].

España

La producción española tuvo su pico máximo, en la campaña de 2021-22, de 1.493.000 toneladas. Sin embargo, tienen un descenso drástico en 2022/23 alcanzando su mínimo de producción con 665.800tm, debido a una climatología extrema ese año caracterizado por sequías y olas de calor en los meses críticos del olivar. En las siguientes campañas se observa una recuperación gradual teniendo una producción de 854.000tm en 2023/24 y llegando a la actualidad con la última campaña de 2024/25 con 1289.900tm de aceite de oliva producidos. [10].

Grecia

La producción de aceite de oliva en Grecia mantuvo una tendencia constante en los dos primeros años de estudio (2019/20 y 2020/21) con 275.000tm. En 2021/22 se redujo la producción hasta 232.000tm, seguido de un pico máximo en la campaña de 2022/23 con 345.000tm de aceite producido y una caída a mínimos de 175.000tm en la campaña de

Campañas

2023/24. En la última campaña (actualidad), consiguió una recuperación, llegando a producir 250.000tm de aceite de oliva. [11].

Italia

La cosecha de olivar italiana estuvo en 2019/20 en 366.500tm, sufriendo una caída en la siguiente campaña (2020/21) a 273.500tm. En la campaña de 2021/22 tuvo una recuperación parcial a 329.000tm para descender a 240.900tm en la campaña de 2022/23 y subir a 328.500tm en 2023/24. En la última campaña de la que se tienen datos (actualidad), la campaña de 2024/25, sitúa la producción de aceite de oliva italiano en 224.000tm. Se puede apreciar cómo se caracteriza por subidas y bajadas de producción cada año, sin tener una tendencia muy clara. [13].

A través de la gráfica de producción de aceite de oliva en las últimas campañas, se demuestra las importantes oscilaciones de un año para otro y la volatilidad existente en la producción, especialmente marcadas en la producción española que sufrió una reducción de más de 55% de producción entre las campañas de 2021/22 y 2022/23, pasando de producir 1.493.000tm a apenas 665.800tm. Las elevadas temperaturas en los meses críticos de primavera/verano y la sequía continua, tuvieron un importante impacto haciendo que se caiga la flor y fruto del olivo. Grecia, sin embargo, mostró una respuesta inversa en los periodos críticos de España, lo que refleja las diferencias de condiciones climáticas por zona geográfica.

Realizando una comparativa de las tres producciones, se observa que al sufrir un país una fuerte caída de producción, no necesariamente se traduce en una disminución en los otros dos países, lo que en cierta manera hace que se amortigüe la caída de la producción de aceite a nivel europeo y mundial.

El caso español es el de mayor relevancia, dada su observable dominancia en el mercado. Cualquier cambio significativo en la producción de aceite de oliva español tiene un gran efecto sobre el mercado internacional.

Las conclusiones que se sacan de este análisis de la producción de aceite de oliva son claras, hay, entre otros, un factor exógeno incontrolable que es el clima, y afecta directamente a la producción de aceite de oliva. Además, a pesar de formar parte los tres países de un mismo entorno mediterráneo, su producción no se comporta paralelamente, lo que aumenta la complejidad en cuanto a previsión de precios y anticipación estratégica.

Campañas

Como el clima es algo incontrolable, se deben refinar los demás aspectos de la producción, como el rendimiento de extracción de aceite de las almazaras.

A continuación, se muestra una gráfica sobre el índice SPEI (Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado) de España, para observar las condiciones climatológicas críticas que sufrió España en 2022 frente a otros años:

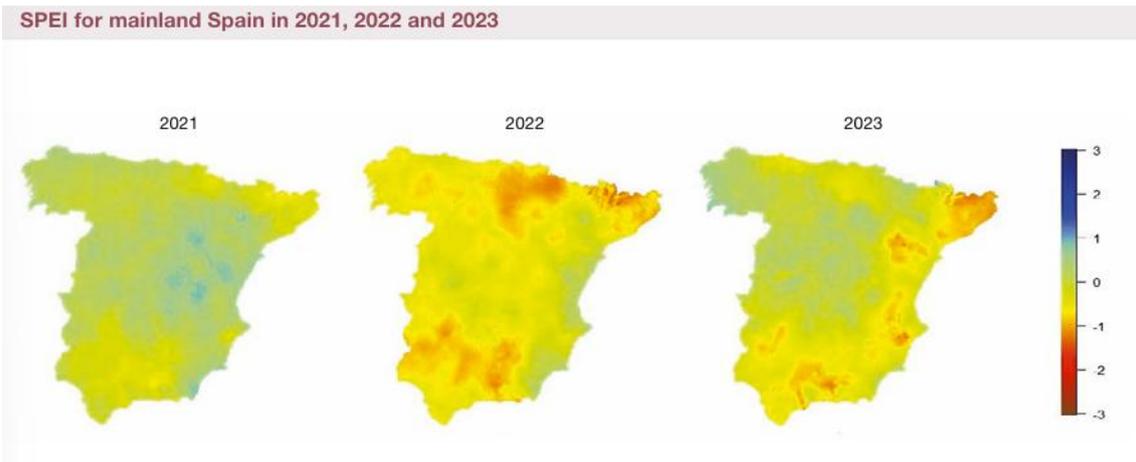


Figura 5. Media anual del índice SPEI en 2021, 2022 y 2023. 2025. Fuente: Banco de España [14].

3.3. Evolución de precios en origen del AOVE en España, Italia y Grecia

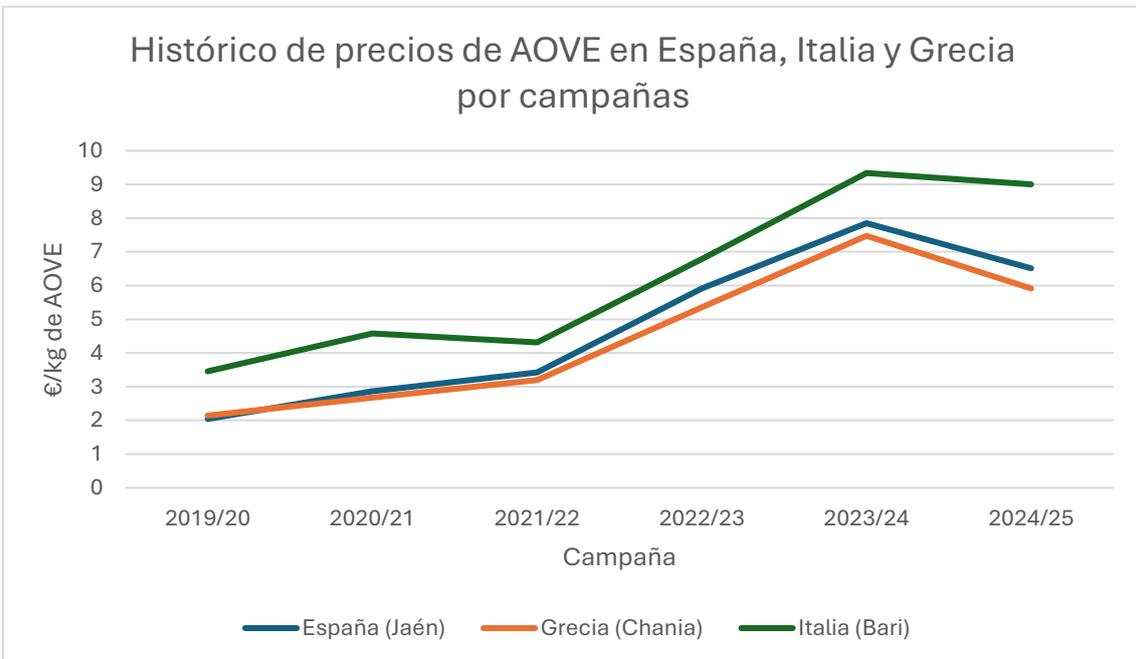


Figura 6. Gráfico de la evolución de precio de AOVE en las últimas campañas es los tres principales productores mundiales. 2025 (Elaboración propia a partir de los datos oficiales de precios del IOC). [9]

La gráfica muestra la evolución del precio medio en origen del AOVE (en €/kg de AOVE). El precio en origen del AOVE es el precio al que se vende el aceite directamente desde el productor (almazara o cooperativa) antes de pasar por intermediarios y comercialización al consumidor final. Se muestran los precios medios de los tres principales productores mundiales (España, Italia y Grecia) durante las últimas seis campañas del aceite de oliva.

Se observa que los tres productores, a pesar de tener precios dispares, tienen tendencias muy similares a medida que se avanza por campañas. Se pueden apreciar las siguientes tendencias de precios:

- **Crecimiento moderado hasta la campaña de 2021/22:** los precios se incrementan de una forma progresiva pero moderada en los tres países. España y Grecia se sitúan en 2021/22 en precios próximos en torno a los 3€ el kg de AOVE mientras que Italia mantiene precios más elevados, superando los 4€/kg de AOVE.
- **Máximo de precios en la campaña de 2023/24:** En la campaña de 2023/24, los tres productores experimentan una gran subida de precios llegando a su pico en las pasadas 6 campañas. España y Grecia superan precios medios de campaña de 7€/kg de AOVE e Italia llega a casi los 9€ por kg de AOVE. Cabe destacar cómo este pico de precios coincide con la caída en producción española de AOVE de 2022/23. Se observa cómo hay un retraso de los precios frente a la producción, pero igualmente demuestra la proporcionalidad inversa entre producción y precio.
- **Estabilización en la campaña de 2024/25:** En la campaña más reciente (campaña de 2024/25) los precios sufren una bajada o estabilización, aun manteniéndose en niveles altos de precio.

3.4. Factores determinantes de la tendencia de precios del AOVE

El mercado del AOVE y, en concreto, el precio, están determinados por una interacción compleja de factores externos e internos. A continuación, se identifican una serie de factores clave que generan un impacto sobre los precios del AOVE:

Condiciones climáticas adversas

Fenómenos como las sequías prolongadas y las fuertes olas de calor en las zonas productoras provocan un impacto sobre la producción de AOVE, reduciendo la oferta y provocando subidas agresivas de precio. Las condiciones climáticas sufridas durante la

Campañas

campaña de 2022/23, resultaron en una caída de producción y provocaron la subida de precios llegando a máximos históricos en la campaña de 2023/24. [13]

Relación entre oferta y demanda

Un factor tan simple como la ley de la oferta y demanda es determinante para el precio del AOVE. Manteniéndose constante o creciente la demanda de AOVE a nivel mundial, una falta de oferta debido a una baja producción de campaña ocasiona una subida de precios.

Subida de los costes de producción

La subida de precios energéticos, tanto de electricidad como de combustibles, es otro factor que contribuye con la tendencia creciente del precio de AOVE, ya que elevan el coste de producción. Las almazaras necesitan mantener sus márgenes de beneficio para garantizar su rentabilidad, lo que causa una subida de precios por parte de los productores, las almazaras y agricultores. [14]

Regulaciones comerciales y competencia internacional

Cuestiones actuales como aranceles, políticas de exportación/importación y el aumento emergente de competidores en el mercado del AOVE influyen en la tendencia de precios a nivel internacional. [15] [16]

3.5. Impacto de la volatilidad del mercado en agricultores y almazaras.

La volatilidad del mercado del AOVE, demostrada a través del análisis de los datos de las últimas campañas, afecta significativamente al agricultor del olivar y a las almazaras. La variación, tanto en precio como en producción, tiene efectos directos sobre estos dos actores del sector. La inestabilidad producida por factores como la elevada variación en producción de una campaña a otra, las condiciones climáticas, la subida de los costes de producción y el mercado internacional, ha creado un entorno económico muy variable que produce notables cambios sobre los márgenes de beneficio y rentabilidad de los agricultores y almazaras.

Se van a analizar los impactos de volatilidad del mercado por separado, agricultor y almazara:

Impacto sobre el agricultor

El agricultor, supone el primer eslabón de la cadena del valor del AOVE y tiene una elevada importancia. Las oscilaciones de precio de una campaña a otra afectan directamente al

Campañas

agricultor. En campañas donde los factores determinantes de la productividad del olivar no son favorables, provoca una menor cosecha de aceituna y producción de aceite, como ocurre en la campaña de 2022/23. Como se ha mencionado, el efecto de la ley de oferta y demanda es un factor determinante del precio, por tanto, la baja producción de aceituna se equilibra con una subida del precio del AOVE. Sin embargo, no siempre salen beneficiados todos los miembros de la cadena de valor del AOVE. Una mala campaña para una explotación familiar pequeña puede poner en riesgo la rentabilidad de la misma, al no poder cubrir ciertos costes ya acordados o tener demasiada poca aceituna.

El agricultor afronta en cada campaña: costes en cultivo, mantenimiento, fertilizantes, inspecciones técnicas regulares, gastos energéticos y de personal. Costes que son fijos, independientemente de cómo salga la producción. Una mala campaña, supone preocupaciones, como son la falta de trazabilidad y transparencia de la almazara. Las explotaciones agrarias, al tratarse en muchas ocasiones de negocios familiares, el agricultor no tiene los conocimientos ni se le ofrece suficiente información y trazabilidad sobre la producción de su cosecha, lo que deriva en una desconfianza del agricultor sobre si realmente se le está pagando el precio justo. [17] [18]

Impacto en la almazara

Para la almazara, la volatilidad de los precios y la gran variación entre la producción en distintas campañas genera también un considerable impacto. Una mala campaña en cuanto a producción de aceituna supone menor materia prima para procesar en la almazara. Si la almazara procesa menos aceituna en esa campaña, los costes fijos hacen que el coste total por kg de AOVE que tiene que asumir la almazara sea mayor. Por tanto, si hay menos aceituna que procesar, hay menos AOVE con el que dividir los costes.

Las almazaras necesitan estar en continua búsqueda de mejoras para incrementar su rendimiento. El riesgo de variaciones de sus márgenes de beneficio crea una necesidad, la adopción de nuevas estrategias para amortiguar los efectos de las malas campañas, como puede ser la economía circular a través de la gestión de subproductos o el oleoturismo. [19] Esta necesidad de continua mejora en el proceso interno de la almazara es una realidad, sin embargo, la falta de digitalización y trazabilidad en la mayoría de almazaras supone un problema cuya solución radica en la inversión tecnológica. Las almazaras buscan la eficiencia en producción para amortiguar parcialmente el impacto que tiene la volatilidad del mercado sobre ellas y ganar estabilidad. [20]

Campañas

3.6. Relación entre la volatilidad de precios del AOVE y la necesidad de optimización tecnológica en la almazara

Tras el análisis de la evolución del precio en origen del AOVE, sus tendencias, de la producción y de sus factores determinantes, queda demostrada la alta sensibilidad del mercado ante las variaciones de los factores discutidos. El mejor ejemplo es el de la caída de la producción de aceituna de la campaña del 2022/23, causado, entre otros, por condiciones climáticas adversas, que causó mínimos en la producción mundial de AOVE y picos máximos récord en los precios medios en origen de la campaña siguiente.

La tendencia de precios del AOVE, aunque con variaciones, ascendente, con una demanda con cierta estabilidad, pone de manifiesto la necesidad de corregir y mejorar cada operación de la cadena de valor del AOVE. Ante la subida de precios del AOVE, los errores e inexactitudes se pagan muy caros.

Es un hecho, que la tecnología avanza con el tiempo. El mercado del aceite de oliva ya ha despertado el interés en muchos otros países, manifestando la futura competencia internacional emergente. Los países productores tienen que evolucionar el sector del AOVE a medida que avanza la tecnología o se quedarán detrás de la competencia. Además, mucha de esta tecnología, ya es utilizada en otros sectores alimentarios mucho más automatizados como puede ser el sector lácteo.

La automatización, digitalización y aumento del control interno de los procesos productivos del AOVE es una gran herramienta para conseguir trazabilidad, transparencia y margen de maniobra en tiempo real, que son estrategias innovadoras para amortiguar la volatilidad del mercado del AOVE. Esto permitirá proteger parcialmente los márgenes de beneficio de los agricultores y almazaras maximizando el rendimiento de su materia prima, la aceituna. La inversión tecnológica se traduce en la supervivencia y competitividad del sector del AOVE en el medio y largo plazo.

4. Capítulo IV: Proceso Actual de Producción de AOVE

4.1. Diagrama de flujo de las fases de una almazara

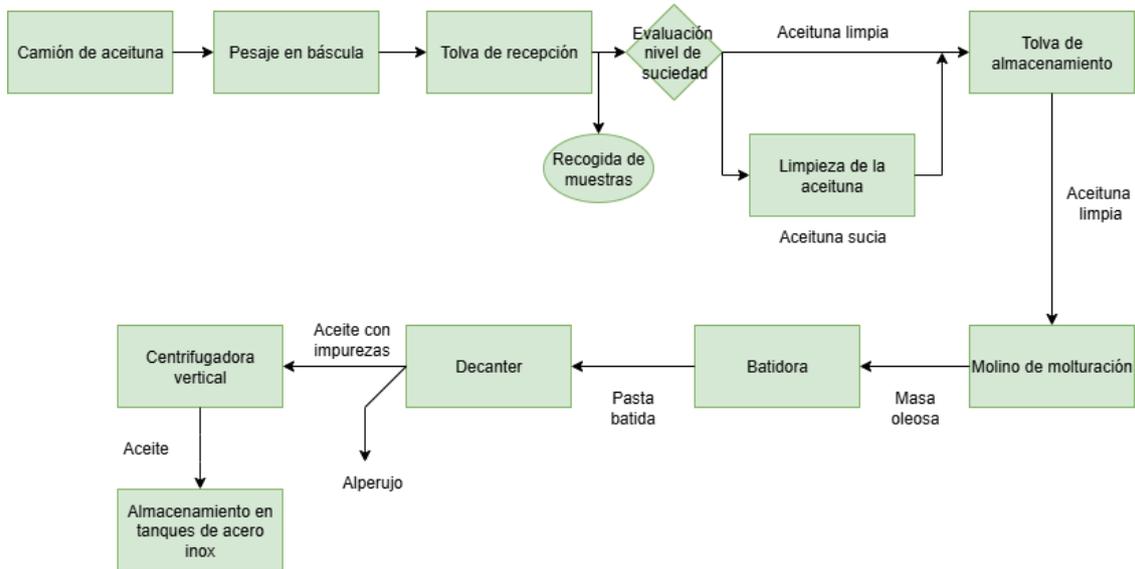


Figura 7. Diagrama de flujo proceso almazara. (Fuente de elaboración propia, Draw.io, 2025).

4.2. Fases del proceso de producción de AOVE en una almazara

La transformación de aceituna en aceite de oliva virgen extra (AOVE) se realiza en una almazara y es un proceso de producción estructurado en fases claramente definidas, un proceso continuo que lleva un flujo físico y lógico que permite transformar el fruto (aceituna) en aceite. A continuación, se describe detalladamente cada etapa del proceso con la correspondiente maquinaria industrial involucrada y su funcionamiento, añadiendo elementos gráficos que faciliten su entendimiento. El objetivo de esta sección es comprender el proceso actual de producción de AOVE en la gran mayoría de almazaras en España.

4.2.1. Recepción de la aceituna

El proceso comienza con la llegada o recepción de la aceituna. La aceituna se recoge en la explotación agraria correspondiente y es transportada en camiones especiales para cosecha. Se trata de un remolque agrícola con sistema de descarga tipo volquete.

Pesaje en báscula

Los camiones se pesan en una báscula que tiene que estar certificada por la entidad correspondiente de su correcta regulación y calibrado. Se determina el peso bruto del vehículo y, tras descargar la aceituna, se vuelve a pesar para obtener el peso neto del producto recibido. Normalmente hay camiones de 30.000 kg (de aceituna) y de 50.000kg de capacidad.



Figura 8. Báscula para pesaje de la aceituna. 2025 (Elaboración propia).

Evaluación del nivel de suciedad

Cada camión descarga la aceituna que transporta en una de las tolvas de recepción. Durante la descarga en las tolvas, se realiza una evaluación del nivel de suciedad de la aceituna. Normalmente, las almazaras tienen tres líneas de recepción, una para aceituna limpia, otra para aceituna medianamente sucia y la última para aceituna muy sucia. Es importante determinar el nivel de suciedad ya que es lo que decide que pase por una línea de limpieza más exhaustiva o menos. La almazara es la encargada de determinar el nivel de suciedad de la aceituna en función de como la traiga el agricultor y el método de recogida del olivar.

La suciedad de la aceituna son los restos que puede llevar la aceituna consigo, que se han recogido durante la recolección de la aceituna. Son hojas, ramas, tierra, polvo y pequeñas piedras. Dependiendo de su forma de recolección, la aceituna puede tener un mayor o

menor nivel de suciedad. Algunos agricultores tienen su propia línea de limpieza de aceituna y la llevan ya limpia a la almazara.

4.2.2. Limpieza y clasificación de la aceituna

En esta fase, se hace pasar la aceituna por una línea de limpieza.

Las líneas de limpieza suelen incluir:

- Criba vibrante: Su función es separar ramas, piedras y otros cuerpos extraños grandes.
- Despalilladora: Su función es eliminar las hojas y tallos adheridos al fruto.



Figura 9. Criba vibrante. 2025 (Elaboración propia).



Figura 10. Despalilladora. 2025 (Elaboración propia).



Figura 11. Pila de desechos de la limpieza aceituna. (Elaboración propia).

Después de pasar por estas dos máquinas, la aceituna, clasificada inicialmente como limpia o sucia, se pasan ambas por una lavadora hidráulica.

- Lavadora hidráulica: La aceituna pasa por un baño de agua para retirar la tierra y polvo adheridos.



Figura 12. Lavadora hidráulica. 2025 (Elaboración propia).

4.2.3. Recogida y análisis de muestras

La aceituna, limpia y lavada, se transporta en cintas a las tolvas de alimentación del molino. Durante su paso por las cintas, se recogen tres muestras (de cada camión o lote), de entre 0,5-1,5 kg de aceituna, para llevarlas a analizar.



Figura 13. Mecanismo para recogida de muestras. 2025 (Elaboración propia).

En análisis de la aceituna se realiza principalmente para conseguir en rendimiento graso de la aceituna. El rendimiento graso de la aceituna es el porcentaje de contenido graso (aceite) que tiene la aceituna. Con los dos datos de cantidad total de aceituna entregada y rendimiento graso de la aceituna se determina la cantidad que tiene que pagar la almazara al agricultor (se le paga por el aceite extraído).

Las tres muestras realizadas de cada camión tienen una función clara: que el agricultor y la almazara lleguen a un acuerdo. Una de las muestras es llevada por el agricultor al laboratorio de su propia elección. Otra muestra es llevada por la almazara a un laboratorio de su elección o, en caso de que la almazara tenga su propio laboratorio, se analiza en la propia almazara.

En el laboratorio se analiza la muestra de aceituna y se determinan múltiples parámetros: el contenido en materia grasa total (rendimiento graso) y la humedad y materia volátil. El método utilizado para analizar la muestra en el laboratorio es el Método Soxhlet, que es el de la normativa española oficial (UNE) y aceptado en el sector. Además, este método también está alineado con lo estipulado por el COI (Consejo Agrícola Internacional) y es obligatorio para laboratorios acreditados y cooperativas que liquiden según rendimiento.

El método Soxhlet funciona de la siguiente manera:

- Molienda de la muestra: La muestra (sólo se utilizan unos 40-50 gramos de pasta de aceituna seca y molida) se introduce en un cartucho de extracción.
- Secado previo: Se mide la materia seca de la muestra (eliminando humedad a 105°C durante varias horas).
- Extracción con disolvente (normalmente éter de petróleo o hexano): durante 5-6 horas.
- Evaporación del disolvente: Lo que queda es el aceite extraído, que se pesa.
- Resultado expresado: Se expresa el resultado como porcentaje de aceite sobre materia seca o sobre aceituna entera fresca (rendimiento graso).

Este es el método más preciso y oficial. (Norma UNE 55030:2017). Sin embargo, es un proceso lento y requiere equipo de laboratorio. impidiendo que se puedan obtener resultados rápidos y en tiempo real.

En caso de que el rendimiento graso obtenido de las muestras tenga una gran diferencia (más de un punto porcentual), se lleva la tercera muestra a un laboratorio acordado por ambos, agricultor y almazara, como garantía. Se realiza la media del rendimiento graso de las muestras y así se consigue el acuerdo de rendimiento graso de la aceituna de cada camión.

4.2.4. Almacenamiento intermedio en tolva

Tras la limpieza, la aceituna se lleva en cintas a tolvas de acero inoxidable, donde se almacenan temporalmente. Estas tolvas son necesarias para regular el flujo de alimentación hacia el molino según la capacidad de molturación de éste. Las tolvas van descargando la aceituna hasta completar la capacidad del molino.



Figura 14. Cintas elevadoras para tolva de almacenamiento previo a molino. 2025 (Elaboración propia).

4.2.5. Molturación

La aceituna depositada por las tolvas se tritura en un molino de martillos. El molino consiste en un tambor metálico giratorio que contiene martillos móviles o fijos. La aceituna entra por una tolva y es triturada por los martillos al girar a gran velocidad. La masa oleosa o pasta de aceituna resultante pasa por una criba, una rejilla perforada, que es lo que decide la granulometría de la masa. En el molino se tritura el fruto completo (pulpa, piel y hueso) generando la pasta de aceituna o masa oleosa.

El funcionamiento del molino es sencillo, mediante impacto y presión.

- La aceituna entera, con hueso, entra en el interior del tambor.
- Los martillos giran y golpean la aceituna contra la superficie del tambor y entre ellos mismos, de esta manera rompen la aceituna, triturando las células de la pulpa, que es donde se encuentra el aceite.
- La pasta triturada se filtra, forzando a que salga por una criba con orificios calibrados.
- Por último, la aceituna, ya convertida en pasta, se dirige a las batidoras para continuar con la siguiente fase.



Figura 15. Interior molino de martillos. 2025 (Elaboración propia).

En el molino puede ajustarse la granulometría mediante cribas de diferente tamaño. La granulometría se refiere al tamaño de las partículas que componen una sustancia triturada o pulverizada, se refiere al tamaño de los fragmentos de la pasta de aceituna obtenida tras el paso por el molino.

La granulometría se suele ajustar dependiendo del tipo de aceituna que se va a procesar. Por ejemplo, la variedad arbequina es aceituna de menor tamaño, por tanto, se necesitará ajustar la granulometría más fina. Sin embargo, hay que tener precaución, ya que si la granulometría es muy gruesa hay riesgo de que las gotas de aceite permanezcan atrapadas en las células del fruto, reduciendo el rendimiento de la extracción (de aceite) posterior en el decanter. Por otro lado, si la granulometría es demasiado fina hay mayor riesgo de emulsiones de agua y aceite, creando una masa oleosa muy pastosa y difícil de centrifugar. Por ello hay que ajustar correctamente el diámetro de la rejilla por donde sale la pasta del molino.

En el molino, se deben controlar dos parámetros: la temperatura y el tamaño de partícula. La temperatura se debe controlar para evitar un sobrecalentamiento de la masa oleosa. El tamaño de partícula se debe controlar ya que influye en la eficiencia del batido, que es el siguiente paso.

4.2.6. Batido

Una vez pasada la aceituna por el molino y convertida en pasta, se traslada a la batidora, donde ocurrirá el batido. El batido es importante en cuanto a rendimiento y calidad del aceite, ya que a través del batido se facilita la liberación del aceite de oliva que contiene la pasta de aceituna. La función principal de la batidora, en términos más técnicos, es agilizar la coalescencia de las microgotas de aceite contenidas en la pasta de aceituna triturada procedente del molino. La coalescencia es la unión de las microgotas de aceite en gotas de mayor tamaño. El batido sirve para facilitar la separación del aceite de la pasta en la centrifugación posterior.

La batidora, se trata de un depósito horizontal de acero inoxidable. Dentro del depósito se encuentran una o varias palas giratorias que mezclan la pasta. Además, hay una camisa térmica que rodea el cuerpo de la batidora cuya función es aportar calor a través de la circulación de agua caliente por los tubos o serpentines. El objetivo es mantener la pasta en movimiento continuo y a una determinada temperatura, que es controlada, produciendo una homogeneización de la pasta que facilite la coalescencia. La velocidad de las palas se debe mantener baja, en caso contrario se encontrarían emulsiones

indeseadas. Las batidoras modernas llevan equipados sensores de temperatura y controladores de tiempo.



Figura 16. Cámara interior de batidora. 2025 (Elaboración propia).

En algunos casos, para almazaras de vanguardia que producen AOVE premium, la almazara puede tener una batidora más sofisticada con atmósfera inerte, que se utiliza para preservar la calidad del AOVE al máximo. De forma más detallada, la atmósfera inerte sirve para evitar la oxidación prematura de compuestos aromáticos y antioxidantes presentes en la pasta (compuestos fenólicos), mejorando la frescura y perfil sensorial del AOVE obtenido. La atmósfera inerte en la batidora consiste en que su cámara interior sea un entorno cerrado donde el oxígeno (O_2) se sustituye por un gas inerte, que suele ser nitrógeno (N_2) o dióxido de carbono (CO_2). Los gases inertes no reaccionan químicamente con el aceite ni con los demás compuestos de la pasta.

En la fase de batido se producen varias transformaciones fisicoquímicas en la pasta. En primer lugar, sucede la coalescencia ya explicada, la agrupación de microgotas de aceite en gotas de mayor tamaño. La temperatura juega un importante papel en la coalescencia, reduciendo la viscosidad del medio y mejorando el movimiento de las microgotas de AOVE. El movimiento de las palas y la temperatura de la camisa alrededor de la batidora hacen que se rompan parcialmente las posibles emulsiones que se hayan producido en el molino durante la molturación. Además, en la batidora se redistribuyen compuestos fenólicos y

volátiles. La temperatura ayuda a optimizar el rendimiento del aceite. Sin embargo, un exceso de temperatura o de tiempo de batido puede conllevar una pérdida significativa de la calidad del AOVE, aumentando la oxidación.

El control de los parámetros operativos de la batidora es esencial para obtener el equilibrio óptimo entre rendimiento y calidad. La temperatura de la pasta debe mantenerse entre 24°C y 28°C, evitando superar los 30°C. En cuanto al tiempo de batido, puede variar entre 20 y 60 minutos, dependiendo de la variedad, rendimiento graso y madurez de la aceituna. La velocidad de las palas de la batidora debe ser controlada y mantenida a bajo nivel para conseguir una mezcla homogénea sin emulsificaciones. Las emulsificaciones son indeseadas debido a que la mezcla entre aceite y agua hace difícil su posterior separación en el decanter. Por último, aunque no es un parámetro que se pueda controlar directamente con los mandos de la batidora, la humedad de la pasta se debe tener en cuenta, influye en la fluidez y eficiencia global del batido. La humedad de la pasta debe mantenerse en un 80% idealmente.

4.2.7. Extracción (Decanter-Centrifugación horizontal)

El decanter se trata de la máquina encargada de realizar la separación física de las fases sólida, oleosa y acuosa de la pasta de aceituna, previamente batida. El decanter es fundamental como fase en la extracción de AOVE en las almazaras modernas, es la sustitución de los antiguos métodos de presión (capachos) y lo llevan equipado la mayoría de almazaras por su eficacia y rendimiento de extracción.



Figura 17. Decanter bifásico desmontado para limpieza. 2025 (Elaboración propia almazara).

El principio de funcionamiento del decanter es mediante la fuerza centrífuga. El decanter es una centrífugadora horizontal de eje longitudinal. La pasta de aceituna batida se introduce en el interior del decanter, en su tambor rotatorio que gira a una alta velocidad de entre 3000 y 4000 rpm. Bajo la acción de la fuerza centrífuga, los componentes de la pasta quedan separados por densidad. El AOVE es menos denso que el agua de vegetación y la fase sólida, por tanto, se desplaza hacia el eje central y se evacúa por un extremo. La fase sólida, formada por restos de piel, pulpa y fragmentos de hueso, y el agua de vegetación se desplaza hacia la parte más externa del tambor y se evacuan por un canal distinto al aceite. El decanter incluye un tornillo helicoidal que constituye un sinfín y gira a velocidad diferencial con respecto al tambor y regula el arrastre y evacuación de los sólidos hacia la salida, es esencial para garantizar una separación adecuada del alperujo sin llevarse aceite.

Cabe destacar que, en función de la configuración del sistema de separación, podemos observar dos modelos de decanter:

- Decanter bifásico, que separa solo dos fases mediante el centrifugado: una fase de AOVE y otra fase de alperujo (una mezcla de agua de vegetación y sólidos).
- Decanter trifásico, que separa la pasta batida en tres fases: una fase de AOVE, otra de agua de vegetación (alpechín) y una última fase de orujo (sólido seco).

Actualmente, el más utilizado en España y Europa es el decanter de sistema bifásico. Este decanter tiene la ventaja de no requerir la adición de agua durante el centrifugado y por ello ser más sostenible (menor consumo hídrico y menos residuos líquidos).

Controlar parámetros como la velocidad de rotación del tambor, la velocidad diferencial del sinfín y el caudal de alimentación es esencial para que cumpla su función el decanter, separando eficazmente el aceite y evitando pérdidas de AOVE. Una regulación incorrecta en esta fase del proceso puede perjudicar el rendimiento y calidad del aceite final.

4.2.8. Separación final del aceite

A pesar de que ya se extrae el aceite en el decanter, el aceite que se obtiene no está listo para comercializar, le falta limpieza. El aceite al salir del decanter se denomina aceite en rama y aún lleva pequeñas cantidades de agua de vegetación y partículas sólidas en suspensión que tienen que eliminarse. Esta separación final del aceite se realiza para garantizar la estabilidad y calidad del producto final. Para llevar a cabo la separación, se usa una centrífugadora vertical especialmente diseñada para esta función. A través de una separación centrífuga de alta velocidad se realiza la separación, refinando el aceite.



Figura 18. Centrifugadora vertical de una almazara. Fuente: Pieralisi. [21]

El mecanismo de la centrifugadora está compuesto por un tambor equipado por un conjunto de discos cónicos apilados o paquete de discos que aumentan la superficie dentro de la máquina con el objetivo de aumentar la efectividad de la separación. Los discos clarifican de forma eficiente el AOVE a través de múltiples interfaces en las que las fases se pueden separar. Además, la centrifugadora se compone de un sistema de válvulas automáticas que mantienen un proceso de evacuación continua y controlada de los residuos que se quieren separar.

Lo que se consigue con esta operación es un aceite estable, limpio y clarificado, sin impurezas, ya preparado para su almacenamiento. La centrifugación vertical es un proceso físico, pero evita la fermentación de los residuos y que se oxide el aceite a largo plazo.

Las centrifugadoras modernas llevan sistemas sofisticados, por lo que están automatizadas de forma que, a través de un sistema de control digital, se gestiona la velocidad, así como el almacenamiento y descarga de residuos.

4.2.9. Almacenamiento del AOVE

Al terminar todo el proceso de extracción, el aceite pasa a almacenarse, donde se preserva el aceite garantizando la calidad del producto hasta su comercialización. El aceite ya está libre de impurezas, pero sigue siendo sensible a la oxidación, la luz y las variaciones de temperatura.

El almacenamiento del AOVE se realiza en depósitos de acero inoxidable AISI 304 o 316, que destaca por su inercia química, resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza. Los

depósitos están diseñados con superficies lisas y acabados sanitarios que impiden que se acumulen residuos y la proliferación de microorganismos, son depósitos diseñados para uso alimentario. Para minimizar la oxidación del AOVE a través del contacto con el aire se utilizan tapas flotantes o válvulas herméticas en los depósitos.



Figura 19. Depósitos almacenamiento AOVE. 2025 (Elaboración propia).

Los dos parámetros clave para la conservación y correcto almacenamiento del AOVE son el control de la temperatura y la protección frente a la luz:

- La temperatura del AOVE debe mantenerse entre 16-20°C. El control de temperatura es tan importante porque las temperaturas elevadas aceleran la oxidación y las bajas pueden hacer que el AOVE se solidifique parcialmente y se formen cristales de estearina. Para asegurar el control térmico del AOVE, las almazaras tienen sistemas de climatización o camisas térmicas en los depósitos que mantienen la temperatura estable.
- La protección frente a la luz es otro factor clave por los riesgos del AOVE frente a la radiación ultravioleta, que pueden descomponer compuestos fenólicos y clorofilas que afectan a la estabilidad del aceite y perjudican su calidad sensorial, como el color y sabor. Por esta misma razón, los depósitos están ubicados en salas cubiertas, preferiblemente oscuras, con iluminación controlada.

Por último, el control analítico periódico es esencial para garantizar las condiciones necesarias del aceite para ser AOVE. Se realizan controles periódicos de peróxidos, acidez, K270 y K232 y otras pruebas. Además, se registra la trazabilidad por lote para su continuo control de origen del aceite y su evolución.

4.3. Principales fuentes de inexactitud y margen de mejora

La almazara, a pesar de ser un negocio rentable en la mayoría de los casos, tiene múltiples fallos y un amplio margen de mejora. La tecnología es la respuesta. Las almazaras necesitan hacer uso de la innovación y de las tecnologías avanzadas, algunas ya utilizadas en otros sectores alimentarios, para automatizarse y optimizar su rendimiento.

La calidad y cantidad del AOVE producido, aunque depende del equipo utilizado, necesita fiabilidad en los datos generados a lo largo del proceso de producción. Las imprecisiones del muestreo, la falta de digitalización y trazabilidad y la ausencia de registro de los datos, afectan a la almazara, como negocio, tanto en el rendimiento durante la producción como en la transparencia que se le da al agricultor. Por ello se van a identificar y analizar las principales fuentes de inexactitud de la almazara moderna.

Fuentes de inexactitud

- **Falta de representación del muestreo.** Como ya se ha explicado, el procedimiento de muestreo consiste en extraer hasta 3 muestras, de forma manual, de entre 0,5-1,5 kg de aceituna. Muestras que, para un camión de 50.000 kg de aceituna, aunque fuera representativa la muestra, el error humano en la recogida puede ser una considerable pérdida económica para uno de los actores en el proceso, agricultor o almazara. El proceso analítico desarrollado en el laboratorio, método Soxhlet, es muy exacto, pero basta con que alguna de las muestras recogidas no sea homogénea para comprometer los resultados del estudio. Esta inexactitud inicial, al ser el primer dato cuantificable sobre el aceite potencial que se va a extraer, se propaga por todo el proceso. Aunque se digitalizara y automatizara la almazara en función de un registro históricos de las campañas pasadas, si el primer dato es erróneo, generaría unos resultados distorsionados de la realidad, haciendo imposible la optimización del proceso de la almazara.
- **Dependencia del criterio humano y falta de trazabilidad.** La existente dependencia casi exclusiva del criterio humano, del maestro almazarero, en el proceso actual de producción de AOVE en la almazara supone otro gran foco de inexactitudes. El maestro almazarero es necesario por su conocimiento en cuanto

al fruto y funcionamiento de las instalaciones, sin embargo, dicho conocimiento no está respaldado por datos objetivos y sistemas digitalizados que registren las decisiones tomadas ni los parámetros operativos aplicados. Como consecuencia, el proceso depende de la experiencia del maestro almazarero que, aunque se base en operaciones previas similares, entra en juego el factor humano y el error que conlleva depender de ello, sin una lógica con datos trazables y verificables. En la práctica, la carencia de trazabilidad y de registro de datos limita la posibilidad de analizar, de forma objetiva, la combinación de parámetros operativos óptimos para maximizar la cantidad de AOVE extraído bajo unas condiciones de aceituna determinadas, también dificultando la capacidad de mejora continua de la almazara. El exceso de dependencia del factor humano y de la experiencia del maestro almazarero, compromete la maximización del rendimiento del proceso junto con la transparencia para el agricultor del procesamiento de su cosecha.

- **Carencia de registro de datos durante la producción de AOVE.** La ausencia de un sistema continuo de registro de datos operativos durante las distintas etapas del proceso productivo es otra fuente de inexactitudes. El problema no recae en la falta de maquinaria con capacidad de ajustar parámetros y recoger variables, sino con la falta de registro de los datos, que dificulta la mejora del proceso de producción de AOVE en la almazara. Las almazaras generan una gran cantidad de información técnica como temperaturas, tiempos, velocidades de rotación, caudales, rendimiento estimado, pero no se registran ni conservan. La carencia de un registro de los datos de producción de AOVE dificulta la capacidad de análisis retrospectivo, comparación de campañas o identificación de puntos críticos de mejora. La mayoría de maquinaria presente en la almazara moderna dispone de pantallas o displays que muestran valores en tiempo real, sin embargo, estos datos, una vez procesada la aceituna, no quedan registrados ni almacenados en bases de datos ni utilizados para las siguientes recepciones de aceituna. Esta carencia de almacenamiento de parámetros técnicos en bases de datos también limita la posibilidad de crear modelos predictivos que ayuden a la toma de decisiones en futuras campañas. Siendo el sector del AOVE de tal importancia en el sector agroalimentario y utilizándose tecnologías avanzadas en otros sectores, representa una debilidad estructural que impide el avance de las almazaras hacia un modelo de producción más eficiente, trazable y competitivo.
- **Ausencia de sensores estratégicos.** A pesar de que la maquinaria en la almazara moderna disponga de displays con parámetros en tiempo real que son esenciales

para el control de la extracción de AOVE, en muchas almazaras no se dispone de suficientes sensores para controlar y mejorar el proceso. No se dispone de medidores en línea de la humedad de la pasta, el control de este parámetro en la batidora es esencial para maximizar el rendimiento de la pasta de aceituna que se procesa. No disponer de un sensor de la humedad (valor óptimo 80% de humedad de la pasta de aceituna) lleva a una toma de decisiones basada en otros parámetros sí controlados o la experiencia del maestro almazarero, en lugar de datos objetivos. Tampoco se suele tener un control continuo de la cantidad de aceite extraído tras la última fase, la centrifugación vertical, impidiendo conocer con exactitud el volumen de aceite extraído en cada lote. La falta de esta información como resultado de la ausencia de estos dos sensores no presentes en el proceso de producción de AOVE representa una limitación técnica para la optimización del proceso, la eficiencia energética y la capacidad comparativa de rendimiento graso real frente al rendimiento graso estimado en el inicio del proceso.

4.4. Impacto de la inexactitud y falta de trazabilidad sobre el agricultor y la almazara

Las inexactitudes y falta de trazabilidad no sólo afectan a la almazara, sino también al agricultor.

Para el agricultor, el principal problema que encuentra es la transparencia del proceso, necesita tener más datos sobre el procesamiento de su aceituna para saber que se le paga un precio justo. La falta de información e inexactitudes en el proceso de recepción, análisis y valoración de la aceituna le produce una recurrente incertidumbre y desconfianza contra la almazara en cada campaña. Como se ha explicado, la estimación para el rendimiento graso de la aceituna se realiza a partir de entre 2-3 muestras de entre 0,8 y 1,5 kg de aceituna recogidas en la cinta elevadora tras la limpieza, que de 50.000 kg de aceituna el camión, puede haber mucho error, incluso si el método analítico de obtención del rendimiento graso fuera exacto. Este método, es la forma de acordar el rendimiento graso de un camión de aceituna y, por tanto, del precio que se le paga al agricultor. Sin embargo, si ese resultado tiene un error en la recogida de muestra y no representa fielmente al camión, no es sólo el agricultor el que puede perder, sino la almazara también. Pero la solución de la almazara para no perder es bajar 3,5 puntos porcentuales al rendimiento graso que salga, aumentando las posibilidades de que el que pierda con esto sea el agricultor y disminuyendo las de la almazara. Esto no le conviene al agricultor ya que implica que la valoración económica que se realiza del lote pueda no representar fielmente

la aceituna que se entrega. Además, la falta de transparencia en los datos operativos, como el peso exacto de la pasta procesada o el caudal final de aceite extraído, hace imposible para el agricultor tener una trazabilidad clara de su producto durante las distintas fases de la producción de aceite en la almazara. Esta situación, que afecta a la confianza entre el agricultor y la almazara, no es culpa de la almazara porque es el convenio que se tiene y el acuerdo que se hace entre el agricultor y la almazara. Sin embargo, puede que haya una solución que beneficie a ambos.

Para la almazara, que no haya un registro de datos de la maquinaria del proceso de producción del AOVE y la falta de más sensores durante el proceso, supone una gran limitación en términos operativos, estratégicos y regulatorios. La fuerte dependencia en la experiencia del personal para la gestión y control del proceso, sin un fuerte respaldo en datos técnicos registrados, hace imposible realizar un análisis objetivo de la eficiencia de cada fase y del proceso completo. Hasta el momento, no se sabe con exactitud, el aceite esperado por el rendimiento graso de la aceituna y la cantidad exacta de AOVE que realmente se extrae tras el proceso. Incluso si el proceso de muestreo fuera representativo, los resultados no se obtienen hasta dos o tres días después de la recepción de la aceituna que, para entonces, ya está procesada. La almazara, debido a la carencia de datos y del registro de los mismos, no puede identificar los puntos críticos de mejora ni evaluar el rendimiento técnico del proceso mecánico en sus instalaciones. Al no existir una base de datos histórica que permita comparar campañas, corregir errores o ajustar los parámetros en función de las características del fruto, dificulta la toma de decisiones a medio y largo plazo de la almazara durante el proceso de extracción de AOVE. Con un punto de vista más comercial, una almazara capaz de demostrar, con datos objetivos, su trazabilidad, eficiencia y transparencia del proceso gana una ventaja competitiva frente a las almazaras más tradicionales. En definitiva, la digitalización e inversión tecnológica tiene un doble beneficio para la almazara, la optimización de su proceso a través del registro de datos y adaptación para el tipo de aceituna y la ventaja competitiva que supone ofrecer transparencia y trazabilidad al agricultor.

4.5. Márgenes de mejora a través de la implementación tecnológica y la automatización

La solución para superar estas fuentes de inexactitud que afectan al proceso de producción de AOVE es a través de la tecnología, la integración de tecnologías digitales y sistemas de automatización en la almazara. A través de la tecnología, se puede capturar, registrar y analizar en tiempo real variables críticas actualmente no controladas o sujetas

a la estimación insuficiencia o el factor humano. La sustitución de prácticas manuales por sistemas conectados y sensorizados crea una oportunidad de transformación de la almazara en una instalación más precisa, eficiente y trazable que, en términos comerciales, presenta una ventaja tanto para los agricultores como para la almazara.

Uno de los principales avances que ofrece la automatización es la oportunidad de crear una producción de AOVE con completa trazabilidad por lote en tiempo real, desde la recepción de la aceituna hasta el almacenamiento del aceite. Esto permitiría conseguir un conjunto de datos objetivos y continuos, controlar las velocidades de rotación, temperatura, tiempos en el molino, batidora y decanter y demás parámetros de maquinaria. Esta trazabilidad, crea la oportunidad de crear bases de datos históricas de campañas pasadas y la utilización futura de modelos predictivos para maximizar la producción en función de datos sobre la aceituna como su variedad, condiciones climáticas y momento de recogida.

La automatización reduce la dependencia del criterio humano, bajando el riesgo de errores operativos y variabilidad entre lotes y campañas. La función que desempeña el maestro almazarero, sin ser sustituida, se complementaría con el análisis de los datos recogidos, ayudando en la toma de decisiones de una forma más objetiva.

Desde el punto de vista económico, la mejora en el control de procesos provoca una subida directa del rendimiento de la producción de AOVE. Ganando la ventaja de obtención de información en directo, le ofrece un margen de mejora a la almazara, pudiendo ser capaz de corregir posibles errores del proceso como evitar emulsiones no deseadas, ahorro energético y maximización de la producción y calidad del AOVE. La inversión en tecnológica, a medio y largo plazo, se convierte en un aumento de la producción de aceite y un ahorro energético, aumentando los beneficios de la almazara y disminuyendo ciertos costes.

Ofrecer transparencia y confianza al agricultor y demostrarle que se le paga un precio justo a través de datos precisos como un rendimiento graso representativo y en directo y la producción exacta de AOVE de su lote, supone una ventaja competitiva única en el sector. La relación entre almazara y agricultor se fortalece reduciendo conflictos innecesarios.

En conclusión, la inversión tecnológica en la almazara, además de solucionar problemas de inexactitud y aumentar en rendimiento propio de las instalaciones, transforma el modelo de producción, modernizándolo hacia la calidad, la eficiencia y la sostenibilidad. La evolución tecnológica de la almazara es necesaria para evitar su obsolescencia y seguir el ritmo a otros sectores alimentarios dentro de la industria, manteniendo así su competitividad en la economía.

Almazara

5. Capítulo V: Costes de Producción y Rentabilidad en la Almazara

Conocer, de forma detallada, los costes de producción que soporta una almazara anualmente es clave para mantener la rentabilidad y sostenibilidad económica del proceso de transformación de la aceituna en aceite de oliva virgen extra (AOVE).

Al fin y al cabo, una almazara es un negocio más y se enfrenta a amenazas como la creciente competitividad internacional y las oscilaciones y volatilidad del precio del AOVE en cada campaña. Controlar los costes operativos y estructurales es un factor estratégico fundamental para mantener la rentabilidad de la almazara.

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), los costes operativos en almazaras durante la transformación de la aceituna en aceite pueden llegar a representar entre el 15% y el 25% del coste total de obtención del aceite, dependiendo del grado de tecnificación, la escala de producción y el modelo de gestión empresarial (MAPA, 2021).

Los costes de una almazara consisten en, además del consumo energético y gasto de personal, también los gastos asociados a mantenimiento, depreciación de maquinaria, cumplimiento normativo, gestión de subproductos y comercialización.

La rentabilidad de la almazara la determinan factores como la eficiencia en el uso de los recursos, la cantidad y calidad de aceituna recibida por campaña, la estacionalidad de la campaña y otros factores que se comentarán más adelante.

En este capítulo, se va a hacer un desarrollo explicativo de los principales costes de una almazara en el ámbito de producción, los factores que afectan la eficiencia y rentabilidad de la almazara y el impacto financiero de la precisión en el proceso. Se va a realizar un análisis de los costes de producción del funcionamiento de la almazara desde un punto de vista industrial como instalación de transformación agroalimentaria. Con esto se quiere decir que se estudian exclusivamente los costes derivados de los procesos de producción de AOVE (molturación, extracción y almacenamiento del AOVE), sin considerar el coste de adquisición de la aceituna como materia prima.

Almazara

5.1. Costes de producción de la almazara

3.1. ESQUEMA DE LA CADENA DE VALOR DEL AOVE



Figura 20. Esquema de la cadena de valor del AOVE. 2022, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación Gobierno de España. [22]

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) los costes de las almazaras se organizan en las siguientes categorías:

- **Gastos de personal:** Salarios, seguridad social y otras remuneraciones al personal de campaña y permanente.
- **Amortización de equipos, instalaciones y máquinas:** Depreciación contable de las inversiones en maquinaria, edificios, depósitos, etc.
- **Suministros:** Energía eléctrica, agua, combustible y otros consumos energéticos.
- **Reparación y conservación:** Costes de mantenimiento correctivo y preventivo de instalaciones y maquinaria.
- **Impuestos y tributos:** Impuestos locales, cánones y tasas específicas (p. ej., tasa de vertido, licencias).
- **Seguros:** Seguros obligatorios y complementarios: maquinaria, responsabilidad civil, incendios.
- **Gestión del orujo, hueso y de los efluentes:** Costes (o ingresos) derivados de la retirada, tratamiento o valoración de subproductos.
- **Gastos financieros:** Intereses de préstamos, comisiones bancarias, gastos financieros derivados de inversiones.

Almazara

- **Gastos generales:** Telefonía, limpieza, administración, auditorías, contabilidad, etc.
- **Otros gastos;** Todo lo que no encaje en las categorías anteriores: formación, promoción, asesoría técnica, etc.

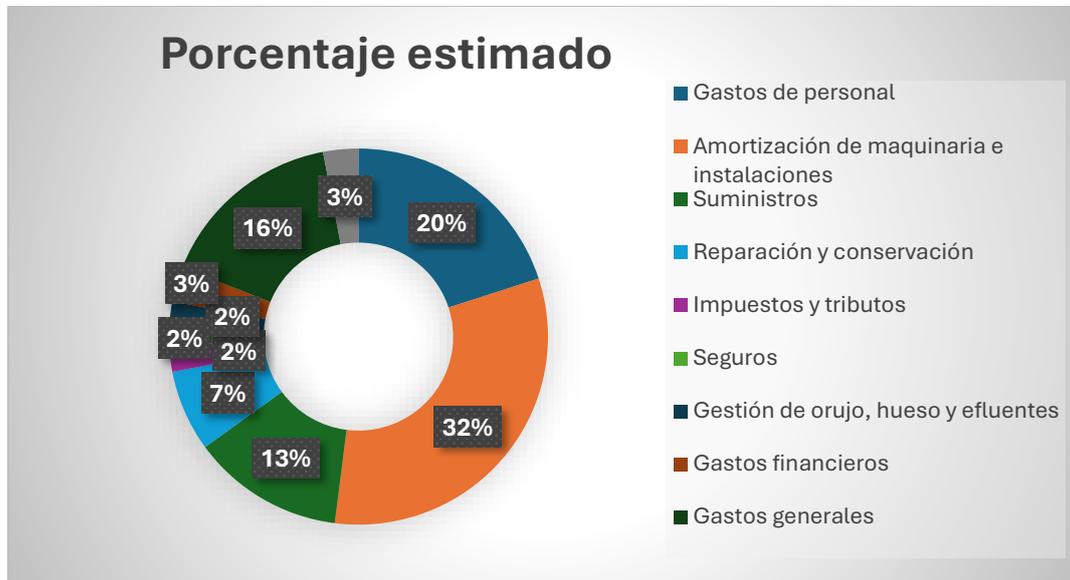


Figura 21. Distribución estimada de los costes de producción de una almazara según la categorización del MAPA. 2025 (Elaboración propia).

Costes operativos y estructurales:

Tipo de coste	Clasificación	Porcentaje estimado sobre el coste total de producción
Personal	Coste estructural/operativo	20%
Amortización	Coste estructural	32%
Suministros	Coste operativo	13%
Reparación y conservación	Coste estructural	7%
Impuestos y tributos	Coste estructural	2%
Seguros	Coste estructural	2%
Gestión subproductos	Coste operativo	2%
Gastos financieros	Coste estructural	3%
Gastos generales	Coste estructural	16%
Otros Gastos	Coste estructural/operativo	3%

Figura 22. Tabla de clasificación de costes de producción de una almazara. 2025 (Elaboración propia). [23]

[24] [25]

Almazara

Los costes de producción de una almazara en una campaña se pueden dividir en dos bloques: costes fijos (estructurales) y costes variables (operativos). Ambos influyen directamente en la rentabilidad del proceso y dependen del volumen de aceituna procesada, del grado de tecnificación, de la eficiencia energética de la almazara y del modelo de negocio (almazara o cooperativa).

Los costes estructurales o fijos son aquellos gastos que se mantienen constantes a lo largo del tiempo y no dependen de variables como el volumen de aceituna procesado durante la campaña. Son los costes relacionados con el mantenimiento operativo de la almazara, que se tienen incluso cuando la almazara está inactiva o en baja producción. Identificar los costes estructurales de una almazara es clave para evaluar la viabilidad de la producción de una almazara a largo plazo y para la toma de decisiones en cuanto a inversiones y estrategias.

La amortización de la maquinaria, instalaciones y equipos es el principal coste estructural en la producción de una almazara. Esto consiste en la depreciación contable de los activos tangibles que forman parte de la almazara, desde la maquinaria (molino, batidora, decanter, centrífuga vertical) hasta los sistemas de almacenamiento, bombas, sistemas de climatización y laboratorios. Estos activos tienen una amortización por plazos que oscilan hasta los 18 años según la Agencia Tributaria Española dependiendo del tipo de maquinaria con el que cuente la almazara y la vida útil que se estime. La amortización de la almazara no tiene una salida directa de dinero, pero se debe contabilizar como coste estructural ya que representa la pérdida de valor de los componentes de las instalaciones y prepara a la almazara para futuras reinversiones en maquinaria, instalaciones o equipo, que tenga que hacer para mantenerse en producción.

El personal contratado de forma fija en la almazara supone otro coste estructural importante. Esta categoría incluye los sueldos y cotizaciones sociales del maestro almazarero, responsable de supervisar todo el proceso de producción y controlar parámetros técnicos clave, también se incluye el personal técnico, administrativo, de mantenimiento o de laboratorio que trabaja durante y fuera del periodo de campaña. Los trabajadores que entran dentro de esta categoría son los que trabajan durante todo el año en las instalaciones y no dependen del volumen de trabajo que haya durante el periodo de campaña, esto supone un coste fijo a tener en cuenta en el presupuesto anual de la almazara. En el caso del personal contratado por campaña o de forma temporal en periodos de gran volumen de producción supondrían un coste operativo.

Almazara

Los seguros entran dentro de la categoría de costes fijos. Las almazaras deben tener seguros para cubrir ciertas situaciones como riesgos industriales, incendios, daños por inundación o responsabilidad civil, también existen seguros exclusivos para maquinaria, vehículos utilizados en la almazara o riesgos laborales. El coste de los seguros es una cantidad económica que puede aumentar o disminuir según el tamaño y capacidad de las instalaciones y del grado de automatización de la almazara. Hay seguros de carácter obligatorio por la normativa y otros no obligatorios, pero igualmente necesarios. Igualmente, el coste de los seguros, al no depender del volumen de producción se trata de un coste fijo o estructural.

Los gastos financieros y generales también pertenecen a los costes fijos de producción de una almazara, tienen especial importancia para almazara que hayan realizado alguna inversión recientemente. En esta categoría entran los intereses de préstamos bancarios para la compra de maquinaria, ampliaciones de las instalaciones de la almazara o instalación de sistemas de digitalización y eficiencia energética. Además, también se incluyen en gastos procedentes de las comisiones o costes por línea de crédito. Estos gastos, a pesar de no verse como una salida directa de dinero por la producción durante el año, constituyen una suma significativa en la rentabilidad de la almazara.

Los costes asociados a la reparación y conservación (o mantenimiento) también se tratan de costes estructurales, ya que se tiene en cuenta la necesidad de reparaciones o mantenimiento periódico que vaya a tener la almazara.

Por último, los gastos generales de funcionamiento, que pueden ser pagos de licencias, pago de tasas municipales, servicios de asesoría contable o legal, auditorías o certificaciones y otros gastos relacionados se asumen de forma anual.

Teniendo en cuenta todo lo explicado, los costes fijos o estructurales de producción que tiene una almazara pueden llegar a representar el 80% del total de los costes anuales de producción de una almazara. Su mayor o menor porcentaje depende de factores como el tamaño y capacidad de la almazara, su grado de automatización y su régimen de funcionamiento (temporal o permanente). Una adecuada gestión y administración de los costes estructurales es clave para asegurar la sostenibilidad económica de la planta en el largo plazo.

Los costes operativos o variables son los costes que varían según el volumen de actividad de la almazara durante la campaña del AOVE. Por ejemplo, a mayor cantidad de aceituna

Almazara

procesada, el consumo energético de las instalaciones será mayor, al igual que el uso de materiales, la generación de residuos y la contratación de personal temporal durante la campaña. Estos costes oscilan entre campaña y campaña y, en el corto plazo, determinan la rentabilidad del proceso industrial de la almazara.

El coste más significativo dentro del bloque de costes operativos lo constituyen los suministros, siendo la mayor parte la energía eléctrica utilizada en el proceso de producción. Para realizar las fases del proceso como la molturación del molino, el batido, separación por decanter, purificación por centrifugación vertical requieren un considerable consumo eléctrico de forma constante. Además, las bombas y sistemas de climatización, que están en funcionamiento durante todo el proceso, se suman a este consumo eléctrico. Junto a la electricidad, se añaden los gastos relaciones con el suministro de agua, necesario para la fase de lavado de la aceituna, los sistemas de climatización que necesiten de agua como los de la batidora y el agua necesaria para la limpieza periódica y final de las instalaciones durante la campaña. El uso de combustibles fósiles en procesos térmicos de control de temperaturas o en caso de tener bombas hidráulicas de combustión también suponen un gasto que va dentro de los suministros. Los suministros suponen el 13% del coste total durante el proceso de producción de una almazara convencional.

La mano de obra o personal temporal de campaña, únicamente presente en los meses de campaña como su propio nombre indica, es otro coste operativo clave. Los trabajadores temporales llevan a cabo funciones que se pueden considerar de menor responsabilidad y formación técnica, como la recepción de la aceituna, el control de cierta maquinaria, la toma de muestras, la limpieza de las instalaciones y la logística de la almazara. Este personal depende del tamaño y capacidad que tenga la almazara, así como del grado de digitalización y automatización de las instalaciones.

Finalmente, la gestión de residuos y subproductos como alperujos, orujos, huesos de la aceituna, agua de vegetación (alpechín), residuos procedentes de la limpieza también van dentro de los costes operativos. Su gestión, aunque haya un aprovechamiento del subproducto o se haga una retirada externa a través de la venta del subproducto genera un coste o un ingreso según el modelo que tenga la almazara.

Una adecuada gestión y administración de estos costes variables hace, a corto plazo, una diferencia significativa sobre el presupuesto necesario para la campaña y afecta a su

Almazara

rentabilidad. Tiene importancia detenerse a analizar los costes teniendo en cuenta la volatilidad y oscilación de los precios del AOVE y el aumento de los costes energéticos.

5.2. Factores que afectan la eficiencia y rentabilidad

Una almazara, como ya se ha mencionado anteriormente, es un negocio, una empresa, su prioridad es garantizar la rentabilidad y eficiencia. El control interno de los procesos es un factor determinante para mantener la almazara rentable y eficiente, por ello tiene que estar en continua revisión y mejora. Estudios publicados por la editorial científica suiza MDPI, afirman a través del método DEA (Análisis Envolvente de Datos) como el tamaño de la empresa, el nivel técnico y organizativo y la inversión tecnológica influyen notablemente en el ámbito económico de esta. [26][27] Además, informes del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y la Cátedra de Aceites de Jaén insisten en la importancia del coste energético y el volumen de producción en el margen de coste operativo de las almazaras. [28][29]

A través de la siguiente tabla, se comprende de mejor manera los factores a tener en cuenta en el control interno de los procesos en una almazara:

Factor	Descripción	Impacto en la eficiencia y rentabilidad
1. Volumen y escala de producción	Cantidad total de aceituna procesada durante la campaña	Una mayor productividad diluye los costes fijos entre más kg de aceite
2. Automatización y digitalización	Uso de sensores, caudalímetros y control de trazabilidad	Evita errores, mejora el control y ahorro energético
3. Eficiencia energética	Consumo energético de la almazara en la producción	Supone casi un 20% del coste de producción, su eficiencia reduce el consumo
4. Formación especializada del personal	Formación técnica del maestro almazarero y personal técnico	Aumenta el rendimiento del proceso y reduce los errores de factor humano y operativos

Almazara

5. Gestión de residuos/subproductos	Revaloración del alperujos, orujos, hueso y agua de vegetación	Genera ingresos y ahorra coste de eliminación de residuos
--	--	---

Figura 23. Tabla de factores del control interno de los procesos de una almazara. 2025 (Elaboración propia).

1. Volumen y escala de producción

La escala o tamaño de la producción es esencial para determinar la eficiencia productiva de la almazara. Dios-Palomares y Martínez-Paz (2011) [30] midieron usando el método DEA (Data Envelopment Analysis) con múltiples salidas como la cantidad y calidad del aceite y el impacto ambiental, descubriendo como el tamaño de la almazara y la profesionalización de los superiores de la almazara se correlacionan positivamente con los índices de eficiencia técnica y económica. Además, demostraron como las almazaras como empresa privada son más eficientes en términos operativos que las grandes cooperativas por su motivación hacia la inversión tecnológica y gestión empresarial más disciplinada.

El estudio de Rafaela Dios-Palomares demuestra como las almazaras más grandes (mayor volumen de producción) tienden a tener costes medios más bajos por kg de aceituna procesada. Es lógico, cuanto más aceituna procesa una almazara, los costes fijos o estructurales se dividen, reduciendo el coste total por aceituna (coste fijo + coste variable). Además, al tratarse de almazaras de mayor capacidad y dimensión, adquieren una mayor capacidad de negociación con las compañías energéticas y servicios técnicos, reduciendo así algunos de los costes variables más importantes de la almazara. Sin embargo, las almazaras de menor tamaño con una pequeña capacidad de producción asumen mayores costes de producción (€/kg de aceituna), lo que produce que tengan menor margen de beneficio y se les dificulten cuestiones como inversiones en tecnología para mejorar su proceso de producción interno.

A través de las siguientes tablas de los costes de producción de las campañas de 2018-19 y 2019-20 elaboradas por Manuel Parras Rosa, catedrático de la Universidad de Jaén, se aprecia la disminución de costes en €/kg de AOVE producido a medida que aumenta el volumen de producción de la almazara:

Almazara

Costes	Hasta 1.000 t	De 1.000 a 2.500 t	De 2.500 a 5.000 t	De 5.000 a 10.000 t	Mayores a 10.000 t
Personal	0,101	0,052	0,043	0,040	0,035
Amortización	0,091	0,076	0,053	0,050	0,045
Suministros	0,045	0,037	0,040	0,027	0,023
Reparación y conservación	0,048	0,023	0,021	0,008	0,010
Impuestos y tributos	0,004	0,003	0,005	0,002	0,002
Seguros	0,007	0,003	0,004	0,004	0,002
Gestión subproductos	0,007	0,005	0,001	0,002	0,004
Gastos financieros	0,013	0,004	0,002	0,001	0,001
Gastos generales	0,065	0,055	0,041	0,032	0,017
Otros gastos	0,004	0,007	0,009	0,003	0,003
Total gastos (kg/AOVE)	0,384	0,265	0,219	0,169	0,142

Figura 24. Tabla de costes unitarios de las almazaras, según tamaño, en la campaña 2018/19 en €/kg AOVE.

[24]

Costes	Hasta 1.000 t	De 1.000 a 2.500 t	De 2.500 a 5.000 t	De 5.000 a 10.000 t	Mayores a 10.000 t
Personal	0,090	0,047	0,038	0,036	0,032
Amortización	0,145	0,121	0,084	0,080	0,072
Suministros	0,040	0,033	0,035	0,024	0,021
Reparación y conservación	0,043	0,020	0,019	0,007	0,009
Impuestos y tributos	0,006	0,004	0,008	0,004	0,003
Seguros	0,006	0,003	0,004	0,004	0,002
Gestión subproductos	0,006	0,004	0,000	0,001	0,003
Gastos financieros	0,021	0,006	0,004	0,001	0,001
Gastos generales	0,065	0,055	0,041	0,032	0,017
Otros gastos	0,007	0,015	0,019	0,006	0,005
Total gastos (kg/AOVE)	0,429	0,308	0,253	0,195	0,165

Figura 25. Tabla de costes unitarios de las almazaras, según tamaño, en la campaña 2019/20 en €/kg AOVE.

[24]

2. Automatización y digitalización

El grado de automatización y digitalización del proceso industrial que desarrolla una almazara tiene un impacto notable sobre la eficiencia. Las almazaras más modernas, con maquinaria avanzada y control del proceso mediante sensores, ganan trazabilidad en la

Almazara

extracción del aceite. La trazabilidad se traduce en una reducción de los errores operativos, el aprovechamiento eficiente de la energía y un producto final (AOVE) de mayor calidad.

La digitalización permite el registro histórico de datos, que ayuda a ajustar los equipos en función del tipo de aceituna que se entregue y a tomar decisiones con una base de datos objetiva.

La gran dependencia de la almazara sobre el maestro almazarero puede ocasionar problemas por depender del factor humano. Al depender de la experiencia de una persona y no tener un registro de datos objetivos, la almazara se arriesga a cometer errores operativos, inexactitudes, aumento de costes operativos y pérdida de calidad en el producto.

3. Eficiencia energética

El coste energético es uno de los principales costes variables de la almazara, representando el coste de los suministros en torno a un 20% de coste total de producción de AOVE. Según la Cátedra de Aceite de Jaén [29], el coste eléctrico ha aumentado un 40% debido a la inestabilidad del precio de la energía eléctrica. Las almazaras que invierten en sistemas de autoconsumo como placas fotovoltaicas, recuperación de calor o transformación energética de la biomasa son capaces de reducir, en cierta medida, su consumo y dependencia energética, mejorando su rentabilidad.

4. Formación especializada del personal

Tener un personal con una adecuada formación técnica, especialmente el maestro almazarero, determina la eficiencia de toda la planta de producción. En muchas zonas productoras hay escasez preocupante de personal cualificado que estén formados en las tecnologías que implementan las nuevas máquinas de la almazara, haciendo compleja la innovación tecnológica por falta de personal apto para controlar el funcionamiento de las máquinas de producción. Además, al haber una gran demanda de este tipo de personal, implica poca competencia laboral entre trabajadores técnicos de almazara, reduciendo la motivación de formarse en nuevas tecnologías y en el fomento de la inversión tecnológica. La formación continua del personal es una estrategia clave para mejorar la eficiencia de los procesos internos de producción de la almazara.

Almazara

5. Gestión de residuos/subproductos

La valoración de subproductos como alperujos, orujos, hueso de aceituna y agua de vegetación son fuentes de ingresos secundarias que aumentan la rentabilidad de la almazara. Una economía de aprovechamiento o economía circular fomenta la sostenibilidad de la almazara generando ingresos adicionales y reduciendo costes de eliminación de residuos. La utilización de alperujos para extracción de aceite de menor calidad, la venta o utilización del hueso como biocombustible y el uso del agua de vegetación como agua de regadío para explotaciones agrarias son ejemplos de cómo estos subproductos, muchas veces considerados como residuos, producen un aumento de los márgenes de beneficio de la almazara frente a aquellas que se desentienden externalizando su gestión. [28].

6. Capítulo VI: Propuesta Tecnológica para la Mejora de la Producción de AOVE en la Almazara

6.1. Problema y objetivo principal

Tras el contexto explicado sobre la situación actual del sector del AOVE y la volatilidad en los precios en origen y en producción, las almazaras tienen que afrontar este desafío amortiguando el impacto a través de la eficiencia operativa. Actualmente, los procesos realizados en las almazaras, aunque eficaces, son tradicionales y dependientes de la experiencia del maestro almazarero, con poca o ninguna base de datos objetiva para la toma de decisiones.

En el capítulo sobre el proceso actual de producción en almazaras se identificaron los siguientes puntos críticos que tienen un efecto negativo sobre la eficiencia y rendimiento del sistema de producción. Destacan las siguientes:

- Falta de representación del muestreo para obtener el rendimiento graso de la aceituna.
- La falta de trazabilidad de la materia prima en el proceso interno.
- Carencia de registro de datos durante la producción de AOVE.
- Ausencia de sensores estratégicos en puntos clave del proceso.

Estos defectos dentro del proceso de producción de la almazara constituyen pérdidas tanto en eficiencia productiva como pérdidas económicas. En un contexto donde el AOVE tiene una tendencia creciente de precios, cada punto porcentual de rendimiento cuenta.

Ante este escenario, el objetivo principal de la propuesta es integrar nuevas tecnologías para el sector como solución para:

- Eliminar inexactitudes en el proceso interno de la almazara.
- Maximizar la extracción de aceite de la aceituna.
- Mejorar la transparencia con el agricultor mediante el aumento de la trazabilidad del proceso.
- Aumentar el control operativo interno.

Producción de AOVE en la Almazara

Como propuesta tecnológica, se pretende introducir en la almazara tecnologías varias ya existentes como el análisis NIR en línea, caudalímetros en puntos clave, báscula en línea y sensores adicionales en la maquinaria, nunca aplicadas en conjunto en el sector. Se busca desarrollar una plataforma digital para la visualización y análisis de datos en tiempo real, así como para el registro de datos para su uso como herramienta de toma de decisiones. Esta integración busca la evolución de la almazara hacia un sistema de producción más automatizado, preciso y rentable.

En las siguientes secciones se explicará la solución en términos técnicos, su impacto sobre la precisión y rendimiento de las operaciones, acompañada de ejemplos de referencia del propio sector del AOVE y otros sectores agroalimentarios.

6.2. Innovaciones tecnológicas aplicables al proceso de producción.

6.2.1. NIR en línea para el muestreo de la aceituna

La espectroscopía en el infrarrojo cercano (Near Infrared Reflectance Spectroscopy, NIRS), es una técnica utilizada para el análisis no destructivo (se analiza la aceituna entera) que determina la composición química de un material a través de la absorción de radiación electromagnética en la región del infrarrojo cercano. En el sector del AOVE, esta tecnología es capaz de medir el rendimiento graso, la humedad y otros parámetros de interés en pocos segundos y sin alterar la muestra (no destructivo). [31]

El principio con el que funciona el análisis NIR es la interacción de la luz en el rango cercano al infrarrojo con los enlaces presentes en la materia orgánica (C-H, O-H y N-H). Estos enlaces, con la frecuencia adecuada, emiten vibraciones como respuesta a la excitación sufrida por la radiación infrarroja, produciendo bandas de absorción característica en el espectro. La aceituna tiene presentes triglicéridos, agua y otros compuestos que generan un patrón espectral determinado que el equipo NIR es capaz de capturar. A través de algoritmos de calibración multivariante, generalmente basado en regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) se pueden correlacionar estas señales espectrales con valores de referencia obtenidos por los métodos de laboratorio normativos (método Soxhlet) para la determinación del rendimiento graso. [32]

En una almazara, donde es interesante colocar este sistema para el análisis es en la cinta elevadora hacia la tolva que alimenta al molino donde se realiza la molturación. El equipo para el análisis NIR consta de una fuente de luz halógena o LED de amplio espectro, un sistema óptico para dirigir la radiación hacia la aceituna transportada y un detector, que

Producción de AOVE en la Almazara

sería un arreglo de fotodiodos o un espectrómetro de rejilla, que registra la luz reflejada. El software del equipo, calibrado con el método Soxhlet, procesa el espectro obtenido, en segundos devuelve valores cuantitativos de cada parámetro. [33] La medición en la cinta se realiza de forma continua, cuando se haya descargado por completo el camión de aceituna en la tolva de almacenamiento (entre 2,5-3 horas) previo al molino se habrán realizado más de mil muestras de frutos, proporcionando un promedio de rendimiento graso extremadamente representativo y preciso.

Tener capacidad de realizar tantas muestras en directo y con un método analítico suficientemente preciso es clave para resolver el conflicto del muestreo tradicional, la falta de representatividad estadística. El método actual, como ya se ha mencionado en anteriores capítulos, consiste en tomar 2-3 muestras manualmente de entre 0,5 y 1,5 kg de aceituna para camiones de entre 20.000 y 50.000 kg. Aunque este método está aceptado por convenio entre las almazaras, que un análisis de menos del 0,01% del contenido del camión sea lo que determina el rendimiento graso total de la transacción económica entre el agricultor y la almazara no resulta coherente.

La falta de representatividad del método de muestreo actual se puede demostrar de una forma muy simple a través de la estadística:

Tamaño muestral insuficiente

La forma de demostrar que 2-3 muestras no son suficientes es calcular el tamaño muestral estadísticamente recomendado para hacer una correcta estimación del rendimiento graso:

La fórmula sería:

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2}$$

Siendo:

Z: Valor z de confianza (p.ej. se escoge 95% (valor típico) de nivel de confianza Z=1,96).

σ : Desviación estándar ($\sigma=1$ pp.). La desviación estándar del rendimiento graso se estima a través de un estudio publicado por Expoliva en 2019 que determina que la desviación estándar del rendimiento graso calculada en una misma parcela con 4 repeticiones con la

Producción de AOVE en la Almazara

variedad de aceituna arbequina está entre el 0,4-1,64 puntos porcentuales. Se escoge un número realista ($\sigma=1$ pp.) para la demostración. [34]

E: Error máximo admisible (por ejemplo, $E=\pm 0,5$ pp.).

Con esta fórmula y los valores elegidos, se obtiene que **harían falta un mínimo de 16 muestras**. En caso de que se quisiera subir el nivel de confianza al 99%, el número de muestras aumentaría sustancialmente (a un mínimo de 27 muestras para ser exactos). En ambos dos casos, el tamaño de muestra mínimo necesario es muy superior al actualmente utilizado para determinar el rendimiento graso de un lote, reforzando la necesidad de un método más representativo.

Variabilidad del contenido graso de la aceituna

Dos estudios publicados por el MAPA y otro por la editorial MDPI, respaldan la existente variabilidad del rendimiento graso entre la aceituna de un mismo árbol según su localización en la copa y exposición a la luz:

- Variación según posición en el olivo: Un estudio del MAPA demuestra que el contenido graso varía según la posición del fruto en el árbol. El rendimiento graso es mayor en aquellas aceitunas ubicadas en la copa superior o en zonas exteriores y orientadas al sur, mientras que en los frutos ubicado en las faldas o zonas interiores del olivo el contenido graso es inferior. [35] La cooperativa Colival estima que hay una variación del rendimiento graso de hasta 7,49 puntos porcentuales de olivos de una misma parcela según donde está ubicada la aceituna. [36]

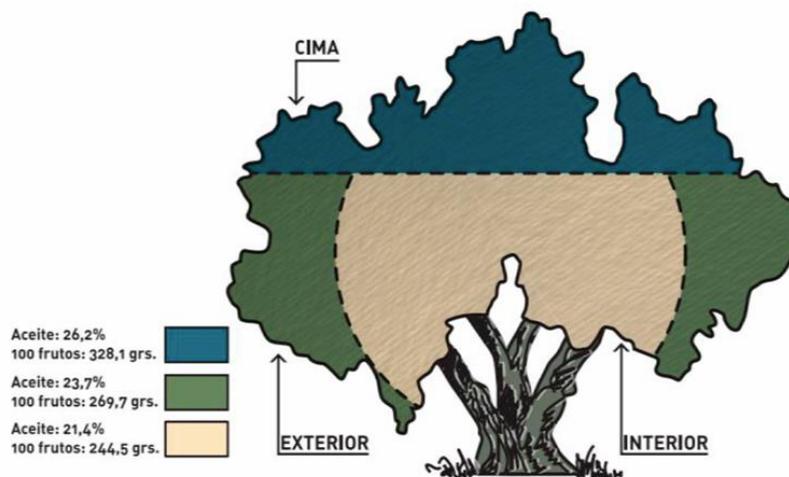


Figura 26. Diagrama de la variabilidad en los rendimientos de la aceituna según ubicación en el árbol. 2024

Fuente. Cooperativa Colival. [36]

Producción de AOVE en la Almazara

- Variación por exposición a la luz: Un estudio científico publicado por MDPI que analiza la variedad de aceituna Arbequina, observa como el contenido de aceite y la composición de ácidos grasos está influida por la luz solar recibida, siendo la aceituna más expuesta a la luz la que menos contenido graso tiene frente a la aceituna situada en zona sombreada. [37]

Si en un mismo árbol existe una notable variabilidad de rendimiento graso, entre la aceituna de todo un camión de 50.000 kg, procedente de múltiples árboles, la variabilidad aumenta exponencialmente. Esta evidencia refuerza la necesidad de soluciones para la determinación del rendimiento graso de la aceituna, que permitan capturar la heterogeneidad real del lote de aceituna y garantizar que el intercambio entre agricultor y almazara es justo.

A través de sistemas de NIR en línea como los de las empresas vanguardistas FOSS o Polytec, se hace realidad la integración del muestreo en tiempo real sobre la totalidad del flujo de entrada. De esta forma, la aceituna tras ser descargada del camión y limpiada, se analizaría por su paso por la cinta, consiguiendo más de mil espectros de señales que, obteniendo el promedio, reflejaría el rendimiento graso de una forma mucho más representativa y exacta. Esta precisión es algo que ayudaría tanto al agricultor, ofreciéndole transparencia obteniendo el contenido graso real de su aceituna, como a la almazara, que obtiene información operativa clave para ajustar a tiempo los parámetros de molturación, batido y centrifugación según las características de la aceituna. [38]

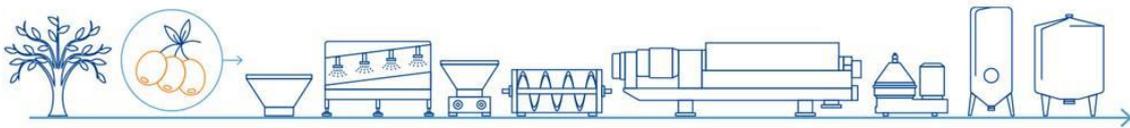


Figura 27. Diagrama del proceso de una almazara con NIR en línea. [38]

Para garantizar la fiabilidad del sistema NIR en línea, se requiere de una calibración inicial. Se debe de hacer un ensayo en el que trabajen en paralelo el sistema NIR y el análisis de laboratorio Soxhlet para asegurar que el NIR cubre todo el rango esperado de humedad, contenido graso y variabilidad por variedad y maduración. Tras la calibración, el sistema opera de forma autónoma, realizando el análisis de muestras y enviando los datos a la almazara.

Producción de AOVE en la Almazara

En resumen, el sistema NIR en línea supone una notable evolución del proceso. Se pasa de un sistema de muestreo puntual y no representativo, a un muestreo del flujo total y en tiempo real. El análisis NIR en línea abre la puerta hacia la trazabilidad completa del proceso interno de la almazara.

6.2.2. Sensor de humedad en la batidora

La humedad de la pasta de aceituna es un parámetro determinante de la eficiencia de extracción del aceite en las fases posteriores del proceso (sobre todo en el decanter). Durante el batido, controlar la humedad permite optimizar la reología o flujo de la pasta, agilizar la coalescencia de las gotas de aceite y reducir pérdidas de aceite. Sin embargo, las almazaras no cuentan con sensores de humedad en la batidora, lo que obliga a tomar decisiones en base a la experiencia y observación visual. Integrar un sensor de humedad en la batidora supone un paso más hacia la trazabilidad total de la producción de AOVE.

La humedad se puede medir a través de sensores que funcionan con tecnologías diferentes, los más adecuados para las características de la pasta de aceituna son:

- Infrarrojo cercano (NIR): El método de análisis NIR, ya explicado anteriormente, es capaz de analizar también la humedad de la pasta de aceituna con el mismo método que consigue el rendimiento graso. [38]
- Microondas: Este sensor evalúa el cambio en la constante dieléctrica de la pasta al atravesarlo con ondas electromagnéticas de alta frecuencia. El agua tiene alta permitividad, lo que modifica la señal, permitiendo una medición precisa de la humedad incluso en medios heterogéneos. [39]
- Capacitiva: Mide las variaciones en la capacidad eléctrica de un sensor en contacto con la pasta.

Para la pasta de aceituna, el NIR y las microondas son ambos adecuados para medir la humedad. Todos tienen alta precisión y se pueden instalar en línea sin tener que detener el flujo y sin tener contacto directo con la pasta de aceituna. En cualquier caso, el sensor iría colocado en la batidora, en la tapa superior o lateral y se aprovecharía el movimiento continuo de la pasta en la batidora para obtener mediciones representativas. [38] El sensor NIR sería el sensor más adecuado para colocar en la batidora, por su compatibilidad con la maquinaria y su funcionamiento similar al NIR en línea para el muestreo, haciendo que su manejo sea similar y no se necesite formación adicional para el personal.

Producción de AOVE en la Almazara

Mantener un control de la humedad a través de sensores representa un paso más hacia la digitalización de la almazara y una mejora directa del proceso de producción de AOVE, influyendo en la mejora de la decantación y reducción de pérdidas de aceite.

6.2.3. Caudalímetro y báscula en línea

La integración de sistemas de medición de caudal y peso en puntos estratégicos del proceso de producción de AOVE es un elemento clave para cerrar el círculo de la trazabilidad cuantitativa en la almazara. Consiste en dos dispositivos diferenciados a instalar: una báscula en línea tras la batidora y un caudalímetro tras la centrifugadora vertical.

La báscula en línea, que estaría colocada a la salida de la batidora, es capaz de calcular la pasta total de aceituna que llega al decanter. La heterogeneidad de la pasta de aceituna (compuesta por sólidos, aceite y agua) hace que varíe en cuanto a humedad y densidad dependiendo de la aceituna que se procese, por ello, un caudalímetro no es lo adecuado en este caso, no sería fiable. La báscula en línea consiste en un sistema de pesaje en tiempo real que es capaz de obtener el flujo másico de la pasta de aceituna. [40] [41]

El caudalímetro que se instalaría tras la centrífuga vertical calcula el volumen o masa de AOVE obtenido una vez finalizado el proceso de extracción de AOVE. El aceite es un fluido con propiedades físicas constantes y definida (densidad y viscosidad), por lo que sí se puede utilizar un caudalímetro para medir el volumen de aceite producido. El caudalímetro adecuado sería de tipo Coriolis, ya que funciona con líquidos no conductivos como el aceite y tienen una alta exactitud de cuantificación. [42] Colocar un caudalímetro en el final del proceso de producción del aceite aporta el dato del total de aceite real obtenido en tiempo real.

Integrar una báscula en línea tras el batido y un caudalímetro tras la centrifugación vertical tiene una ventaja directa en términos de trazabilidad, ya que permite realizar un seguimiento de la materia prima y la obtención de datos objetivos en tiempo real.

6.3. Arquitectura del sistema digital y recogida de datos

El objetivo del sistema digital es que toda la información generada en la almazara durante la producción quede registrada y constituya una herramienta para la toma de decisiones. En las almazaras actuales, muchos de los datos que obtienen las máquinas no se utilizan ni registran tras la producción del lote. Con esta propuesta tecnológica, se plantea que, tanto los nuevos sensores (NIR en línea, báscula y caudalímetro y sensor de humedad)

Producción de AOVE en la Almazara

como los datos que ya proporcionan las máquinas o se utilizan para ajustarlas, queden registrados de forma automática en un ordenador central.

La idea es que cada camión de aceituna que llegue a la recepción se identifique como un lote, y todos los datos obtenidos en cada etapa del proceso queden vinculados a ese lote. Datos como contenido graso y humedad de la aceituna, humedad de la pasta de aceituna en la batidora, caudal de la pasta tras la batidora (kg/h de pasta), caudal de AOVE tras la centrifugadora vertical y las señales nativas propias de los equipos (temperaturas, tiempos, velocidades de rotación, alarmas), quedarían todos registrados y vinculados a su lote correspondiente, permitiendo una trazabilidad completa desde la recepción de la aceituna hasta el almacenaje final en la almazara. Así, el maestro almazarero controla todo el proceso en directo, pudiendo ajustar parámetros y corregir errores.

El sistema tendría que llevar un software sencillo en la propia almazara, instalado en un ordenador o servidor central, que recoja en tiempo real toda la información y la muestre en una pantalla de forma clara. Sería un display donde el maestro almazarero controlara todo el proceso y tomara decisiones en base a los resultados que se están obteniendo.

El registro histórico de datos permitiría, en el medio plazo, optimizar las recetas de trabajo que consiguen la mayor eficiencia de gasto energético y reducir las pérdidas de aceite. En el largo plazo, comparar entre campañas y variedades de aceituna, identificar qué parámetros dan mejores resultados y detectar fallos o ineficiencias.

6.4. Beneficios esperados: impacto en precisión y rendimiento

El conjunto de las cuatro innovaciones tecnológicas: NIR en línea para el análisis de muestras, sensor de humedad en la batidora, sistema de báscula y caudalímetro en línea, transforma significativamente el proceso de producción de AOVE en la almazara. La integración de cada uno de los dispositivos aporta mejoras concretas, pero es el funcionamiento conjunto lo que genera el mayor valor para la almazara.

El NIR en línea como método de muestreo y análisis del rendimiento graso supone un cambio frente al método de análisis muestral actual, ofreciendo datos objetivos y en tiempo real a través de la medición continua en la línea de producción. A través de la implementación de esta tecnología, se elimina la inexactitud del proceso de muestreo actual y se hace posible obtener el aceite potencial que se puede extraer, permitiendo la anticipación y reacción para el ajuste de parámetros de la maquinaria.

Producción de AOVE en la Almazara

El sensor de humedad en la batidora supone una medición adicional durante el batido.

Tener un control sobre la humedad de la pasta de aceituna es clave para optimizar la liberación de gotas de aceite de la pasta, reduciendo pérdidas, y para determinar los parámetros que ajustar en la batidora y decanter.

La báscula en línea tras el batido y el caudalímetro final tras la centrifugación vertical permiten a la almazara obtener con precisión el total de pasta procesada y de aceite final extraído. Con estos dos datos, la almazara puede obtener la eficiencia real de proceso industrial y detectar posibles pérdidas de aceite en el proceso.

El conjunto de dispositivos implementados consigue la trazabilidad cuantitativa completa del proceso, es capaz de conseguir el aceite potencial esperado y el aceite final extraído, manteniendo un control intermedio a través del sensor de humedad en la batidora y báscula en línea tras el batido. La trazabilidad del proceso se traduce en múltiples ventajas, tanto para el agricultor, que gana transparencia en el proceso, como para la almazara, que obtiene una herramienta de consulta de datos objetivos para la toma de decisiones. Disponer de un histórico de los datos recogidos por la maquinaria en un registro conjunto, permite crear recetas sobre los parámetros específicos para conseguir el máximo rendimiento en la extracción de AOVE.

Dispositivo	Beneficios esperados
NIR en línea para análisis de muestras	Rendimiento graso real. Datos en tiempo real. Aceite potencial esperado.
Báscula en línea y caudalímetro	Cantidad total de pasta procesada Aceite final obtenido Eficiencia industrial del proceso Detección de pérdidas
Sensor de humedad en la batidora	Aumento del control interno Datos en tiempo real Optimización del batido y decanter
Conjunto	Trazabilidad cuantitativa del proceso Base de datos para la toma de decisiones Transparencia del proceso Mejora continua y adaptación a campaña

Figura 28. Tabla resumen de beneficios esperados de la integración de tecnologías. 2025 (Elaboración propia).

6.5. Viabilidad técnica de la implementación

En este apartado se va a valorar si es posible implementar los cuatro sistemas de medición ya mencionados en el proceso de producción de la almazara. Además, los cuatro sistemas, junto a los sistemas propios de la maquinaria del proceso actual, deben estar integrados en un mismo software de registro para futuras campañas y visualización de datos en tiempo real para la toma de decisiones. Para valorar la viabilidad técnica de las innovaciones se procede a determinar su ubicación exacta en el proceso y si es posible su instalación, la compatibilidad con la maquinaria y con un software central.

6.5.1. NIR en línea para el análisis del rendimiento graso

Ubicación: El equipo va instalado sobre la cinta elevadora que transporta la aceituna desde la línea de limpieza hasta la tolva de alimentación del molino.

Justificación: La ubicación seleccionada permite que se analice la aceituna entera de forma no destructiva obteniendo múltiples muestras de un mismo lote. La tecnología NIR en línea con certificación IP65 es capaz de trabajar en las condiciones de la fase de recepción de la aceituna (polvo, vibración y temperatura variables). [38]

Compatibilidad: Las cintas elevadoras de las almazaras disponen de puntos estructurales donde se podría colocar el sensor sin tener que cambiar la cinta ni alterar el flujo de aceituna. El equipo requiere de una conexión eléctrica estable y comunicación digital Ethernet. Se debe de realizar una calibración inicial periódica con la comparación de muestras con el método de análisis Soxhlet y así garantizar la precisión de los resultados.

6.5.2. Sensor de humedad en la batidora

Ubicación: En el interior de la cámara de batido, en una de las tapas laterales para asegurar el contacto constante con la pasta sin interferir con las palas de batido.

Justificación: Colocar el sensor de humedad en el interior de la batidora permite determinar en tiempo real la humedad para mantenerla en sus valores óptimos y así favorecer la coalescencia en la batidora y la separación del aceite en el decanter, evitando pérdidas mayores de aceite en el alperujo.

Compatibilidad: El sensor es compatible con la batidora, pero debe ser de acero inoxidable de grado alimentario para tener protección mecánica a la abrasión, resistencia a la temperatura máxima de batido y resistencia a la corrosión en entornos grasos. El contenido en aire que tiene la pasta hace necesaria la calibración periódica del sensor.

6.5.3. Báscula en línea tras batido y caudalímetro tras centrifugación vertical

Ubicación para báscula en línea: Sobre la cinta o sinfín que lleva la pasta de aceituna de la batidora al decanter.

Justificación: La pasta, por su composición heterogénea de sólidos, líquido oleoso y líquidos acuoso no se puede bombear con precisión. Lo ideal para cuantificar la pasta es un sistema de pesaje continuo, que ya es utilizado en industrias como la minera, para medir la cantidad real procesada.

Ubicación para el caudalímetro: En el conducto de salida de aceite de la centrifugadora vertical.

Justificación: el caudalímetro Coriolis es perfecto para la medición de caudal másico por su precisión y su compatibilidad con líquidos viscosos con el AOVE.

Compatibilidad: Ambos equipos se pueden integrar en la línea. La báscula en línea necesitaría calibración diaria para compensar variaciones de flujo. El caudalímetro requiere de tramos rectos de tubería antes y después para conseguir buenas mediciones. Por tanto, se implementaría algún cambio como la adición de tramos rectos de tubería a la parte final de la centrifugación vertical para asegurar la precisión del caudalímetro.

6.5.4. Sistema digital central

Los dispositivos mencionados son compatibles con software industrial típico SCADA o MES, lo que permitiría hacer realidad la idea de registrar y visualizar en un mismo ordenador central todos los datos en tiempo real, así como consultar el registro de datos. El ordenador central constituiría un cuadro de mando operativo para el maestro almazarero.

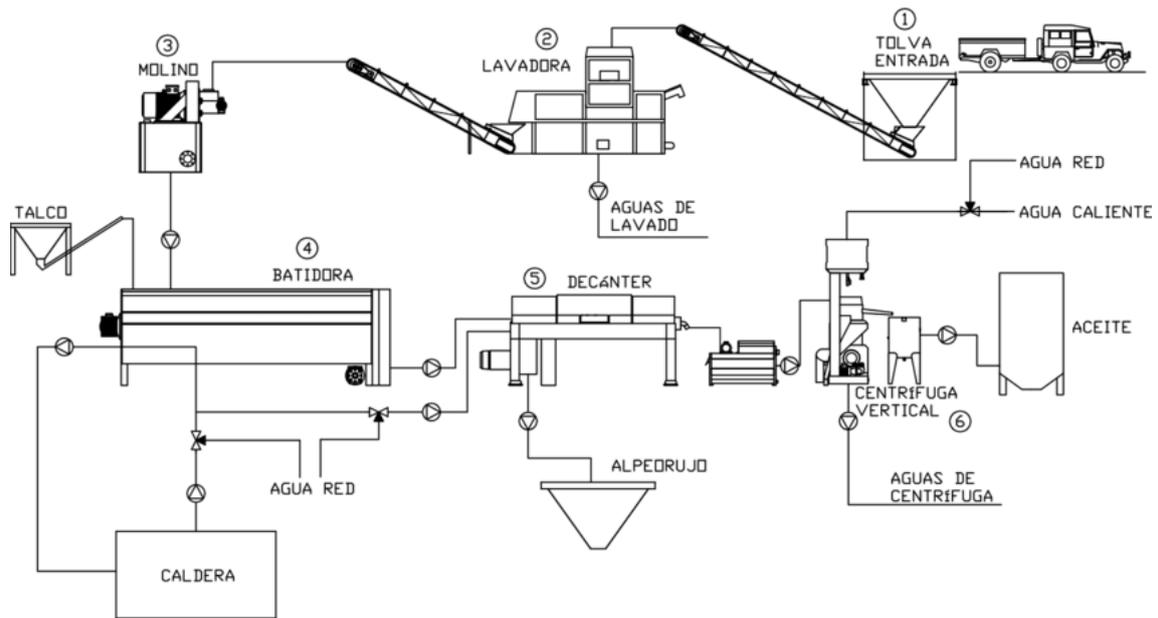
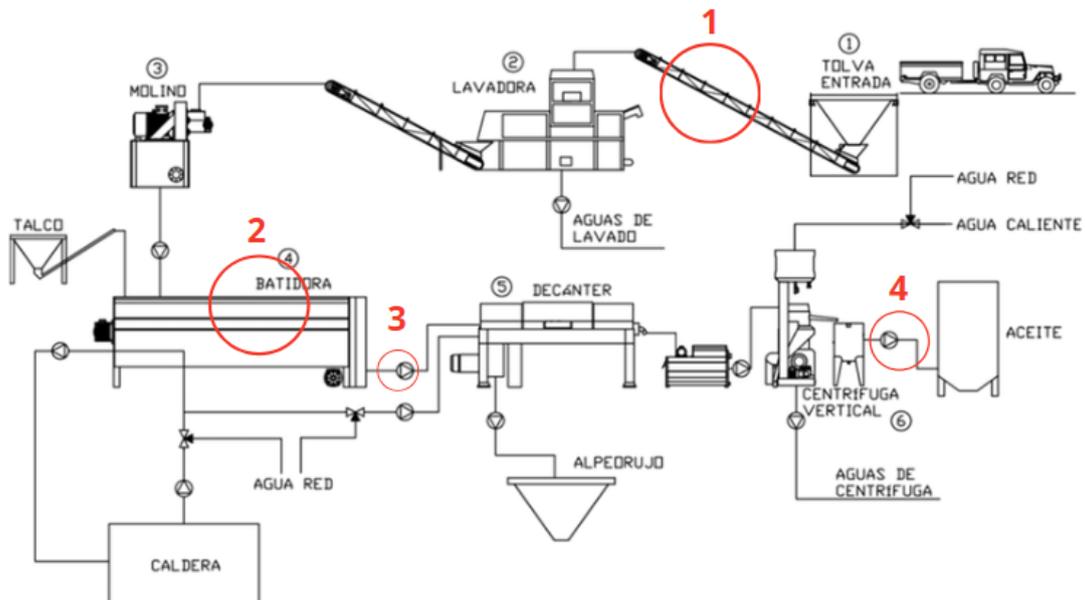


Figura 29. Esquema clásico de una almazara del proceso de producción de AOVE. .[43]



- 1 UBICACIÓN DEL NIR EN LÍNEA
- 2 UBICACIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD
- 3 UBICACIÓN DE LA BÁSCULA EN LÍNEA
- 4 UBICACIÓN DEL CAUDALÍMETRO

Figura 30. Ubicación de los dispositivos de medición. 2025 (Elaboración propia). [43]

6.6. Casos de referencia y benchmarking

Las tecnologías de medición y control ya están en muchos casos implementadas en la industria alimentaria y son herramientas útiles para optimizar procesos, aumentar la eficiencia y controlar la calidad del producto.

6.6.1. NIR en línea para análisis de rendimiento graso y humedad

El análisis NIR en línea se hace realidad con empresas líder en innovación como FOSS. En el sector del AOVE, FOSS ha diseñado equipos como “ProFoss 2”, preparados para el análisis no destructivo de aceituna en línea. Este equipo ya ha sido utilizado por sectores como la industria láctea. En concreto, la empresa estadounidense Lake Country Dairy, actualmente utiliza esta tecnología para analizar y controlar la calidad de sus productos lácteos. [38]

6.6.2. Báscula en línea para la pasta de aceituna

Las básculas en línea en el sector alimentario son empleadas en industrias como la del cereal, cacao o confiterías. Siemens ha desarrollado equipos de pesaje de alta precisión como las cintas de pesaje en línea Milltronics MSI y Milltronics MMI que permite calcular el flujo másico sin tener que interrumpir o variar el flujo del proceso.[44]

En la industria minera las básculas en línea están ampliamente implantadas, son utilizadas para medir el flujo másico de tierra, roca y minerales con alta precisión. Aunque para la medición de flujo de la pasta de aceituna se necesiten equipos de grado alimentario, el uso extendido de la báscula en línea en otros sectores demuestra su utilidad y correcto funcionamiento. [45]

6.6.3. Caudalímetro de aceite final producido

En la industria alimentaria, se emplean caudalímetros Coriolis por su elevada precisión y su capacidad para medir líquidos viscosos como el aceite. La empresa fabricante KROHNE diseña caudalímetros Coriolis como los caudalímetros OPTIMASS 1300 y OPTIMASS 7300, diseñados especialmente para el sector alimentario y ya implementado en plantas lácteas en la fase de separación de la leche en nata y leche desnatada. [46]

6.7. Limitaciones técnicas de la propuesta

La implementación de nuevos sistemas de medición y registro de datos en el proceso de producción de la almazara constituye una serie de obvias ventajas en términos de precisión, trazabilidad y eficiencia productiva. Sin embargo, es necesario tener en cuenta las posibles limitaciones técnicas o desventajas que tiene la integración de estos sistemas.

Se elabora un cuadro que recoge las principales limitaciones identificadas:

Tecnología	Limitaciones técnicas
NIR en línea (rendimiento graso)	Requerimiento de calibraciones periódicas para garantizar precisión.
Sensor de humedad NIR en el batido	Riesgo de acumulación de residuos en el sensor. Necesidad de limpieza frecuente. Requerimiento de calibración periódicas para garantizar precisión.
Báscula en línea para la pasta de aceituna	Necesidad de adaptar la báscula en línea a los estándares de higiene alimentaria.
Caudalímetro Coriolis para el aceite final	Requerimiento de flujo estable y sin burbujas. Requerimiento de tramos rectos de conducto antes y después.
Sistema de visualización/registro de datos	Complejidad en la interoperabilidad. Gestión de gran número de datos en tiempo real. Requerimiento de formación específica al personal.

Figura 31. Tabla de limitaciones técnicas de la propuesta. 2025 (Elaboración propia). [47][48][49]

Propuesta

7. Capítulo VII: Viabilidad Económica y Rentabilidad de la Propuesta

7.1. Selección y justificación de los equipos tecnológicos propuestos

Para la selección de los equipos específicos de la propuesta tecnológica se ha utilizado un criterio técnico y económico. Se ha priorizado la viabilidad técnica, precisión y compatibilidad con el proceso de producción de AOVE. Se ha llevado a cabo una evaluación de alternativas disponibles en el mercado, realizando una comparativa y eligiendo los fabricantes con trayectoria, experiencia y logros en el sector agroalimentario. Los equipos seleccionados constituyen la solución más adecuada para el proyecto de implementación tecnológica.

7.1.1. NIR en línea para el análisis del rendimiento graso: FOSS Modelo ProFOSS 2

Para el análisis NIR en línea que se quiere colocar en la cinta elevadora de aceituna para la alimentación del molino se ha elegido el sistema ProFOSS 2, de la empresa fabricante FOSS. El criterio utilizado para la elección de dicho equipo es el siguiente:

- **Realización de mediciones continuas y en tiempo real.** El equipo de FOSS es capaz de obtener análisis del rendimiento graso de aceituna en tiempos mínimos de 2-3 segundos, permitiendo un gran número de muestras para la obtención del rendimiento graso de la aceituna del lote. [50]
- **Diseño avanzado del equipo.** El sistema ProFOSS 2 cuenta con un diseño único de la sonda lateral que penetra en el núcleo del producto (la aceituna). Esto evita interferencias ambientales como la humedad superficial de la aceituna tras el lavado, asegurando análisis fiables. [51]
- **Integración digital y gestión remota.** El equipo ProFOSS 2 cuenta con una conectividad avanzada que permite su integración con software PLC y SCADA con lo que ofrece un monitoreo y mantenimiento en remoto. [50] [51]
- **Experiencia y logros en el sector alimentario.** FOSS es un fabricante ya familiarizado con otros sectores alimentarios. En la industria del pienso animal ha logrado costes operativos reducidos y ROI en menos de 12 meses. Su logro con Agri-Mark (industria láctea) garantiza su facilidad para la puesta en marcha, reduciendo el tiempo de instalación de semanas a días a través de interfaces intuitivas y calibraciones iniciales simples. [51][52][53]

Propuesta

- Optar por el fabricante FOSS, empresa líder del mercado NIR industrial, reduce los riesgos de obsolescencia por su desarrollo de actualizaciones regulares en software y hardware.

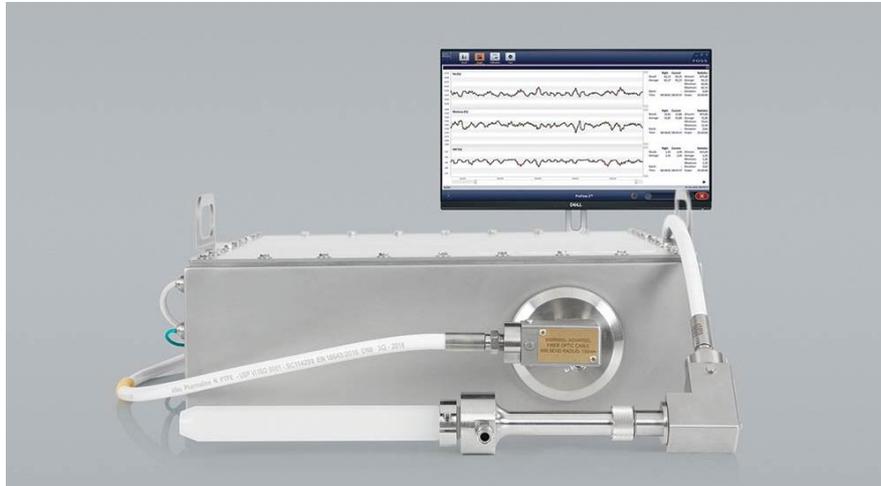


Figura 32. Sistema ProFOSS2. [51]

7.1.2. Sensor de humedad NIR en la fase de batido: Sensor KTM Modelo MCT566

Como sensor de tecnología NIR, destinado para el control de humedad en el interior de la batidora, se ha seleccionado el sensor MCT566 de la empresa fabricante KPM. La elección de este equipo está determinada por los siguientes factores:

- **Resistencia ambiental y grado de protección.** El sensor de humedad cuenta con protección IP67, que consiste en un sellado contra polvo y líquidos. Lo convierte en un equipo ideal para ubicar en el interior de la cámara de la batidora, que lleva en su interior masa de aceituna. [54]
- **Diseño específico** para medir humedad en línea para materiales de flujo irregular como pulpas, pasta y otros productos semisólidos. El sistema MCT566 cuenta con una óptica optimizada y un sistema de filtrado de señal que hace posible la medición de humedad en productos como la pasta de aceituna, que tiene granulometría variable, materia líquida acuosa y líquida oleosa. [55]
- **Alta precisión y estabilidad de medición.** El equipo es capaz de mantener un error inferior al 0,1-0,2% de humedad, lo que lo hace un equipo fiable para cumplir esta función. [54] [56]
- **Experiencia en el sector del AOVE y en otros sectores alimentarios.** KPM Analytics está familiarizado con el sector alimentario y en concreto para pastas alimentaria. KPM Analytics cuenta con experiencia e instalaciones en el sector

Propuesta

cárnico y en el propio sector de AOVE, lo que aumenta la fiabilidad del fabricante.

KPM Analytics dispone de un servicio técnico y red de distribución en España, lo que facilita el mantenimiento y reparación, reduciendo los tiempos de respuesta.

[57]

Se ha elegido el sensor de KPM a pesar de la ventaja que supondría elegir el sistema de FOSS en términos de facilidad de gestión, instalación y fiabilidad, por su probada experiencia en sectores similares, menor coste de la unidad base y excelente preparación para un entorno ambiental como es el interior de la cámara de batido.

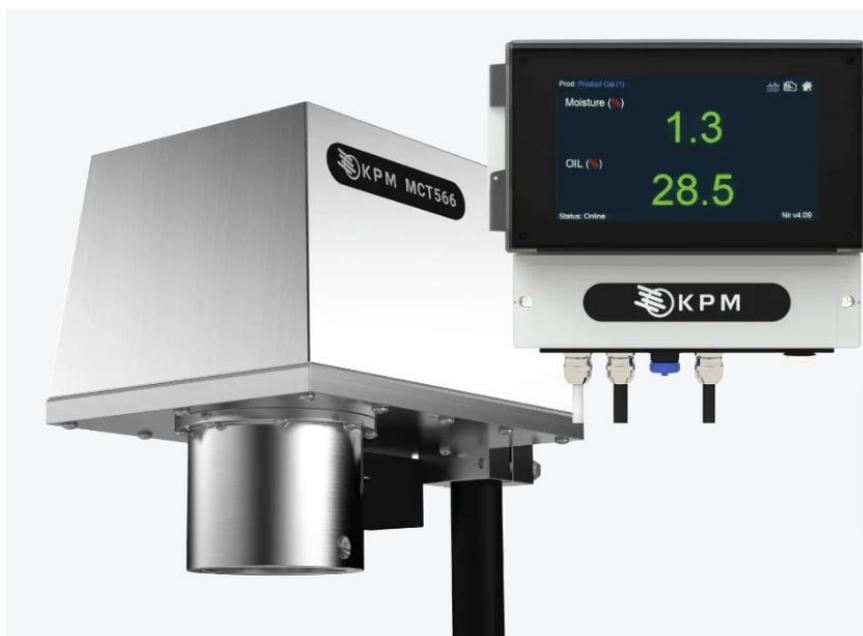


Figura 33. Sensor NIR de humedad para la fase de batido. Sensor KPM MCT566. [55]

7.1.3. **Báscula en línea tras fase de batido: Báscula Thayer Modelo HWF**

Como sistema de pesaje en línea para medir el flujo másico de pasta de aceituna a la salida de la batidora se ha elegido el sistema de báscula en línea, que ofrece la empresa fabricante Thayer, Báscula Thayer Modelo HWF (Hygienic Weigh Feeder). [58] La elección de este equipo se justifica por una serie de factores:

- Fabricante Thayer especializado en alimentación.** El modelo HWF cuenta con la protección IP65 y está diseñado según estándares sanitario, lo que lo convierte en el equipo ideal para trabajar con la pasta de aceituna donde la limpieza es clave para el proceso.

Propuesta

- **El equipo de Thayer es de alta precisión y robustez.** El modelo HWF es capaz de medir el flujo de masa en tiempo real sin detener el proceso, cuenta con un sistema de calibración que asegura la fiabilidad de sus resultados.
 - **Compatibilidad sanitaria.** El diseño de la báscula se caracteriza por su ensamblado rápido y materiales de fácil limpieza.



Figura 34. Báscula en línea Thayer HWF. [58]

7.1.4. Caudalímetro Coriolis tras fase de centrifugación vertical: Caudalímetro Emerson Modelo Micro Motion ELITE

Se ha elegido como caudalímetro de tecnología Coriolis para medir el flujo y total de AOVE obtenido en la fase final de producción de AOVE (centrifugado vertical) el caudalímetro Micro Motion de la serie ELITE del fabricante Emerson por diversos factores:

- La empresa fabricante **Emerson es la empresa líder** en esta tecnología adaptada para industrias como la agroalimentaria. [59]
- La serie ELITE se caracteriza por una **alta precisión** ($\pm 0,10\%$) y **repetibilidad** ($\pm 0,05\%$) y tiene una baja caída de presión. El diseño es robusto y está preparado para fluidos viscosos como el AOVE recién procesado. [60]
- El caudalímetro Micro Motion (ELITE) está **diseñado para entornos de la industria agroalimentaria** de grado de higiene sanitaria y protección IP65, que cumple con la normativa IEC 60529. [59]

Propuesta

- La empresa fabricante **Emerson ofrece soporte global y servicio técnico avanzado**, factor muy importante para el mantenimiento y reparaciones en el medio y largo plazo. [61]
- El caudalímetro cuenta con un **transmisor** (Transmisor 5700) robusto que es **capaz de registrar y almacenar un historial de datos completo**. Incluye diagnósticos avanzados como Smart Meter Verification y Zero Verification que garantiza la precisión de las mediciones. [59]



Figura 35. Caudalímetro Coriolis Micro Motion ELITE con Transmisor 5700. [59][60]

7.1.5. Ordenador central y software SCADA: Siemens SIMATIC WinCC Professional + SIMATIC Industrial PC

Se ha elegido a Siemens como proveedor para el software SCADA y el ordenador industrial para integrar y unificar los datos recibidos de los nuevos sensores y la maquinaria propia del proceso de producción de la almazara. La decisión de escoger este equipo se fundamenta por los siguientes factores:

- **Liderazgo y fiabilidad en automatización industrial.** Siemens es un fabricante referente global en cuanto soluciones de automatización, control de procesos y software SCADA con experiencia en el sector alimentario y casos de éxito en almazaras, bodegas y plantas procesadoras de alimentos. [62]
- **Compatibilidad total con fabricantes.** El sistema SIMATIC WinCC Professional es compatible con la maquinaria de otros fabricantes, lo que hace posible unificar la información recibida de los diferentes sensores y PLC de la almazara. [63]
- **Adaptabilidad y personalización.** El sistema WinCC permite modificar la interfaz a las necesidades concretas de la planta. Permite la visualización de datos en

Propuesta

tiempo real, alarmas configurables, informes automáticos y almacenamiento de datos de campaña. [63]

- **Hardware preparado.** SIMATIC IPC227E es un PC con un diseño compacto para entornos como los de una almazara, resistiendo polvo, humedad y vibración. [64]



Figura 36. PC de control central SIMATIC IPC227E Industrial Edge. [64]

7.2. Estimación de la inversión inicial (CAPEX) para la implementación de la propuesta

7.2.1. NIR en línea para el análisis del rendimiento graso: FOSS Modelo ProFOSS2

Los costes de la implementación del sistema de análisis NIR en línea en la cinta de la almazara para determinar el rendimiento graso se representan mediante la siguiente tabla:

Concepto coste	Descripción	Coste estimado
Adquisición del equipo (unidad base)	Sistema NIR de FOSS (ProFOSS2) adaptado para el análisis en línea	35.000-50.000€
Instalación mecánica	Instalación del equipo sobre la cinta y protección IP65 del equipo	2.000-3.000€
Conexión eléctrica y de red	Cableado, conexiones, protecciones eléctricas, integración en la red industrial de la almazara	1.000-1.500€
Calibración inicial para rangos de la aceituna	Configuración del equipo para que detecte el	2.000-4.000€

Propuesta

	espectro en los rangos de frecuencia de la aceituna y determine el contenido graso	
Integración del equipo con software SCADA	Instalación y configuración del equipo para que los datos queden registrados y se visualicen en el ordenador central de la planta	1.500-3.000€
Formación específica del personal	Formación a los operarios y maestro almazarero de la planta para funcionamiento del dispositivo, interpretación de datos y mantenimiento preventivo	500-1.000€
Total		43.000-64.000€

Figura 37. Tabla de costes de la inversión inicial del NIR en línea para el análisis del rendimiento graso. 2025

(Elaboración propia). [38][65][66][67]

7.2.2. Sensor de humedad NIR en la fase de batido: Sensor KTM Modelo MCT566

Los costes de la implementación del sistema de medición de la humedad en la fase de batido se representan mediante la siguiente tabla:

Concepto coste	Descripción	Coste estimado
Equipo KPM MCT566	Análisis en línea de la humedad de la pasta	18.000-25.000€
Instalación mecánica	Instalación sobre la batidora	2.000-3.000€
Conexión eléctrica y de red	Instalación eléctrica a la red y al PC central de control	800-1.200€

Propuesta

Calibración inicial para rangos de la aceituna	Ajustes y verificaciones para la pasta de la aceituna	1.500-2.500€
Integración del equipo con software SCADA	Conexión del sensor con el sistema central de control y visualización	1.000-1.500€
Formación específica del personal	Formación para los operarios y maestro almazarero en lecturas, uso y mantenimiento	400-800€
Total		23.700-33.000€

Figura 38. Tabla de costes de la inversión inicial del sensor de humedad NIR en la fase de batido. 2025

(Elaboración propia).

7.2.3. Báscula en línea tras fase de batido: Báscula Thayer Modelo HWF

Los costes de la implementación del sistema de pesaje en línea para la medición del flujo másico tras la fase de batido se representan mediante la siguiente tabla:

Concepto coste	Descripción	Coste estimado
Thayer Scale HWF	Báscula para pesar la pasta sobre la cinta	10.000-15.000€
Instalación mecánica	Montaje en el proceso tras la batidora y adaptación higiénica	2.000-3.000€
Conexión eléctrica y de red	Instalación eléctrica a la red y al PC central de control	800-1.200€
Calibración inicial para rangos de la aceituna	Ajustes y verificaciones de precisión y funcionamiento	1.000-2.000€
Integración del equipo con software SCADA	Configuración de interfaz de datos y visualización central	1.000-1.500€
Formación específica del personal	Formación a operarios y maestro almazarero en lecturas y mantenimiento	300-600€
Total		15.100-23.300€

Propuesta

Figura 39. Tabla de costes de la inversión inicial de la Báscula en línea tras fase de batido. (Elaboración propia). [64]

7.2.4. Caudalímetro Coriolis tras la fase de centrifugación vertical: Caudalímetro Emerson Modelo Micro Motion ELITE

Los costes de la integración del caudalímetro Coriolis para medir el flujo de AOVE final tras la fase final de centrifugado vertical se representan mediante la siguiente tabla:

Concepto coste	Descripción	Coste estimado
Emerson Micro Motion ELITE	Caudalímetro Coriolis de alta precisión para el flujo de AOVE	11.000-15.000€
Instalación mecánica	Adaptación higiénica a la maquinaria, soportes y tuberías	1.500-2.500€
Conexión eléctrica y de red	Instalación eléctrica a la red y al PC central de control	800-1.200€
Calibración inicial para rangos de la aceituna	Verificación y adaptación para condiciones del AOVE	800-1.500€
Integración del equipo con software SCADA	Configuración de datos en el sistema central	1.000-1.500€
Formación específica del personal	Formación para el maestro almazarero y operarios sobre lectura y mantenimiento	300-600€
Total		15.400-22.800€

Figura 40. Tabla de costes de la inversión inicial del caudalímetro tras la fase de centrifugación vertical. (Elaboración propia). [60]

Propuesta

7.2.5. Ordenador central y software SCADA: Siemens SIMATIC WinCC Professional + SIMATIC Industrial PC

Los costes asociados a la instalación de un equipo de visualización, procesamiento y registro de datos procedente de la maquinaria industrial de la almazara se representan mediante la siguiente tabla:

Concepto coste	Descripción	Coste estimado
SIMATIC WinCC Professional	Licencias de software SCADA para la visualización y control de la almazara	5.000-8.000€
SIMATIC industrial PC IPC227E	PC industrial	4.000-6.000€
Integración y configuración OPC UA	Configuración de WinCC y conexión de sensores y PLC	1.500-3.000€
Software de comunicación y SQL	Licencia SQL para almacenar los datos	800-1.500€
Formación específica del personal	Formación en uso de WinCC y monitorización	800-1.200€
Instalación y puesta en marcha	Ajuste hardware, instalación de software y prueba de funcionamiento	1.500-2.500€
Total		13.600-22.200€

Figura 41. Tabla de costes de la inversión inicial del ordenador central y software SCADA. (Elaboración propia).

COSTE TOTAL DE LA INVERSIÓN INICIAL (CAPEX) = 110.000-165.000€

Las estimaciones realizadas para los costes de la inversión inicial para los sistemas FOSS ProFOSS 2 para el análisis NIR en línea del rendimiento graso, KPM MCT566 para la medición de humedad en la batidora, Thayer Scale HWF como báscula en línea de la pasta de aceituna tras el batido y Emerson Micro Motion ELITE como caudalímetro para el control del flujo de aceite tras la centrifugación vertical, se han realizado con cifras coherentes a través de investigación de precios en empresas distribuidoras autorizadas, catálogos técnicos y referencias recogidas en ferias como Expoliva25. También a través de la comparación de precios de equipos de competidores del mercado con tecnologías

Propuesta

similares. El objetivo ha sido ofrecer unas cifras orientativas de la inversión inicial que se tendría que hacer para la implementación del proyecto.

Sin embargo, el precio final de la inversión depende del presupuesto personalizado que realice cada uno de los fabricantes y puede depender de múltiples factores como:

- Ubicación geográfica de la almazara y accesibilidad.
- Grado de automatización y digitalización existente.
- Condiciones ambientales y de higiene de la almazara.
- Integración con el software y sistemas de control existentes.
- Servicios adicionales requeridos.
- Otros.

Los fabricantes suelen trabajar con proyectos y personalizan los presupuestos de instalación de sus equipos al cliente, ofreciendo paquetes adaptados que pueden ya incluir servicios como la instalación mecánica del equipo, la formación del personal, mantenimiento anual, etc. Esto hace que el coste real de la inversión, aunque se ha determinado de forma realista y conservadora pueda diferir de las estimaciones realizadas en el capítulo. Además, se ha supuesto el caso de una almazara convencional con bajo o ningún grado de digitalización más que el nativo de la maquinaria necesaria para la producción de AOVE. En casos de almazaras modernas con un sistema de control más avanzado la inversión inicial sería menor.

7.3. Amortización de la propuesta tecnológica

Se ha realizado una estimación de la amortización que se tendría que llevar a cabo para implementar la propuesta tecnológica en una almazara. Para ello, se ha considerado un periodo de amortización de 10 años y un valor neto residual de los sistemas de 0€.

Se han elegido estos valores para seguir un criterio conservador ya que, al ser los sistemas tecnologías relativamente novedosas en el sector del AOVE, no se han conseguido datos contrastados sobre su vida útil exacta.

El valor neto residual cero se ha supuesto debido al rápido avance tecnológico que, en el supuesto de que quedaran los sistemas obsoletos, los equipos no tendrían un valor de reventa significativo. Sin embargo, los fabricantes elegidos cuentan con servicios de soporte técnico especializado, actualizaciones periódicas y seguimiento de mantenimiento preventivo, lo que permite prolongar la vida útil de los sistemas y evitar una obsolescencia prematura.

Propuesta

Según los datos oficiales de amortización de maquinaria industrial de la Agencia Tributaria Española, la maquinaria industrial puede amortizarse hasta en 18 años. Se ha elegido una amortización de 10 años para un enfoque conservador en cuanto a la estimación del retorno de la inversión.

La amortización anual quedaría entre 11.000-16.500€ dependiendo del coste total adaptado a la almazara en la que se desarrolle la propuesta.

COSTE TOTAL DE LA INVERSIÓN INICIAL (CAPEX) = 110.000-165.000€

$$\text{AMORTIZACIÓN ANUAL} = \frac{\text{COSTE TOTAL DE LA INVERSIÓN INICIAL}}{\text{AÑOS DE AMORTIZACIÓN}}$$

AMORTIZACIÓN ANUAL = 11.000 - 16.500€

7.4. Costes operativos de la propuesta tecnológica (OPEX)

Para implementar la propuesta tecnológica en una almazara que implican los equipos FOSS ProFOSS 2, KPM MCT566, Thayer Scale HWF, Emerson Micro Motion ELITE y Siemens SIMATIC WinCC y PC industrial, se tienen que considerar los costes operativos que se generarían durante su vida útil. Estos costes suponen servicios fundamentales para mantener el rendimiento y fiabilidad de los equipos. Los principales costes operativos que se deberían considerar son:

- Mantenimiento preventivo: Coste de realización de revisiones periódicas, sustitución de piezas de desgaste y limpiezas especializadas.
- Calibraciones y verificaciones periódicas: Coste de las calibraciones que necesitan especialmente los sistemas NIR como FOSS ProFOSS 2 y KPM MCT566, para garantizar la fiabilidad de sus mediciones.
- Licencias de software y actualizaciones: Costes relacionados con la renovación de licencias de plataforma y actualizaciones de software de Siemens SIMATIC WinCC.
- Consumibles y repuesto de accesorios.
- Coste energético adicional: aunque el coste energético sería bajo, supondría un coste adicional de red eléctrica para los sistemas de medición y PC central.

Propuesta

- Formación periódica del personal: en caso de actualizaciones de software o entrada de nuevos operarios.

La estimación de los costes operativos totales de la propuesta tecnológica es compleja debido a que los fabricantes no publican tarifas estándar sobre estos servicios. Las empresas fabricantes FOSS, KPM, Thayer y Siemens trabajan con presupuestos personalizados adaptados al proyecto o cliente. Además, algunos fabricantes ofrecen contratos de mantenimiento llave en mano, que son paquetes de servicios en los que se incluyen calibraciones, soporte técnico, actualizaciones y sustitución de piezas durante un periodo determinado, de forma que muchos de los costes operativos relativos al fabricante se agrupan en un mismo coste.

7.5. Evaluación Económica y Retorno de la Inversión: Comparativa entre Modelos de Almazara y Proyecciones de Ingresos

La propuesta tecnológica presentada supone la digitalización de una almazara mediante la incorporación de sistemas avanzados de medición y control de procesos. La propuesta genera un ahorro sustancial en los costes operativos y una optimización de la materia prima (aceituna) que tiene un impacto directo sobre la rentabilidad. La reducción del consumo energético, la especialización del personal, el aumento de trazabilidad y control y el descenso de pérdidas por ineficiencias permiten un retorno de la inversión (ROI) en un corto periodo de tiempo, especialmente para las almazaras con alto volumen de producción.

En otros sectores alimentarios, como la cooperativa AgriMark que integró el sistema ProFOSS 2 en su línea de producción de mantequilla reportó un ROI del 100% en menos de un año gracias a la mejora de la precisión de control de humedad y grasa, que redujo las pérdidas de producto y aumentó la calidad. En el sector de AOVE, una almazara con un sistema de control en línea y en tiempo real de las fases clave del proceso de producción supone maximizar la extracción de AOVE y minimizar las pérdidas, que constituye una mejora en la rentabilidad. [52]

Se va a realizar una comparativa en estimación de costes de producción de AOVE de una almazara convencional vs una almazara digitalizada, ambas con un volumen de producción de más de 10.000 toneladas de AOVE:

Propuesta

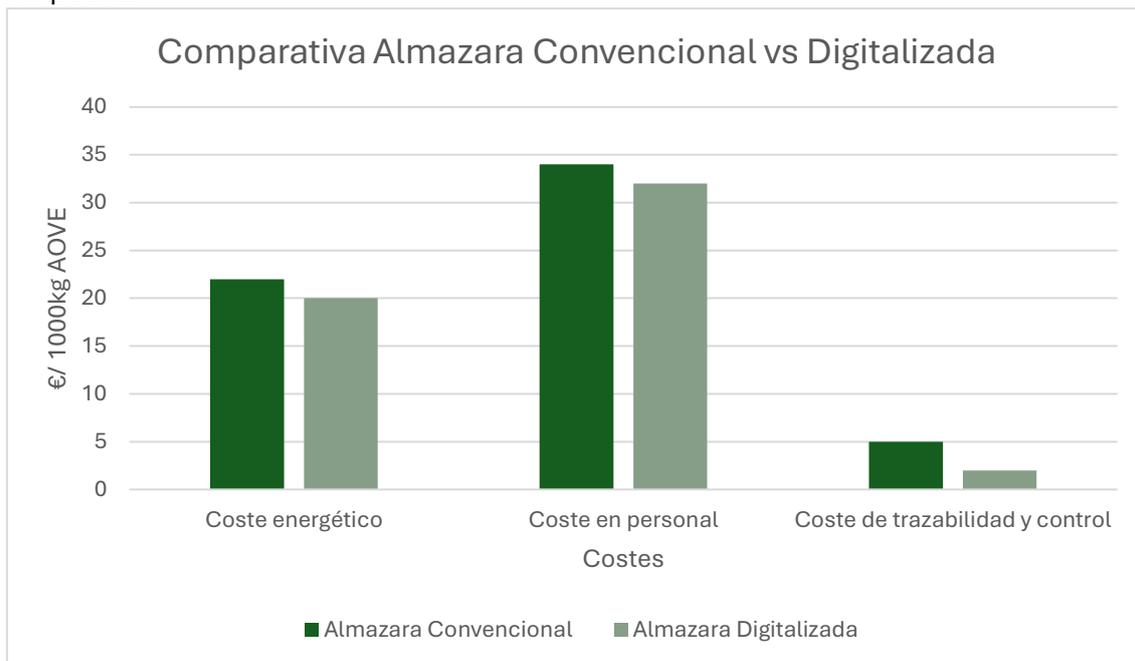


Figura 42. Gráfico de barras comparativo de estimaciones de costes de almazara convencional vs almazara digitalizada. 2025 (Elaboración propia de informes del MAPA, COI y Cátedra de Aceites de Jaén). [28] [29] [68] [69]

Coste (€/kg de AOVE)	Almazara Convencional	Almazara Digitalizada
Coste energético	0,022 €/kg	0,020 €/kg
Coste en personal	0,034 €/kg	0,032 €/kg
Coste de control y trazabilidad	0,005 €/kg	0,002 €/kg
Sumatorio	0,061 €/kg	0,054 €/kg
Pérdidas por ineficiencia	5%	3%

Figura 43. Tabla comparativa de costes entre almazara convencional y almazara digitalizada. 2025 (Elaboración propia a través de estimaciones realizadas a partir de informes del MAPA, COI y Cátedra de Aceites de Jaén [3] [23] [24] [29] [68] [69])

Se han realizado estimaciones para representar el impacto directo que tiene la inversión tecnológica en una almazara frente a la convencional sobre los costes de producción en €/kg de AOVE procesado (se ha realizado la gráfica en €/1000 kg de AOVE para ofrecer mayor visibilidad). Se observa cómo hay una diferencia importante entre el sumatorio de los costes analizados. En la almazara convencional, el coste total analizado supone 0,061€/kg de AOVE procesado, mientras que en la almazara digitalizada este coste se sitúa en 0,054€/kg de AOVE, una diferencia que supone un **11,5% de reducción de estos costes**.

Propuesta

Teniendo en cuenta la volatilidad del mercado de AOVE, se trata de una diferencia significativa de reducción de costes que crea una mayor rentabilidad para la almazara.

Se han analizado estos costes porque suponen un mayor ahorro y se encuentran en el coste energético (suministros), coste de personal y costes de trazabilidad y control que, en la almazara digitalizada, gracias a la automatización de procesos, optimización de uso de recursos y menor necesidad de intervención humana constante crean esta reducción.

Aunque no conste en la gráfica, pero sí se ha analizado y aparece en la tabla, las pérdidas por ineficiencia también se reducen sustancialmente en la almazara digitalizada. Las pérdidas por ineficiencia suponen hasta un 5% del producto para almazaras convencionales, resultado de la toma de decisiones por experiencia, sin un respaldo de datos objetivo, y la falta de trazabilidad. En una almazara digitalizada estas pérdidas constituyen un 3% (de forma estimada) gracias a la implementación tecnológica para un mayor control de las fases del proceso de producción. Su efecto tiene un impacto muy relevante, que implica un mayor aprovechamiento de la materia prima (aceituna) y una mayor calidad.

Para ejemplificar con un caso real de una almazara con alto volumen de producción, se escoge la almazara de Cooperativa Nuestra Señora del Pilar de Villacarrillo (Jaén), que ha producido de media por campaña, en los últimos 10 años, 13'2 millones de kg de aceite de oliva. Utilizando esta cifra, los costes de producción analizados supondrían, aproximadamente, 0'8 millones de euros si se tratase de una almazara convencional. Sin embargo, si fuera una almazara digitalizada, los costes analizados serían de aproximadamente 0'7 millones de euros. Esta diferencia representa más de 90.000 euros en ahorro anual, lo que destaca el potencial económico que tiene la digitalización y automatización en la industria del AOVE. [70].

Coste Caso Almazara Convencional: 13.200.000 kg x 0,061€/kg = 805.200€

Coste Caso Almazara Digitalizada: 13.200.000 kg x 0,054€/kg = 712.800€

Ahorro Total = 805200 – 712800 = 92400€

Propuesta

Teniendo en cuenta el ahorro anual estimado (92.400€) y utilizando como coste total de la inversión la media de la estimación (137.500€), se realiza la siguiente tabla de Flujos de Caja para la digitalización de la almazara con proyección a 5 años:

Año	Flujo de Caja (€)	Flujo Acumulado (€)
0	-137.500€	-137.500€
1	92.400€	-45.100€
2	92.400€	47.300€
3	92.400€	139.700€
4	92.400€	232.100€
5	92.400€	324.500€

Figura 44. Tabla de Flujo de Caja de una almazara con la propuesta tecnológica con proyección a 5 años.

Se calcula el **Retorno en inversión** para medir la rentabilidad anual del proyecto en proporción a la inversión inicial:

$$ROI = \frac{\text{Ahorro Anual}}{\text{Inversión Inicial}} \times 100 = 67'2\% \text{ anual}$$

ROI: 67,2% anual

El **Payback** indica en cuantos años se recupera la inversión:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro Anual}} = 1'49 \text{ años}$$

Payback: 1,5 años

El **VAN** calcula el valor presente de los flujos de caja futuros, descontados a una tasa que refleja el coste de oportunidad o de financiación:

$$VAN = \sum_0^t \frac{\text{Flujo de Caja}_t}{(1+r)^t} = 212768€$$

t = 5 (proyección a 5 años)

r = 10% Se escoge una tasa de descuento del 10% para mantener un criterio conservador en la evaluación. Refleja, además de la financiación bancaria, la volatilidad del mercado del AOVE y el riesgo tecnológico de la inversión.

VAN (10%): 210.000€

Propuesta

El análisis de Flujo de Caja a 5 años refleja la corta recuperación de la inversión inicial de la propuesta, inferior a 2 años en el escenario de la inversión de 137.500€. A partir del segundo ejercicio, los flujos de caja acumulados muestran una tendencia claramente positiva, confirmando la solidez de la propuesta en términos económicos. Los indicadores obtenidos: ROI y VAN, muestran que el proyecto es altamente rentable y ofrece un margen de seguridad frente a posibles fluctuaciones en los costes o en el precio del AOVE.

Este análisis económico se ha realizado considerando únicamente los costes de producción que en la propuesta tecnológica tienen un mayor impacto. No obstante, es necesario destacar que no se han contemplado los costes operativos adicionales que supondría la propuesta tecnológica en cuanto a mantenimiento de equipos, licencias de software o posibles gastos adicionales.

Al tratarse de una inversión tecnológica, se explica en parte los indicadores tan favorables. El coste inicial de la implantación es relativamente bajo en comparación con el ahorro y la mejora de la rentabilidad que se generan de forma recurrente. Esta relación entre baja inversión inicial y alto impacto en los costes de producción provoca que la recuperación de la inversión se produzca en plazos reducidos y que los indicadores resulten especialmente favorables.

Las estimaciones realizadas contabilizan el ahorro en costes clave de la producción de AOVE. Sin embargo, el impacto que tendría la incorporación de un sistema de trazabilidad completa del proceso de producción, así como una estimación más precisa del rendimiento graso de la aceituna, aportaría un valor añadido que es complejo de cuantificar. Además, la integración del sistema crea una ventaja competitiva gracias a la transparencia y fiabilidad de los resultados que se le ofrecen al agricultor. Esta transparencia atraería a un mayor número de agricultores para molturar su aceituna en la almazara. A corto y medio plazo, la atracción de nuevos clientes agricultores para molturar su aceituna incrementaría el volumen de aceituna procesado y además mejoraría el reparto de los costes fijos de producción, lo que incrementaría los márgenes de beneficio de la almazara.

Utilizando el mismo caso de almazara que, actualmente, procesa de media más de 62 millones de kg de aceituna y 13,2 millones de kg de aceite de oliva producido por campaña. Un **aumento del 10%** de la aceituna de agricultores que llevan su aceituna a la almazara por la nueva ventaja competitiva y, teniendo en cuenta sólo los ingresos por molturación que obtiene la almazara (0,03€/kg de aceituna procesada), supone un **aumento del**

Propuesta

volumen de producción de 6,2 millones de aceituna y un incremento de los ingresos de 186.000€. Este ejemplo se utiliza para representar el aumento de volumen de producción que tendría una almazara con la implementación de la propuesta que, además, reduciría los costes fijos de producción al repartirlos entre más kg de AOVE producido.

8. Capítulo VIII: Simulación del Funcionamiento de la Propuesta en una Almazara

8.1. Diagrama de flujo del funcionamiento de la propuesta

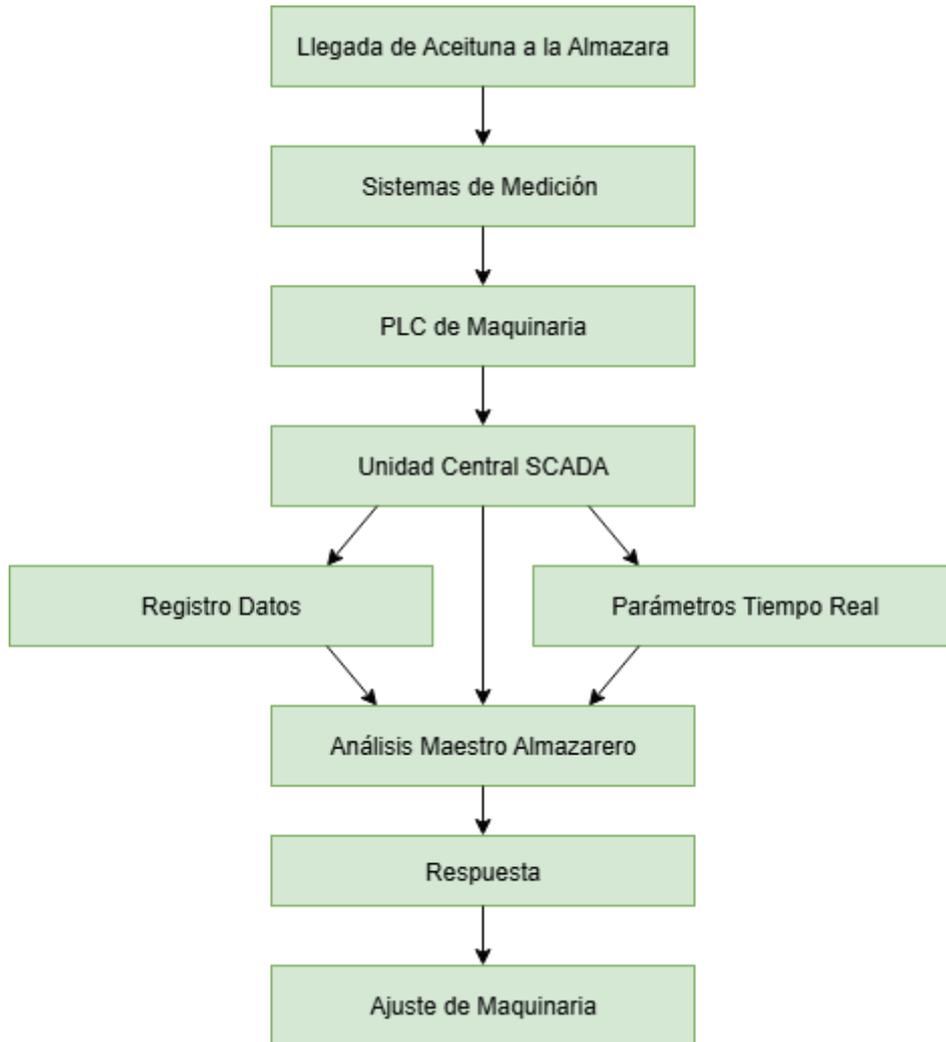


Figura 45. Diagrama de flujo del funcionamiento de la propuesta. 2025 (Elaboración Propia).

Propuesta en una Almazara

8.2. Funcionamiento de la línea de producción de la almazara

1. El proceso comienza con la entrada de aceituna en la línea de producción de la almazara.
2. Una vez la aceituna limpia, avanza por la cinta, donde el NIR en línea va realizando múltiples mediciones del rendimiento graso en segundos.
3. La aceituna se dirige al molino y se moltura. (se controla la velocidad en rpm, granulometría y temperatura)
4. La pasta de aceituna sale del molino y se lleva a la batidora en donde se tiene un control constante de la temperatura, tiempo de batido, velocidad de batido y de la humedad gracias al sensor NIR de humedad, favoreciendo la coalescencia sin perder calidad.
5. Al salir de la batidora, la pasta de aceituna pasa por la báscula en línea para medir el flujo másico.
6. Después de la báscula en línea, la aceituna se lleva al decanter donde tiene una primera centrifugación (se controla la velocidad del tambor en rpm, temperatura y presión) con la que se separan las fases de la pasta de aceituna, fase oleosa y alperujo.
7. Por último, la fase oleosa pasa por la centrifugadora vertical (se controla la velocidad de rotación en rpm, temperatura y presión), donde va saliendo y, a través de caudalímetro Coriolis se mide el flujo de AOVE resultante ya dirigiéndose hacia los depósitos de almacenamiento.

8.3. Funcionamiento de la propuesta

1. En un principio, contando con la información dada por el agricultor (peso de la aceituna, variedad y momento de recogida temprana o tardía de la aceituna), el maestro almazarero fija unos parámetros iniciales basados en el histórico de datos que le proporciona el sistema SCADA central.
2. A medida que los primeros kg de aceituna se están procesando en la línea de producción, los sistemas de medición de activan: FOSS ProFOSS 2 (sensor NIR de rendimiento graso en cinta), KPM MCT566 (sensor NIR de humedad en batidora), Thayer Scale HWF (báscula en línea tras batido) y Emerson Micro Motion ELITE (caudalímetro Coriolis tras centrifugado vertical) y demás sensores nativos de la maquinaria de la almazara.
3. Estos sensores recogen datos sobre la aceituna que está siendo procesada.

Propuesta en una Almazara

4. Los datos recogidos se envían a los PLC de cada máquina (Controladores Lógicos Programables), que actúan como intermediarios entre los sensores y el sistema central (Siemens SIMATIC WINCC Professional + SIMATIC Industrial PC IPC227E).
5. Los datos (mediciones y parámetros de la maquinaria) son transferidos de los PLC de la maquinaria a la unidad central SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), donde se registran y se ofrece su visualización en tiempo real.
6. El maestro almazarero, a través de los datos proporcionados en el sistema central, los analiza interpretando las lecturas de los sensores y máquinas y elabora una respuesta de ajuste de parámetros sobre la maquinaria. El objetivo del maestro almazarero es optimizar la eficiencia y maximizar el rendimiento de la aceituna.
7. Finalmente, se ejecuta la respuesta de ajuste de la maquinaria, cerrando así el ciclo de operaciones.

Sin embargo, el proceso no termina, el flujo es continuo y cíclico, las mediciones, análisis y ajustes se vuelven a realizar durante toda la jornada de producción. El maestro almazarero cumple la función continua de control sobre el proceso de producción del AOVE para garantizar la eficiencia operativa.

9. Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones

9.1. Resumen de hallazgos clave

En el desarrollo de este proyecto se han identificado y analizado los principales retos estructurales y operativos que afectan a la rentabilidad de las almazaras actualmente, se ha evaluado el impacto potencial de la propuesta tecnológica, basada en la digitalización y monitorización avanzada de las operaciones internas de la almazara para mantener y mejorar la rentabilidad y competitividad.

El análisis de las tendencias de precios y de la producción del AOVE en los principales países productores, España, Grecia e Italia, durante las últimas campañas da una visión clara de la volatilidad en la producción de AOVE por campaña directamente relacionada con factores no controlables como la situación económica internacional o la climatología. A raíz de la inestabilidad en la producción se forman grandes oscilaciones de precio con una tendencia de precios creciente y un perfecto ejemplo de la ley de oferta y demanda, cuanto menor producción, mayores precios la siguiente campaña. Esto genera gran incertidumbre en los actores primarios del mercado del AOVE, el agricultor y la almazara, sintiendo la necesidad de reducir pérdidas de producto de ineficiencias e inexactitudes. La tendencia creciente del precio del AOVE en las últimas campañas supone que las pérdidas en el proceso productivo suponen un coste económico muy elevado.

La propuesta tecnológica desarrollada en este proyecto se enfoca en la integración de nuevos sistemas de medición y control para optimizar el proceso de producción de la almazara. La implementación de la propuesta consiste en un sistema NIR en línea para determinar de forma continua el rendimiento graso de la aceituna (FOSS ProFOSS 2), un sensor NIR de humedad para maximizar la extracción de AOVE en la decantación (KPM MCT566), una báscula en línea tras el batido (Thayer Scale HWF) para medir el flujo másico de pasta de aceituna y un caudalímetro (Emerson Micro Motion ELITE) al final del proceso para tener un control total de la producción de aceite. Combinar estos equipos consigue formar un ecosistema de control y trazabilidad completa del proceso productivo del AOVE, ofreciendo parámetros clave en tiempo real y una visualización unificada a través de una unidad central SCADA (Siemens SIMATIC) como herramienta para toma de decisiones y maximizar la eficiencia y rendimiento a través del ajuste exacto de parámetros en la maquinaria.

En el plano económico, se estima que la inversión inicial para la implementación de la propuesta en una almazara se sitúa entre 110.000€ y 165.000€. Experiencias de referencia y logros documentados han demostrado que la integración de estas tecnologías ofrece retornos rápidos gracias a las mejoras en precisión, reducción de costes y control de calidad del producto.

Con el ejemplo utilizado de una almazara con 13'2 millones de kg de volumen de producción de AOVE por campaña, se determinan unos indicadores de rentabilidad muy favorables. El análisis económico demuestra que la digitalización de la almazara presenta una viabilidad financiera muy positiva, con un periodo de recuperación de la inversión inferior a dos años y un VAN positivo siguiendo un escenario conservador. Estos resultados se explican por la relación entre un bajo coste de la inversión inicial y un ahorro operativo recurrente significativo.

La adopción de estas tecnologías tiene un doble beneficio estratégico como resultado de la automatización y optimización de procesos. Por un lado, la reducción directa de costes de producción sobre kg de AOVE producido y, por otro lado, el aumento de volumen de producción gracias a la atracción resultante de la ventaja competitiva que supone la propuesta en una almazara, aumentando en conjunto la rentabilidad global de la almazara.

En conclusión, los hallazgos del proyecto apoyan la digitalización y automatización en la almazara a través de la implantación de tecnologías novedosas en el sector. Crear una plataforma de control centralizada con registro de datos y visualización de parámetros en tiempo real constituye una estrategia viable técnicamente y con un alto potencial de retorno económico y competitivo, en el contexto de un mercado caracterizado por su volatilidad y crecimiento, que cada vez es más exigente.

9.2. Implicaciones para el sector oleícola

La propuesta tecnológica desarrollada en el proyecto representa un paso adelante hacia la transformación del sector oleícola hacia la modernización, un sector caracterizado por procesos tradicionales poco digitalizados y fuertemente dependientes de la experiencia. La integración de tecnologías novedosas en el sector a través de equipos de medición de alta precisión abre la puerta hacia la optimización del proceso productivo y la evolución hacia un modelo de almazara digitalizada, más eficiente, competitiva y sostenible.

Este cambio supone un avance hacia la “Industria 4.0 del aceite de oliva”. La propuesta constituye una herramienta sofisticada que, a través del histórico de datos y datos en tiempo real, es clave para la toma de decisiones. La propuesta supone mejoras en términos de eficiencia energética, aprovechamiento de materias primas (aceituna) y reducción de pérdidas, lo que fortalece al sector oleícola español ante la creciente competitividad internacional y la volatilidad del mercado.

9.3. Próximos pasos y líneas de investigación futuras

El presente proyecto establece el desarrollo de una propuesta que supone un avance de la almazara hacia la digitalización y optimización de la producción a través de la trazabilidad y el control interno de procesos. Para poder valorar de forma final y objetiva su viabilidad práctica y el impacto real que tendría, sería conveniente la implementación en una almazara piloto con bajo o ningún grado de digitalización. Este siguiente paso permitirá comprobar en condiciones reales:

- El retorno de la inversión (ROI).
- El ahorro efectivo en costes de producción.
- El aumento del volumen de producción a través de la captación y fidelización de agricultores como resultado del nuevo modelo de almazara.
- La aceptación operativa de la tecnología por parte del personal y su integración en el proceso rutinario del maestro almazarero.

Una vez la propuesta esté implementada en la almazara, se comenzaría con el registro de datos de campaña. La acumulación de parámetros clave (rendimiento graso, humedad de la pasta, flujo másico de la pasta, caudal de aceite y los propios de la maquinaria ya en uso) abre la puerta hacia el siguiente paso, el desarrollo de modelos predictivos basados en inteligencia artificial para la determinación de los parámetros óptimos de la maquinaria en el proceso productivo de la almazara.

La idea sería desarrollar un modelo predictivo que, a partir de los parámetros iniciales de la aceituna (cantidad, variedad, grado de maduración, etc), fuera capaz de predecir las condiciones óptimas de producción de la almazara, sin necesidad de medirlos con la almazara en funcionamiento. A medida que aumente la base de datos histórica alimentada por los equipos de medición y registrados en la unidad central, más sofisticado será la IA en sus predicciones y recomendaciones, convirtiéndose en una herramienta de apoyo decisiva para maximizar la extracción, calidad y eficiencia del proceso de producción del AOVE.

En el largo plazo, esta línea de investigación, además de consolidar un modelo de almazara inteligente y autónoma, sería un avance clave hacia el desarrollo de modelos de gestión predictiva aplicables a todo el sector del AOVE, contribuyendo a su competitividad y sostenibilidad global.

10. Capítulo X: Referencias

- [1] Horizon Grand View Research, “Spain Olive Market Size & Outlook, 2024-2030” [Online]. <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/olive-market/spain>
- [2] Martín V. “Denominaciones de origen: una revisión en el mercado alimentario español”. Universidad Complutense de Madrid. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Gobierno de España, 2006. [Online]. https://www.mapama.gob.es/app/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_DYC%2FDYC_2006_90_87_113.pdf
- [3] Díaz S. “Spanish olive oil: the liquid gold that must be developed further”. CaixaBank Research, 2022. [Online]. <https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/agroalimentario/aceite-oliva-espanol-oro-liquido-hay-poner-valor>
- [4] Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural. “Ayudas PAC (Política Agrícola Común”. Junta de Andalucía. (s.f.). [Online]. <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaaguaydesarrollorural/areas/politica-agraria-comun/ayudas-pac.html>
- [5] Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. “Ayuda asociada al olivar con dificultades específicas y alto valor medioambiental”. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Gobierno de España, 2020. [Online]. <https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/reforma-de-la-pac/plan-estrategico-pac-post-2020/desplegable/ayuda-asociada-al-olivar-con-dificultades-especificas-y-alto-valor-medioambiental-justificacion-de-las-dificultades-del-sector.pdf>
- [6] Oficina de Fondos Europeos. “Oleoturismo en España”. Diputación de Jaén, España. (s.f.). [Online]. <https://fondoseuropeos.dipujaen.es/proyectos/oleoturismo-espana/>
- [7] Dawson D. “U.S. Olive Oil Producers Win Big at World Competition”. Olive Oil Times, 2025. [Online]. <https://www.oliveoiltimes.com/production/u-s-olive-oil-producers-win-big-at-world-competition/139776>

- [8] Dawson D. “Report Reveals Winners, Loser in Spanish Olive Oil Market. Olive Oil Times, 2023. [Online]. <https://www.oliveoiltimes.com/business/report-reveals-winners-losers-in-spanish-olive-oil-market/120186>
- [9] International Olive Council (IOC). “Olive Oil Prices – December 2024 update”. 2024. [Online]. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2025/01/IOC-prices-rev-0-1-2324.html>
- [10] United States Department of Agriculture. “EU Olive Oil Production Update 2024”. Global Agricultural Information Network, 2024. [Online]. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=EU+Olive+Oil+Production+Update+2024_Madrid_European+Union_PO2024-0004.pdf
- [11] European Commission. “DG Agri Dashboard: Olive Oil”. 2025. [Online]. https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2023-12/olive-oil-dashboard_en.pdf
- [12] Banco De España. “The impact of drought on agricultural production in Spain”. Article 07, Economic Bulletin, 2025. [Online]. <https://www.bde.es/f/webbe/SES/Secciones/Publicaciones/InformesBoletinesRevistas/BoletinEconomico/25/T2/Files/be2502-art07e.pdf>
- [13] Fraga H., Moriondo M., Leolini L y Santos J. “Mediterranean Olive Orchards under Climate Change: A Review of Future Impacts and Adaptation Strategies”. MDPI, 2020. [Online]. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/1/56>
- [14] Cappalètti G., Ioppolo G., Nicoletti G., Russo C. “Energy Requirement of Extra Virgin Olive Oil Production”. MDPI, 2014. [Online]. <https://www.mdpi.com/2071-1050/6/8/4966>
- [15] Bouhaddane M. y Mili S. “Forecasting Global Developments and Challenges in Olive Oil Supply and Demand: A Delphi Survey from Spain”. MDPI, 2021. [Online]. <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/3/191>
- [16] Demir S., Erarşlan C. y Pehlivanoglu F. “Factors Affecting competition in olive oil exports: Panel data analysis of selected countries. Case Study”. Agricultural Economics (AgricEcon), 2020. [Online]. <https://agricecon.agriculturejournals.cz/pdfs/age/2021/12/05.pdf>

- [17] Nigatu G., Badau F., Hansen J., Nigatu G. y Seeley R. “Factors Contributing to Changes in Agricultural Commodity Prices and Trade for the United States and the World”. United States Department of Agriculture, 2020. [Online]. https://www.ers.usda.gov/sites/default/files/_laserfiche/publications/95697/ERR-272.pdf
- [18] Arriaza M., Gómez-Limón J. A. y Martín-García J. “Conventional versus organic olive farming: which has better economic performance?”. Agricultural and Food Economics, Springer Open, 2023. [Online]. <https://agrifoodecon.springeropen.com/articles/10.1186/s40100-023-00292-5>
- [19] Gómez-Limón J. A., La Cal J. A., Polonio D. y Villanueva A. J. “La bioeconomía circular de la industria del aceite de oliva: rentabilidad y probabilidad de la gasificación de subproductos de almazara. SSRN, 2024. [Online]. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4788333
- [20] de Cássio A., Fernandes C. Lopes J., Martins T. y Silveira T. “Analysis of Olive Oil Market Volatility using the ARCH and GARCH techniques”. International Journal of Energy Economics and Policy (IJEPP), 2020. [Online]. <https://www.econjournals.com/index.php/ijepp/article/view/9138>
- [21] Perialisi. (s.f.). “Productos, Separadores Centrífugos”. (s.f.). [Online]. <https://www.perialisi.com/es/es/productos/separadores-centr%C3%ADfugos/>
- [22] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. “Estudio de la cadena de valor del aceite de oliva virgen extra, campaña 2020-21” (Estudios e Informes / Observatorio de precios de los alimentos). MAPA, 2021. [Online]. <https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/estudios-informes/otros-informes/estudiodelacadenadevalor2020-2021mapadefinitivo.pdf>
- [23] Garrido M. M. “Estructura de costes en una almazara”. TFG Ingeniería de Organización Industrial, Universidad de Sevilla, 2018. [Online]. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/91705/fichero/TFG-1705-GARRIDO.pdf>
- [24] Parras-Rosa M, Ruz-Carmona A y Vega-Zamora M. “Cadena de valor del aceite de oliva virgen extra”. CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y

- Cooperativa, 2024. [Online]. https://ciriec-revistaeconomia.es/wp-content/uploads/CIRIEC_112_01_Parras_et_al.pdf
- [25] Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. “Estudio de la cadena de valor y formación de precios del aceite de oliva 2007/08”. Secretaria General del Medio Rural y Producción Ecológica, Junta de Andalucía, 2009. [Online]. <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaaguaydesarrollorural/servicios/estudios-informes/detalle/71390.html>
- [26] Abdulmunem Y. y Fernández D. “Efficiency Factors in the Olive Oil Sector in Turkey”. Universidad de Jaén, MDPI, 2024. [Online]. <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/3/493>
- [27] Gouta P., Konstantidelli V., Sinsori A. y Tzouramani I. “Profitability, Productivity, and Technical Efficiency of Cretan Olive Groves across Alternative Ecological Farm Types”. MDPI, 2023. [Online] <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/12/2194>
- [28] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. “Cadena de valor del aceite de oliva virgen extra Campañas 2018-2019 y 2019-2020”. MAPA, Gobierno de España, 2021. [Online]. <https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/alimentacion/temas/consumo-y-tendencias-en-alimentacion/observatorio-cadena-alimentaria-abril-2016/estudios-e-informes/estudiodecadenadevalordelaovecampanas2018-20192019-2020.pdf>
- [29] Parras-Rosa M. “Informe anual de coyuntura del sector oleícola”. Cátedra Aceites de Jaén, 2023. [Online]. <https://www.catedraaceitesdejaen.com/wp-content/uploads/2024/02/Informe-2023-24-1.pdf>
- [30] Dios-Palomares R. y Martínez-Paz J. M. “Eficiencia técnica, de calidad y medioambiental de la industria del aceite de oliva”. Food Policy, 2011. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306919211000601?via%3Dihub>
- [31] Beullens K., Bolelyn E., Lammertyn J., Nicolai B. M., Peirs A., Sayeis W. y Theron K. I. “Medición no destructiva de la calidad de frutas y verduras mediante espectroscopia NIR: una revisión”. Biología y Tecnología Postcosecha, 2007. [Online].

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521407002293?via%3Dihub>
- [32] Dueñas J. I., Izquierdo E., Jiménez A., Rodríguez F. y Tortosa C. “Determinación de grasa y humedad en aceitunas mediante medidas de reflectancia en infrarrojo cercano”. *Grasas y Aceites*, 2000. [Online]. https://www.researchgate.net/publication/26523701_Determinacion_de_grasa_y_humedad_en_aceitunas_mediante_medidas_de_reflectancia_en_infrarrojo_cercano
- [33] Baeten V., Fernández-Pierna J. A., Peña-Rodríguez F. y Salguero-Chaparro L. “Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para la determinación en línea de parámetros de calidad en aceitunas intactas”. *Food Chemistry*, 2013. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814613000046>
- [34] Arbonés A., Benito A., Bonet L. J., de Lorenzo C., Pascual M., Paz S., Pérez M. A., Santos A., Sastre B., Rufat J. y Villar J. M. “Efecto del riego en la producción de aceite en sistemas superintensivos de arbequina”. *Comunicaciones Científicas Simposium Expoliva*, 2019. [Online]. https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/6535/2019_Benito_Efecto.pdf
- [35] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. “Análisis de rendimiento graso en aceitunas”. MAPA, Gobierno de España, *Revista Agropecuaria*, 1998. [Online]. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_1_998_788_240_243.pdf
- [36] Cooperativa Aceites de Oliva de Valdepeñas (Colival). “Variabilidad en los rendimientos de aceituna”. Colival, 2024. [Online]. <https://colival.com/wp-content/uploads/2024/10/RENDIMIENTOS.pdf>
- [37] Hamze L. M., Rosseaux M. C., Searles P. S. y Trentacoste E. R. “Crecimiento del fruto y acumulación de aceite del olivo (*Olea europaea* L.) Cultivares en diferentes lugares a lo largo de un gradiente latitudinal-altitudinal”. *MDPI*, 2024. [Online]. <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/12/1339>
- [38] FOSS A/S. “NIR technology for routine analysis of food and agricultural products”. *FOSS Analytics*. (s.f.). [Online]. <https://www.fossanalytics.com/es-es/news-articles/technologies/nir-technology>

- [39] Kent M., Meyer W. “A density-independent microwave moisture meter for heterogeneous foodstuffs”. *Journal of Food Engineering*, 1982. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0260877482900115>
- [40] Precia Molen. “Belt scales and weighing conveyors”. (s.f.). [Online]. <https://www.preciamolen.com/range/bulk-continuous-weighing/belt-scales/>
- [41] Siemens. “Stand-alone weighing electronics”. (s.f.). [Online]. <https://www.siemens.com/us/en/products/automation/process-instrumentation/weight-measurement/weighing-electronics-stand-alone.html>
- [42] KROHNE Group. “High accuracy batching of edible oil”. (s.f.). [Online]. <https://www.krohne.com/en/applications/high-accuracy-batching-of-edible-oil>
- [43] Aguilera D., Cano P., Gámez J. y Gómez J. “Situación actual y perspectivas futuras del control del proceso de elaboración del aceite de oliva virgen”. *Revista iberoamericana de automática e informática industria (RIAI)*, 2011. [Online]. https://www.researchgate.net/publication/257684506_Situacion_actual_y_perspectivas_futuras_del_control_del_proceso_de_elaboracion_del_aceite_de_oliva_virgen
- [44] Siemens AG. “Milltronics MSI y MMI: básculas de cinta”. [Instrucciones de servicio]. 2021. [Online]. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/892/109810892/att_1114604/v1/A5E38976497es_Milltronics_MSI_MMI_OI_es-ES.pdf
- [45] Tamtron Group. “Long-lasting and reliable belt scale meets the needs of mining industry”. (s.f.). [Online]. <https://tamtrongroup.com/en/long-lasting-and-reliable-belt-scale-meets-the-needs-of-mining-industry/>
- [46] KROHNE Group. “Equipping a dairy plant with flow measuring devices”. (s.f.). [Online]. <https://www.krohne.com/es-es/aplicaciones-reales/equipping-dairy-plant-flow-measuring-devices>
- [47] Casale M., Simonetti R. “Review: Near Infrared Spectroscopy for Analysing Olive Oils”. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2014. [Online].
- [48] Aiello G., Cappelli A., Cividino S., Redaelli V., Tripodi G., Velotto S. y Zaninelli M. “Applying Spectroscopies, Imaging Analyses, and Other Non-Destructive Techniques to Olives and Extra Virgin Olive Oil: A Systematic Review of Current

- Knowledge and Future Applications”. MDPI, 2024. [Online].
<https://www.mdpi.com/2077-0472/14/7/1160>
- [49] Silver Automation Instruments. “Advantages and disadvantages of Coriolis flowmeter”. (s.f.). [Online]. <https://www.silverinstruments.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-coriolis-flowmeter.html>
- [50] FOSS A/S. “El poder del análisis en línea mejora la eficiencia en la producción de alimentos y piensos”. FOSS Analytics. (s.f.). [Online].
<https://www.fossanalytics.com/en/news-articles/newsforum/global/2021/the-power-of-in-line-analysis>
- [51] FOSS A/S. “ProFOSS 2 – Butter Process Analytics”. (s.f.). [Online].
https://maybo.az/wp-content/uploads/2022/10/ProFoss2_Butter_Solution_Brochure_GB.pdf
- [52] FOSS A/S. “Butter quality moves closer to the mark”. FOSS Analytics, FoodTech, 2022. [Online]. <https://www.foodtech.dk/artikler-og-inspiration/artikel/butter-quality-moves-closer-to-the-mark>
- [53] FOSS A/S. “ProFOSS: in-line process analysis of feed”. (s.f.). [Online].
https://www.gerber-instruments.com/files/gerber-instruments_files/pdf/FOSS/FOSS%20Getreide/ProFoss_Solution_Brochure_Feed_GB%20pdf.pdf
- [54] KPM Analytics. “MCT Series: MCT560, MCT566 & MCT569 online NIR moisture, oil/fat, coat weight, and temperature sensors”. KPM Analytics. (s.f.). [Online].
<https://www.seco-pi.com/KPM%20MCT560-%20MCT566%20%20MCT569%20Series.pdf>
- [55] Process Instrument Solutions. “KPM MCT566 Online NIR Sensor”. [Página del producto]. (s.f.). [Online].
<https://www.processinstrumentsolutions.co.uk/product/kpm-mct566-online-nir-sensor/>
- [56] KPM Analytics. “MCT566: sensor NIR en línea para humedad, aceite/grasa y temperatura (uso alimentario). [Página del producto]. (s.f.). [Online].
<https://www.kpmanalytics.com/es/products/moisture-compositional/mct566>

- [57] KPM Analytics. “Análisis durante el proceso de humedad y aceite para pasta y orujo de aceitunas”. KPM Analytics Resource Center. (s.f.). [Online]. <https://www.kpmanalytics.com/es/resources/categories/centro-de-recursos/aceite-de-humedad-en-pasta-de-aceituna-y-orujo>
- [58] Thayer Scale-Hyer Industries. “Food-Grade Conveyor Belts”. (s.f.). [Online]. <https://www.thayerscale.com/food-conveyor-belts/>
- [59] Emerson. (s.f.). “Coriolis Flow Meters for Mass, Volume, & Density Measurement”. (s.f.). [Página del producto]. [Online]. <https://www.emerson.com/en-us/automation/measurement-instrumentation/flow-measurement/coriolis-flow-meters-for-mass-volume-density-measurement>
- [60] Instrumart. “Micro Motion ELITE Coriolis Flow Meters”. [Página del producto]. (s.f.). [Online]. <https://www.instrumart.com/products/42309/micro-motion-elite-coriolis-flow-meters>
- [61] Emerson. “Soporte técnico”. [Página del servicio]. Emerson Servicios de Ciclo de Vida. [Online]. <https://www.emerson.com/es-es/automation/services-consulting/lifecycle-services/technical-support>
- [62] Siemens AG. “SIMATIC WinCC Professional – The most established SCADA system”. [Página del product]. (s.f.). [Online]. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-professional-rt.html>
- [63] Siemens AG. “OPC UA – Structured data up to the cloud”. [Página del producto]. (s.f.). [Online]. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/opc-ua.html>
- [64] Siemens AG. “SIMATIC IPC227E Industrial Edge Device”. (s.f.). [Online]. https://www.dex.siemens.com/simatic-ipc227e-industrial-edge-device?cclcl=es_ES
- [65] Bogart J. “Real-Time NIR Testing Can Slash QC Costs UP to 90%”. Plastics Technology, 2020. [Online]. <https://www.ptonline.com/articles/real-time-nir-testing-slash-testing-costs-up-to-90>

- [66] Polytec GmbH. “Olive oil production – Inline process control with NIR spectroscopy. (s.f.). [Online]. <https://www.polytec.com/int/process-analytics/areas-of-application/food-industry/edible-oil-fats/olive-oil-production>
- [67] FOSS A/S. “OliveScan “: control analítico rápido de aceituna, pasta y orujo”. [Página del producto]. (s.f.). [Online]. <https://www.fossanalytics.com/es-es/products/olivescan-2>
- [68] International Olive Council. “International Olive Oil Production Costs Study: Results, Conclusions and Recommendations”. International Olive Council, 2015. [Online]. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/INTERNATIONAL-OLIVE-OIL-PRODUCTION-COSTS-STUDY-.pdf>
- [69] International Olive Council. “Olive oil prices – February 2022 update”. International Olive Council, 2022. [Online]. <https://www.internationaloliveoil.org/olive-oil-prices-february-2022-update/>
- [70] Cooperativa Agraria Nuestra Señora del Pilar. “Quiénes somos”. (s.f.). [Online]. <https://www.cooperativadelpilar.com/paginas/La-Cooperativa.asp>
- [71] Asamblea General de Naciones Unidas. “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development”. ONU, 2015. [Online]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

Anexo Objetivos de Desarrollo Sostenible

El alcance del proyecto en su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la propuesta se alinea especialmente con los siguientes:

ODS 7: Energía asequible y no contaminante.



Figura 46: ODS 7. (ONU). [72]

El proyecto, implementando nuevas tecnologías en la línea de producción de la almazara, promueve la eficiencia energética. A través de la digitalización, trazabilidad y control interno del proceso de producción de la almazara se reduce el consumo energético a través de la maximización de la eficiencia de la maquinaria, evitando pérdidas energéticas en tiempos muertos y consumos innecesarios en las distintas fases. El aumento del rendimiento energético de la maquinaria reduce el gasto energético por kg de AOVE producido resultando en una producción más sostenible y una menor huella de carbono.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura.



Figura 47. ODS 9. (ONU). [72]

El proyecto considera modernizar los equipos industriales propios de una almazara, lo cual no solo lleva al aumento de la eficiencia en los procesos, sino que impulsa la innovación tecnológica en el sector agroalimentario y el entorno rural. La propuesta fomenta la modernización de la infraestructura productiva de la almazara y, además, incentiva la competitividad en el mercado, aumentando la capacidad de adaptarse a los retos actuales y futuros de la industria.

ODS 12: Producción y consumo responsables



Figura 48. ODS 12. (ONU). [72]

Se plantea una solución con la que, mediante maximización del rendimiento y aprovechamiento de la producción de aceite, se reduce la producción de residuos, resultando en una gestión más sostenible de la aceituna, recurso natural que forma parte del proceso. El control interno del rendimiento graso de la aceituna y la humedad de la pasta maximiza la extracción de aceite, reduciendo pérdidas y aumentando el aceite obtenido por kg de aceituna.

En conjunto, la propuesta tecnológica, además de incrementar la eficiencia y rentabilidad de la almazara, es un paso adelante hacia la transformación sectorial hacia un modelo de almazara más sostenibles, competitivo y alineado con los principios de promovidos por la Agenda 2030.