



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del  
Medio Rural

Hortofruticultura y Jardinería

Implementación de técnicas de agricultura de  
precisión y digitalización en un cultivo de patata en  
Almudévar (Huesca)

Implementation of precision agriculture and  
digitalization techniques in a potato crop in  
Almudévar (Huesca)

Autor

Javier Bara Gaseni

Directora

María Videgain Marco

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2025



## Declaración expresa de autoría

El presente Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

JAVIER BARA GASENI

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Bara Gaseni', with a stylized flourish at the end.

## Agradecimientos

A la empresa Almacenes Bonel SL, en especial a Ángel, por confiar en mi para este proyecto y permitirme llevar a cabo este proyecto.

A todo el equipo de PepsiCo, en especial a Adrián, por su increíble ayuda y dedicación.

A mi tutora María Videgain Marco por su ayuda, esfuerzo, dedicación y paciencia. Sin ella no hubiera sido posible este trabajo.

A mi familia y amigos por estar siempre ahí apoyándome.

A tu, avi, per ser la persona que em va ensenyar tot el que sé. Sense tu, no seria agricultor.

## Resumen

Este Trabajo Fin de Grado evaluó la implementación de técnicas de agricultura de precisión (AP) y digitalización en el cultivo de patata, mediante un ensayo desarrollado en Almudévar (Huesca). Se analizaron los efectos de la dosificación variable de nitrógeno sobre el rendimiento, el vigor del cultivo y parámetros de calidad postcosecha. Se utilizaron herramientas como imágenes multiespectrales de satélite, estaciones meteorológicas, plataformas digitales y sistemas de fertirrigación.

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en los parámetros agronómicos evaluados entre zonas ni entre dosis, aunque sí se observaron diferencias en el índice NDVI atribuibles a condiciones específicas del cultivo, como la presencia de malas hierbas. El análisis económico evidenció un mayor retorno parcial con la dosis más alta de nitrógeno, así como una eficiencia en el uso del nitrógeno también superior.

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto el potencial de estas herramientas para mejorar la toma de decisiones y la sostenibilidad en condiciones reales. Además, el trabajo se desarrolló en una zona catalogada como vulnerable por nitratos, lo que reforzó la necesidad de ajustar las dosis de fertilización con precisión para reducir impactos ambientales sin comprometer la productividad.

Palabras clave: herramientas digitales, rotación de cultivos, nitrógeno, NDVI, eficiencia en el uso de nitrógeno

## Abstract

This Final Degree Project evaluated the implementation of precision agriculture (PA) and digitalization techniques in potato cultivation through a field trial carried out in Almudévar (Huesca, Spain). The study assessed the effects of variable nitrogen rate application on yield, crop vigor, and postharvest quality parameters. Tools such as multispectral satellite imagery, weather stations, digital platforms, and fertigation systems were used.

Statistical analysis did not reveal significant differences in agronomic parameters between zones or nitrogen rates, although differences were observed in NDVI values, attributed to specific field conditions such as weed presence. The economic analysis showed a higher partial return and greater nitrogen use efficiency for the higher nitrogen rate.

The results highlighted the potential of these technologies to improve decision-making and sustainability under real conditions. Furthermore, the study was conducted in a nitrate vulnerable zone, reinforcing the importance of optimizing nitrogen inputs through precision techniques to reduce environmental impacts without compromising productivity.

Keywords: digital tools, crop rotation, nitrogen, NDVI, nitrogen use efficiency

# ÍNDICE GENERAL

Declaración expresa de autoría .....	I
Agradecimientos.....	II
Resumen.....	III
Abstract .....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	VIII
Introducción.....	1
1.1. Origen de la patata.....	2
1.2. Situación actual del cultivo .....	2
1.3. Botánica de la patata y ciclos de producción .....	4
1.4. Composición química y destino de la producción .....	8
1.5. Requerimientos del cultivo.....	9
1.5.1. Temperatura.....	9
1.5.2. Suelo .....	9
1.5.3. Abonado .....	10
1.5.4. Plantación.....	11
1.5.5. Riego .....	12
1.5.6. Malas hierbas.....	12
1.5.7. Plagas y enfermedades.....	13
1.6. AP y digitalización .....	16
1.7. Uso de la teledetección .....	17
1.8. Uso de herramientas digitales .....	20
1.9. Implementación de AP y digitalización en el cultivo de la patata .....	21
1.10. Justificación del trabajo .....	24
2. Objetivos .....	26
3. Material y métodos.....	27
3.1. Emplazamiento del ensayo .....	27
3.2. Climatología y suelo .....	28
3.3. Caracterización de la variabilidad intraparcelar.....	33
3.4. Análisis de agua.....	36
3.5. Material vegetal .....	38
3.6. Diseño experimental.....	39

3.7. Manejo agronómico del cultivo.....	40
3.8. Análisis de parámetros de rendimiento y postcosecha .....	45
3.8.1. Rendimiento .....	45
3.8.2. Parámetros de calidad.....	48
3.8.3. Análisis estadístico de resultados .....	53
3.9. Seguimiento del cultivo.....	53
3.10. Análisis técnico-económico.....	56
4. Resultados y discusión.....	56
4.1. Rendimiento.....	56
4.2. Humedad, grados Brix, dureza y almidón .....	61
4.3. Índice vegetación NDVI .....	63
4.4. Seguimiento de parámetros in situ .....	69
4.5. Herramientas digitales.....	70
4.6. Análisis técnico-económico.....	74
5. Conclusiones.....	74
6. Referencias bibliográficas .....	76
Anexos .....	1
Anexo 1. Estudio económico.....	1
Anexo 2. Consumo agua riego.....	4
Anexo 3. Análisis de calidad.....	7

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional media de la patata. Elaboración propia en base a datos de Valero et al. (2018).....	8
Tabla 2. Necesidades de fertilización de la patata. Elaboración propia en base a datos de García-González de Lena (2014). .....	10
Tabla 3. Necesidades de fertilización de la patata (MAPA, 2025c).....	11
Tabla 4. Plan de riego para patata tardía en Aragón. Fuente: Borruey y Cotrina (1998).....	12
Tabla 5. Principales materias activas para malas hierbas en patata. Elaboración propia en base a (García-González de Lena, 2014). .....	13
Tabla 6. Principales plagas y enfermedades del cultivo de la patata. Elaboración propia en base a los datos de García-González de Lena (2014). .....	14
Tabla 7. Plataformas de teledetección por satélite. Elaboración propia en base a datos de Sun et al. (2022). .....	18
Tabla 8. Información catastral de las parcelas.....	27
Tabla 9. Precipitación, temperatura media, temperatura máxima y mínima media mensual en la estación de la Red SiAR en Gurrea de Gállego para el periodo 2004-2024. Elaboración propia en base a SiAR (2025). .....	28
Tabla 10. Cultivos en las parcelas de ensayo en las campañas agrícolas 2019-2024.....	33
Tabla 11. Analítica de suelo de las parcelas de estudio siendo Zona 1 (menor fertilidad aparente) y Zona 2 (mayor fertilidad aparente). .....	34
Tabla 12. Analítica del agua de riego utilizada en el cultivo. ....	36
Tabla 13. Labores realizadas en el cultivo en ambas parcelas de ensayo. ....	41
Tabla 14. Balance de fertilización para el factor Dosis 1 y Dosis 2 en ambas parcelas de ensayo. ....	41
Tabla 15. Contenido de nutrientes en el suelo de las parcelas de estudio según el factor Zona.....	42
Tabla 16. Fertilización de las parcelas de ensayo durante el cultivo.....	42
Tabla 17. Tratamientos fitosanitarios llevados a cabo en las parcelas de ensayo durante el cultivo. ....	43
Tabla 18. Datos de rendimiento obtenidos para las muestras recogidas en ambas parcelas de estudio. ....	57
Tabla 19. Prueba ANOVA de dos factores para parcela 1 según variables rendimiento, nº tubérculos y peso tubérculos 40-90 mm. ....	60
Tabla 20. Estadísticos descriptivos para parcela 2 según factor Zona. ....	60
Tabla 21. Prueba ANOVA de dos factores para parcela 2 según variables rendimiento, nº tubérculos y peso tubérculos 40-90 mm. ....	61
Tabla 22. Estadísticos descriptivos para parcela 1 según el factor Tratamiento para humedad, grados Brix, dureza y almidón.....	61
Tabla 23. ANOVA de dos factores en la parcela 1 según factor Zona y Dosis para humedad, grados Brix, dureza y almidón. ....	62
Tabla 24. Estadísticos descriptivos para parcela 2 según el factor Zona para humedad, grados Brix, dureza y almidón. ....	63
Tabla 25. ANOVA de dos factores en la parcela 2 según el factor Zona para humedad, grados Brix, dureza y almidón. ....	63
Tabla 26. P-valor según prueba Shapiro-Wilk para parcela 1 según factor Zona y Dosis en las fechas 02-07 y 12-07.....	65

Tabla 27. Prueba Mann-Whitney para factor Zona en parcela 1 para las fechas 02-07 y 12-07. ....	65
Tabla 28. Prueba Mann-Whitney para factor Dosis en parcela 1 para las fechas 02-07 y 12-07. ....	65
Tabla 29. ANOVA de dos factores en la parcela 2 según el factor Zona para las fechas 14-05 y 23-05.....	68
Tabla 30. Datos del seguimiento del cultivo en ambas parcelas. ....	70
Tabla 31. Análisis económico del cultivo según dosis. ....	74
Tabla I.2. Gastos asociados a fertilizantes, fitosanitarios y semilla. ....	2

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficie de la patata para consumo humano en España. Elaboración propia en base a datos del MAPA (2023b).....	3
Figura 2. Superficie cultivada de cereal y hortalizas en Almudévar (secano y regadío entre 2018 y 2022). Elaboración propia en base a datos del IAEST (2025). ....	4
Figura 3. Porcentaje de cultivo de patata en función de la época de recolección en España (2021). Elaboración propia en base a datos del MAPA (2025a).....	7
Figura 4. Parcelas de estudio en la zona de Almudévar (Huesca).....	27
Figura 5. Diagrama ombrotérmico para los años 2004 - 2024 en la estación de la Red SiAR en Gurrea de Gállego. ....	29
Figura 6. Ubicación de la estación meteorológica.....	30
Figura 7. Estación meteorológica xSense Pro. ....	31
Figura 8. Precipitación (mm) y temperatura media (°C) durante el desarrollo del cultivo. Elaboración propia en base a para la precipitación la Red SiAR en Gurrea de Gállego (SiAR, 2025) y para la temperatura estación propia. ....	31
Figura 9. Mapa geológico zona de estudio. Fuente: IGN (2025). ....	32
Figura 10. NDVI promedio de los tres años de seguimiento para cada parcela. ....	34
Figura 11. Plantadora de patatas.....	38
Figura 12. Sectores de riego de las parcelas de estudio. ....	39
Figura 13. Dosis diferenciadas de nitrógeno en las parcelas de estudio, Dosis 1 (136 kg N/ha) y Dosis 2 (163 kg N/ha). ....	40
Figura 14. Mala hierba del género Xanthium encontrada en la parcela 1. ....	44
Figura 15. Mala hierba del género Sorghum encontrada en la parcela 1. ....	44
Figura 16. Mala hierba del género Sonchus encontrada en la parcela 1. ....	45
Figura 17. Puntos recogida muestras para determinar rendimiento según factor Zona y Dosis.....	46
Figura 18. Cosecha de patatas para la recogida de muestras. ....	47
Figura 19. Báscula Gram RZ-30K para pesar patatas cosechadas. ....	48
Figura 20. Báscula Gvolatee para pesar patata cosechadas.....	48
Figura 21. Preparación muestras de patata para el secado.....	50
Figura 22. Báscula Sartorius CP 224 S para pesado muestras patata antes y después del secado. ....	50
Figura 23. Secado de muestras de patata en estufa de aire caliente J.P. Selecta.....	50
Figura 24. Medidor KERN Optics para determinar grados Brix.....	51
Figura 25. Muestra de patata teñida con lugol. ....	52

Figura 26. Cálculo del porcentaje de tinción con Image J. ....	52
Figura 27. Penetrómetro manual FT-327 para determinar dureza de las muestras patata.	53
Figura 28. Cálculo del índice NDVI mediante calculadora ráster en el programa QGIS ....	54
Figura 29. Puntos de muestreo de NDVI en ambas parcelas según los factores Dosis y Zona.....	55
Figura 30. Rendimiento según Zona 1 (menor fertilidad aparente) / Zona 2 (mayor fertilidad aparente) y Dosis 1 (136 kg N/ha) / Dosis 2 (163 kg N/ha) para parcela 1.....	58
Figura 31. N° de tubérculos según Zona 1 (menor fertilidad aparente) / Zona 2 (mayor fertilidad aparente) y Dosis 1 (136 kg N/ha) / Dosis 2 (163 kg N/ha) para parcela 1. ....	58
Figura 32. Peso tubérculos 40-90 mm según Zona 1 (menor fertilidad aparente) / Zona 2 (mayor fertilidad aparente) y Dosis 1 (136 kg N/ha) / Dosis 2 (163 kg N/ha) para parcela 1. ....	59
Figura 33. NDVI medio por fechas para parcela 1 y Zona 1 según factor Dosis. ....	64
Figura 34. NDVI medio por fechas para parcela 1 y Zona 2 según Dosis. ....	64
Figura 35. NDVI para la fecha 02-07-2024 según el factor Zona en la parcela 1. ....	66
Figura 36. NDVI para la fecha 12-07-2024 según el factor Zona en la parcela 1. ....	67
Figura 37. NDVI medio por fechas para parcela 2 y dosis 1 según zona. ....	67
Figura 38. NDVI para la fecha del 14-05-2024 según factor Zona en la parcela 2. ....	68
Figura 39. NDVI para la fecha del 23-05-2024 según factor Zona en la parcela 2. ....	69
Figura 40. Comparación de índice NDVI a través de la plataforma X-Farm. ....	71
Figura 41. Realización de un mapa de dosificación variable a través de la plataforma X-Farm. ....	72
Figura 42. Comparativa del índice NDVI por fechas en la plataforma Sativum.....	72
Figura 43. Creación de mapa de dosificación variable en la plataforma Sativum.....	73

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo índice NDVI (Rouse et al., 1974). ....	18
Ecuación 2. Cálculo índice RVI (Pearson y Miller, 1972). ....	19
Ecuación 3. Cálculo índice NRVI (Lemenkova, 2020). ....	19
Ecuación 4. Cálculo índice SAVI (Huete, 1988). ....	20
Ecuación 5. Cálculo de la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN).....	56

## Introducción

La agricultura enfrenta grandes desafíos en el contexto actual, donde la necesidad de optimizar los recursos naturales, mejorar la eficiencia productiva y reducir el impacto ambiental es cada vez más urgente. En este sentido, la agricultura de precisión (AP) es considerada una opción viable para la modernización del sector agrícola, permitiendo un manejo más eficiente de los cultivos mediante el uso de tecnologías digitales. La integración de herramientas como los sensores de suelo, imágenes satelitales, teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) ha revolucionado la manera en que los agricultores toman decisiones en sus explotaciones (Carpio, 2018).

La digitalización en el sector agrícola permite el uso de sensores de humedad, estaciones meteorológicas, drones y mapas de rendimiento, los cuales brindan información detallada sobre las condiciones del suelo y el estado del cultivo. Estas herramientas posibilitan la aplicación de fertilizantes y riego de manera precisa, ajustando las dosis según las necesidades reales del cultivo y minimizando las pérdidas por lixiviación o evaporación, siendo esto un problema de gran importancia en la actualidad (Yartu, 2020).

La patata (*Solanum tuberosum*) es el tercer cultivo alimentario en términos de consumo humano después del arroz o el trigo, y el más importante si no contamos los cultivos cerealeros (Lizana et al., 2020).

El cultivo de la patata está ampliamente extendido en España y cuenta con una fuerte presencia en Aragón. Enfrenta retos específicos relacionados con la fertilización y la variabilidad del rendimiento, entre otros.

La utilización de tecnologías agrícolas de precisión (PATs, por el término inglés *Precision Agriculture Technologies*) ha transformado la forma en que se gestionan los cultivos, ofreciendo soluciones innovadoras para optimizar los recursos disponibles. La dosificación variable de nutrientes, como el nitrógeno, ha ganado peso debido a la posibilidad de ajustar de manera precisa las necesidades de fertilización según las características específicas de cada zona diferenciada en las parcelas. Este enfoque, que se enmarca en las mejores prácticas de gestión agrícola (BMPs, por su nombre en inglés *Best Management Practices*), busca mejorar la productividad y calidad del cultivo, al mismo tiempo que se reducen los impactos ambientales derivados de un uso excesivo o insuficiente de fertilizantes. Los sensores de suelo y las plataformas de monitoreo remoto son herramientas clave que permiten a los agricultores aplicar tratamientos de

manera más eficiente, respondiendo a la variabilidad del suelo y a las necesidades específicas de cada planta (Ahmad y Sharma, 2023).

La introducción de tecnología 4.0 en patata engloba diversas aplicaciones como son la predicción del rendimiento, la detección de enfermedades, la respuesta al estrés, la altura de la planta, el ciclo de crecimiento de la patata, el índice de fertilidad del suelo, el conteo de plantas y la tasa de emergencia entre otras (Sun et al., 2022). Estas aplicaciones se pueden resolver ya gracias a las numerosas herramientas tecnológicas existentes en el mercado actual, pero el agricultor deberá saber seleccionar cual es la que mejor se adapta a la aplicación que más requiera en su cultivo (Cisternas et al., 2020).

Este trabajo fin de grado se centra en la utilización de estas tecnologías para mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno en el cultivo de la patata, siendo este el principal elemento mineral limitante en la producción (Adrover et al., 2002), además de una evaluación y comparación de tecnologías de apoyo a la toma de decisiones.

## 1.1. Origen de la patata

Hace alrededor de 13.000 años crecieron las primeras variedades de papa (patata) en la costa chilena. Los Incas fueron los grandes propulsores de este cultivo al que denominaron “papa” refiriéndose a “tubérculo” en lenguaje Quechua. En Europa se le denomina comúnmente como “patata” derivado de “batata” y esto fue debido a que los españoles encontraron antes la patata dulce.

Se la bautizó como “*Solanum tuberosum*” por la relación que tenía con plantas de la familia de las solanáceas siendo la palabra “*Solanum*” una derivación del latín de “solanem” que quiere decir “calmante”.

En las regiones andinas de Sudamérica la subespecie más cultivada es la “andígena”, adaptada a la formación de tubérculos bajo 12 horas de luz diaria. En cambio, en Europa y Norteamérica se cultiva la subespecie “tuberosum” con las variedades más cultivadas (Alonso, 2002).

## 1.2. Situación actual del cultivo

La patata es el tercer cultivo alimentario en términos de consumo humano después del arroz o el trigo y el más importante si no se cuentan los cultivos cerealeros. La superficie cultivable de patata en los últimos años (1961-1990) ha disminuido un 20%,

pero la producción anual se estabilizó debido al aumento de la productividad. A partir de ahí se estabiliza la superficie de producción y además sigue aumentando poco a poco la producción. Los países que más patata producen son China (27% de la superficie mundial), India (12%), Rusia (7%), Ucrania (7%), Bangladesh (3%) y EE. UU. (2%). Los rendimientos medios varían mucho según la zona de producción (Lizana et al., 2020).

Tras la introducción de la patata en España a través de Sevilla, no fue hasta el siglo XVII y comienzos del siglo XVIII cuando esta se afirmó como cultivo importante por toda España (destacando el somontano de Aragón) (Rousselle et al., 1999).

En la actualidad, según el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (2025a) el sector de la patata en España representa el 1,0% de la producción de la rama agraria y el 1,7% de la producción vegetal en el año 2021.

Según los últimos datos detallados del año 2023, el cultivo cuenta con 62.010 ha produciendo 1.981.742 toneladas. Una reducción del 12,5% y el 11,50% respectivamente en los últimos años del 2017 hasta el 2023. Esta tendencia decreciente en superficie cultivada se debe al aumento de los rendimientos del cultivo (MAPA, 2023b).

En la figura 1 se puede observar la disminución de superficie cultivada de este tubérculo en España entre 2011 y 2023.

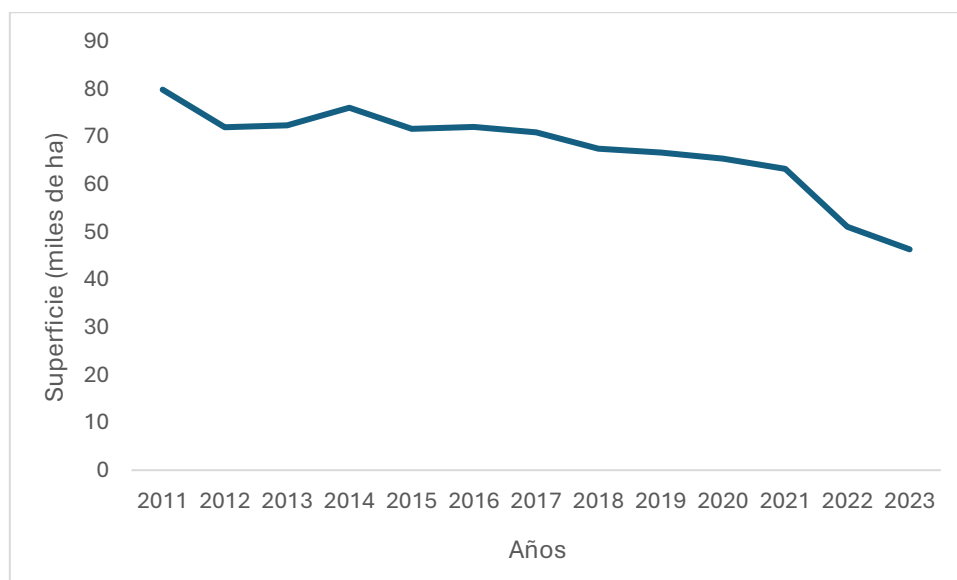


Figura 1. Superficie de la patata para consumo humano en España. Elaboración propia en base a datos del MAPA (2023b).

En Aragón la superficie cultivada es de 354 ha en el año 2023. Huesca es la última de las tres provincias contando con una superficie cultivada de 0 ha. Zaragoza es la primera en producción de patata de la comunidad autónoma contando con 247 ha por delante de Teruel con 107 ha. En ambos casos no se cuenta con cultivo de patata en secano (MAPA, 2023b).

En el municipio de Almodévar, lugar donde se desarrolla este estudio, según el Instituto Aragonés de Estadística (IAEST) (2025) solo hay registros del cultivo en la franja de años comprendida entre 2015 y 2019, un promedio de unas 1,2 ha por año. Sin embargo, desde el año 2019 no hay registro del cultivo en la zona. Se observa en la figura 2 los cultivos predominantes en la zona, que suelen ser los cereales y un porcentaje pequeño de hortalizas entre otros (también se tienen en cuenta las segundas cosechas).

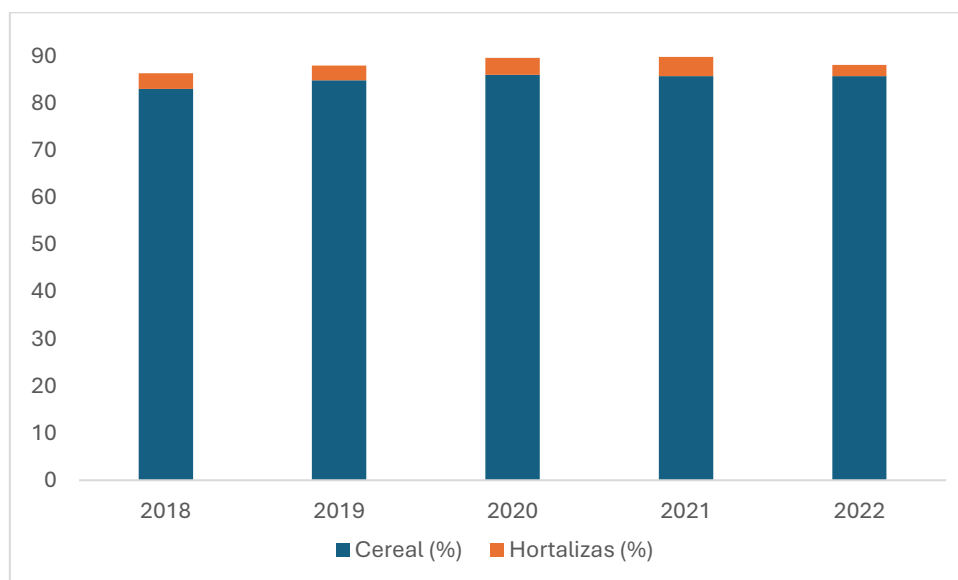


Figura 2. Superficie cultivada de cereal y hortalizas en Almodévar (secano y regadío entre 2018 y 2022).  
Elaboración propia en base a datos del IAEST (2025).

### 1.3. Botánica de la patata y ciclos de producción

La patata es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas, del género *Solanum*, como otras muchas especies. Se denomina científicamente como *Solanum tuberosum*. Esta se divide en dos subespecies mencionadas anteriormente, la *andigena*, cultivada principalmente en los países andinos, adaptada a días cortos, y la *tuberosum*, variedad que se cultiva actualmente y adaptada a días largos (García-González de Lena, 2014).

Tal y como indica Lizana et al. (2020), la patata es una planta herbácea, perenne por sus tubérculos, pero normalmente cultivada como anual y dicotiledónea. La planta de la patata presenta una serie de partes que se pueden dividir en hojas, tallos, flores, raíces y frutos según García-González de Lena (2014).

### Hojas

Las hojas de la patata, distribuidas en espiral sobre el tallo, son normalmente compuestas, imparipinadas, con 3 o 4 pares de folíolos ovales y culminadas por un solo folíolo de mayor tamaño. Estos folíolos pueden estar unidos al raquis mediante un pequeño pecíolo denominado peciólulo. Además, pueden presentar pelos o tricomas según la variedad.

### Tallos

La patata presenta tres tipos de tallos que se pueden dividir en:

**Aéreos:** son aquellos que se forman a partir de las yemas de los tubérculos usados como semilla, siendo estos gruesos, fuertes y angulosos. Al principio se desarrolla erguido y poco a poco se inclina hacia el suelo.

**Rizomas:** los rizomas son tallos que se originan en la parte subterránea creciendo de forma horizontal bajo el suelo. Salen de brotes laterales y estos a su vez salen de la base del tallo aéreo. Cada rizoma dará lugar a un tubérculo engrosando su extremo.

**Tubérculos:** es la parte comestible de la patata. Una parte del tallo subterráneo que se forma mediante la acumulación de reservas. Está compuesto por unos orificios dispuestos en espiral sobre su superficie (conocidos como “ojos”) donde se guardan las yemas vegetativas. Dichas yemas, al brotar, darán paso a nuevos tallos. El tubérculo, en su gran mayoría, tiene una forma variable, entre redonda, ovalada y oblonga, con colores que van del blanco, amarillo, violeta o rojizo, y este se desprenderá una vez llegado al estado de madurez. Presenta los siguientes elementos si realizamos un corte longitudinal: peridermo o piel, corteza, sistema vascular, parénquima de reserva y tejido medular o médula.

### Flores

Las flores se sitúan en la extremidad del tallo destacando sus cinco pétalos unidos por sus bordes, dando a la corola forma de estrella. Pueden ser de distintos colores

como blancas, lilas o moradas, siendo una planta autógama. Dichas flores se agrupan en inflorescencias cimosas.

### Raíces

Las raíces son débiles, finas, fibrosas y muy ramificadas. Se extienden principalmente de forma horizontal penetrando débilmente llegando a los 0,8 m de profundidad. Necesitan un suelo bien mullido para desarrollarse adecuadamente.

### Frutos

Es un fruto generalmente esférico, de color verde, de unos 1–3 cm de diámetro, que se torna amarillo al madurar.

Los ciclos de producción de la patata en España, según Rousselle et al. (1999), se pueden clasificar en cuatro tipos distintos según su fecha de recolección. Según las condiciones específicas y las necesidades de producción de cada región española se van distribuyendo dichos tipos de patata.

Patata extratemprana: recolección entre el 15 de enero y el 15 de abril, destacando Andalucía y Canarias como sus principales zonas de producción.

Patata temprana: recolección entre el 15 de abril y el 15 de junio, destacando Andalucía como principal zona de producción, con casi el 50% de la producción nacional.

Patata de media estación: recolección entre el 15 de junio y el 30 de septiembre, destacando Galicia, Castilla y León y Andalucía como principales zonas de producción.

Patata tardía: recolección entre el 30 de septiembre y el 15 de enero, destacando Castilla y León, País Vasco y La Rioja como principales zonas de producción.

El porcentaje de hectáreas producidas en el año 2021 de patata en España según su época de recolección se observa en la figura 3 (MAPA, 2025a). Casi el 50% de ellas son de media estación, otro 28% son tardías, similar al 21% de patatas tempranas. Por último, un 5% de la producción se corresponde con patata extratemprana.

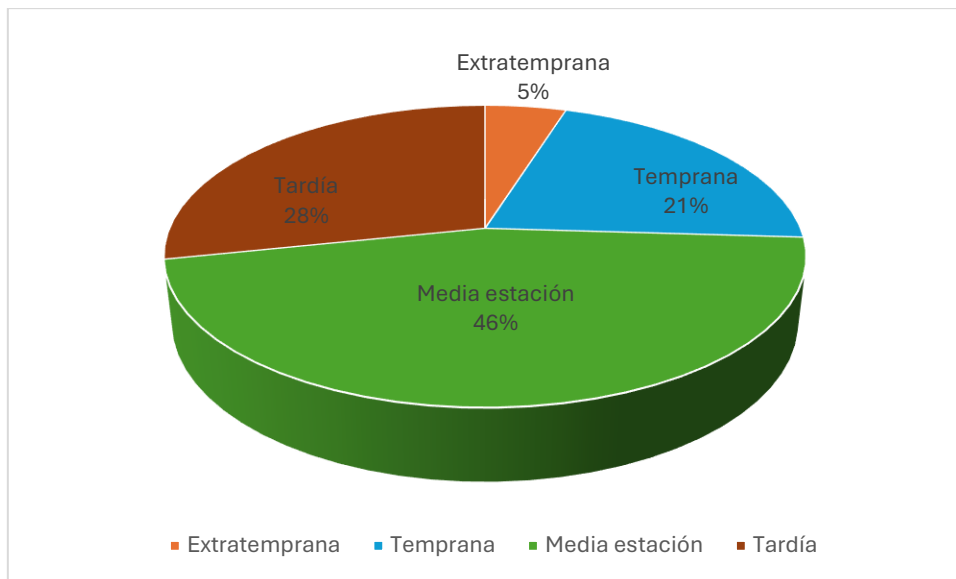


Figura 3. Porcentaje de cultivo de patata en función de la época de recolección en España (2021). Elaboración propia en base a datos del MAPA (2025a).

La variedad de patata cultivada en este estudio es la variedad Lady Rosetta. Tal y como nos indica un estudio realizado por Van Rijn semillas S.L. (2025) pertenece al ciclo de producción de las semi tempranas. Es una variedad para la industria de chips, productiva y que alcanza altos niveles de materia seca (25,5%). Produce tubérculos redondos muy uniformes, de piel roja con carne de color amarillo pálido y ojos moderadamente profundos. Tiene un rendimiento alto con un tipo de cocción C (harinosa). Además, presenta una alta resistencia a sarna verrugosa (*Synchytrium endobioticum*), sarna común (*Streptomyces scabies*) y al virus Yn de la patata (PVY, por su nombre en inglés potato virus Y).

Según documentación publicada por la empresa especializada Meijer Potato (2025) su origen viene de un híbrido entre Cardinal x (VTN)262-33-3. Se puede cosechar directamente del campo en verde. El tubérculo presenta un tamaño medio de 50-60 mm de diámetro. La variedad se adapta bien al suelo, pero se debe controlar la fertilización y la disponibilidad de agua, aunque su requerimiento es moderado. Sí que tiene una baja tolerancia a la salinidad.

Las primeras referencias que se han podido encontrar de esta variedad en Aragón ha sido a través de un ensayo de Borruey (1993) en las localidades de la provincia de Teruel (Cella y Agría) para valorar la calidad de fritura de nueve variedades, entre ellas la Lady Rosetta, concretamente para la empresa PepsiCo, mismo destino final que las patatas de este estudio.

## 1.4. Composición química y destino de la producción

La patata es la parte comestible de los tallos, en la que cada 100 g de producto fresco, 90 g son comestibles. Tiene un alto contenido en hidratos de carbono, la gran mayoría en forma de almidón, y una pequeña proporción como glucosa, sacarosa y fructosa. Ese aporte de almidón explica su alto aporte calórico de 88 kcal por cada 100 g de patatas. Además, contiene fibra (en pequeñas cantidades), vitamina C (esta se puede perder en el proceso de cocción), vitamina B6, minerales como el potasio y carotenoides, como los aportes más importantes a destacar. En la tabla 1 se muestra la información completa de su composición media.

Tabla 1. Composición nutricional media de la patata. Elaboración propia en base a datos de Valero et al. (2018).

<b>Composición nutricional Patata</b>	
	<b>/100 g de porción comestible (s.m.s)</b>
<b>Energía (Kcal)</b>	<b>88,00</b>
<b>Proteínas (g)</b>	<b>2,50</b>
<b>Lípidos totales (g)</b>	<b>0,20</b>
AG saturados (g)	0,04
AG monoinsaturados (g)	0,01
AG poliinsaturados (g)	0,12
<b>Hidratos de carbono (g)</b>	<b>18,00</b>
<b>Fibra (g)</b>	<b>2,00</b>
<b>Agua (g)</b>	<b>77,30</b>
<b>Calcio (mg)</b>	<b>9,00</b>
<b>Hierro (mg)</b>	<b>0,60</b>
<b>Yodo (ug)</b>	<b>3,00</b>
<b>Magnesio (mg)</b>	<b>25,00</b>
<b>Zinc (mg)</b>	<b>0,300</b>
<b>Sodio (mg)</b>	<b>7,0</b>
<b>Potasio (mg)</b>	<b>570,00</b>
<b>Fósforo (mg)</b>	<b>50,00</b>
<b>Selenio (ug)</b>	<b>1,00</b>
<b>Tiamina (mg)</b>	<b>0,10</b>
<b>Riboflavina (mg)</b>	<b>0,04</b>
<b>Vitamina B6 (g)</b>	<b>0,25</b>
<b>Folatos (ug)</b>	<b>12,00</b>
<b>Vitamina B12 (ug)</b>	<b>0,00</b>
<b>Vitamina C (mg)</b>	<b>18,00</b>
<b>Vitamina A: Eq. Retinol (ug)</b>	<b>0,00</b>
<b>Vitamina D (ug)</b>	<b>0,00</b>
<b>Vitamina E (mg)</b>	<b>0,10</b>

Según un estudio comparativo de variedades realizado en Pakistán, la variedad Lady Rosetta destacó por su alto contenido en sólidos y rendimiento en la extracción de almidón, especialmente cuando se dejaba sin pelar. Además, su morfología y

composición química resultaron ideales para la industria, especialmente para productos como chips y almidón refinado (Nawaz et al., 2020).

El destino final de la patata puede variar según la zona en la que estemos. Este estudio se centra en patata destinada a la industria del frito, concretamente a patata chip. En España según datos del MAPA (2025a), en el año 2021 el principal destino de la patata fue la venta fuera de la propia explotación (88,53%), luego la alimentación humana (8,61%), seguido de pienso (2,54%) y, por último, para siembra (0,32%).

## 1.5. Requerimientos del cultivo

Según García-González de Lena (2014) el cultivo de la patata presenta los requerimientos detallados a continuación para su correcto desarrollo.

### 1.5.1. Temperatura

La planta de la patata requiere un clima templado-frío. La temperatura óptima para su desarrollo se encuentra entre los 13 y 18 °C, pero si las temperaturas alcanzan los 20-25 °C el desarrollo vegetativo es mayor, aunque la producción de tubérculos es menor. Su cero vegetativo se encuentra en los 6-8 °C y a los 0 °C se hielan la parte aérea. Los tubérculos se hielan a los -2 °C. Para el desarrollo de los tubérculos la temperatura ideal del suelo debe ser de 15 a 20 °C.

Requiere de una humedad relativa moderada. Para la formación de tubérculos es clave hablar del “fotoperiodo crítico”, que es el periodo diario de horas de luz por encima del cual se inhibe la tuberización. Las plantaciones tempranas van acompañadas por variedades precoces (de ciclo corto) con un fotoperiodo crítico alto (> 16 horas).

### 1.5.2. Suelo

La patata requiere de suelos sueltos, profundos y ricos en materia orgánica. Su pH ideal está comprendido entre 5,5 y 7, es tolerante a la salinidad y requiere mucha agua. Es un cultivo que soporta mal el estrés hídrico, necesita 300 l de agua por cada kilogramo de materia seca, pero sin humedad excesiva en el suelo.

Para la preparación de este suelo se recomienda una labor de subsolado, que ayuda al drenaje y rotura de la compactación del suelo. Posteriormente es necesario un pase de rotovator con acaballado para la posterior plantación.

### 1.5.3. Abonado

Para el correcto abonado del suelo en el cultivo de la patata es necesario principalmente el nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio. Además, la disponibilidad de otros elementos es importante como el azufre, el cinc y el boro.

El factor determinante en el rendimiento del cultivo es el nitrógeno, que favorece el desarrollo foliar y la formación y engrosamiento de los tubérculos. En cambio, el fósforo se encarga del desarrollo de las raíces, induce la formación de un mayor número de tubérculos, mejora la calidad y adelanta la tuberización. La máxima absorción de estos elementos por la planta es en el momento de la floración.

El potasio es un elemento que afecta en gran medida a la calidad del producto final. Favorece el engrosamiento de los tubérculos, mejorando además su conservación posterior, y favorece la formación de almidón. Ayuda a las plantas a resistir mejor frente a heladas, sequía y enfermedades (especialmente mildiu). Su mayor absorción es en tuberización.

Por último, dos elementos muy importantes también en la producción de la patata son el magnesio y el calcio.

Las necesidades de los nutrientes anteriormente mencionados se pueden ver en la tabla 2.

*Tabla 2. Necesidades de fertilización de la patata. Elaboración propia en base a datos de García-González de Lena (2014).*

Nutriente	Kg / 1000 kg cosecha
N	4,4-5,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,75-2,50
K <sub>2</sub> O	7,50-8,75
MgO	3,5-4,0
CaO	0,9-1,0

En cambio, según el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA) (2025c) la dosis de abono a aplicar es algo diferente (ver tabla 3). Teniendo en cuenta que se recomienda aportar en pre siembra todo el potasio y fósforo más un 20% del nitrógeno.

La recomendación para el resto de abonado nitrogenado es tras 20 días desde la emergencia del cultivo.

Tabla 3. Necesidades de fertilización de la patata (MAPA, 2025c).

Nutriente	Kg / 1000 kg cosecha
N	3,5-5,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,5-2,0
K <sub>2</sub> O	6,0-10,0

La aplicación de abonos orgánicos al cultivo de la patata es siempre bienvenida por la planta debido a su aporte a la materia orgánica del suelo, pero se debe tener cuidado con el momento de aplicación. Los estiércoles frescos deben aportarse en otoño para evitar problemas de sarna (*Streptomyces* spp.).

Si se cuenta con la opción de aplicar abono mineral mediante el sistema de riego (fertiirrigación), suele ser recomendable incorporar en el abonado de fondo el 30% del nitrógeno, el 70% del fósforo y el 50% del potasio. El resto se incorpora en cobertera, aunque estos porcentajes son muy variables según las condiciones técnicas de cada zona.

#### 1.5.4. Plantación

El marco de plantación relaciona la distancia entre los surcos y la separación entre tubérculos, y se busca una densidad de plantación ideal para el máximo rendimiento de 50.000 plantas/ha. La profundidad de plantación suele estar entre los 6-8 cm (García-González de Lena, 2014).

Para la variedad Lady Rosetta, según documentación de Meijer Potato (2025) para patatas de siembra con calibre 25/35 mm la distancia óptima entre plantas es de 75 cm y 19 cm entre líneas con un total de 70.200 plantas/ha.

El marco de plantación dependerá normalmente también de la máquina disponible. La plantadora de patatas abre surcos depositando los tubérculos llegados del dosificador. La misma máquina lleva integrada tanto la apertura como el tapado del surco y se diseñan para que la altura de caída del tubérculo sea mínima, utilizándose

cangilones en el tubo de caída. El número de líneas puede variar entre 2 a 6, el espaciamiento entre líneas 60 y 90 cm y la capacidad de la tolva de 175 a 375 kg/m (MAPA, 2025b).

### 1.5.5. Riego

La patata es un cultivo que requiere existencia de agua disponible en el suelo constantemente, ya que la falta de ella hace que su crecimiento se vea mermado notablemente, así como retraso en la nascencia y el inicio de la tuberización. El exceso de agua tampoco es bueno para el cultivo, siendo una humedad constante y temperaturas no superiores a 35 °C las mejores condiciones para el desarrollo de los tubérculos (Borruey y Cotrina, 1998).

El riego en el cultivo de la patata depende de varios factores como pueden ser la climatología de la zona, el tipo de suelo, o la tecnificación del propio sistema de riego, entre otros. En la tabla 4 se muestra el ejemplo de un plan de riegos para un cultivo de patata tardía en Aragón.

*Tabla 4. Plan de riego para patata tardía en Aragón. Fuente: Borruey y Cotrina (1998).*

Periodo vegetativo	Suelos con buena capacidad de retención de agua	Suelos con poca capacidad de retención de agua
Plantación (si falta humedad)	1 riego antes de plantar	1 riego antes de plantar
Desarrollo vegetativo	2-3 riegos (cada 12 días)	3-4 riegos (cada 8-10 días)
Tuberización	8 riegos (cada 7 días)	11 riegos (cada 4-5 días)
Madurez	1 riego	1 riego
Total	12-13 riegos	16-17 riegos

### 1.5.6. Malas hierbas

La escarda, que es la operación destinada a eliminar o reducir la presencia de malas hierbas en el cultivo, es clave para una buena nascencia de la patata. La presencia de estas malas hierbas se puede prevenir con una adecuada rotación de cultivos, y una vez están presentes en el cultivo, mediante escarda mecánica o química.

La escarda mecánica se basa en la eliminación de estas malas hierbas bien por parte de una cultivador o escarificador, o de forma manual con una azada.

En cuanto a la escarda química es el método más utilizado siendo el más efectivo y económico por el ahorro de mano de obra. Pero se deben conocer bien las malas hierbas a eliminar, siendo importante distinguir entre hierbas de hoja estrecha, hoja ancha o ambas. Además de conocer el momento de aplicación, presembrado, preemergencia y postemergencia del cultivo (ver tabla 5).

Tabla 5. Principales materias activas para malas hierbas en patata. Elaboración propia en base a (García-González de Lena, 2014).

Época de aplicación	Mala hierba	Materia activa
Presiembra	Hoja ancha y estrecha	Glifosato
	Hoja estrecha	Napropamida
Preemergencia	Hoja ancha y estrecha	Metribuzina
		Pendimentalina
		Prosulfocarb
	Hoja ancha	Linuron
		Fluorocloridrona
	Hoja estrecha	Napropamida
S-metolacoloro		
Postemergencia	Hoja ancha	Bentazona
		Diquat
	Hoja estrecha	S-metolacoloro
		Cicloxdim
		Fluazifop-p-butil

### 1.5.7. Plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades más importantes en el cultivo de la patata se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. Principales plagas y enfermedades del cultivo de la patata. Elaboración propia en base a los datos de García-González de Lena (2014).

Tipo	Acción	Daño en calidad o producción	Formas de control
Plagas			
Escarabajo de la patata ( <i>Leptinotarsa decemlineata</i> )	Dstrucción de hojas, brotes y tallos tiernos	Daño en la cantidad de cosecha	Insecticidas ante aparición de primeras larvas
Polilla de la patata ( <i>Phthorimaea operculella</i> )	Las larvas provocan un conjunto de galerías en el interior del tubérculo	Daño en la calidad	Tratar final de vegetación en caso de captura u observación de adultos
Gusano de alambre ( <i>Agriotes spp.</i> )	Penetran en tallos y tubérculos provocando pequeñas oquedades y excavando galerías	Daño en producción y calidad	Aplicación de insecticidas en la siembra
Gusanos grises ( <i>Agrotis spp.</i> )	Atacan base tallo plantas jóvenes, cortándolo. También deja oquedades en el tubérculo	Daño en producción y calidad	Tratar con insecticida dirigido a la base del tallo
Pulgones	Debilitan la planta al chupar la savia y transmiten de enfermedades producidas por virus	Daño en producción	Control químico lo antes posible ante aparición de la plaga
Nematodos ( <i>Meloydogine ssp.</i> , <i>Globodera rostochiensis</i> y <i>G. pallida</i> )	Se alimentan a expensas del sistema radicular, debilitamiento de la planta	Daño en producción y calidad	Aplicación de nematicidas en pre-siembra o desinfección del suelo

Tipo	Acción	Daño en calidad o producción	Formas de control
Enfermedades			
Mildiu o tizón tardío ( <i>Phytophthora infestans</i> )	Inicio con manchas de color verde claro o amarillento en los bordes de hojas más próximas al suelo. En el envés se desarrolla en las manchas un moho blanco. En los tallos aparecen manchas pardas. Afección de los tubérculos como una podredumbre seca superficial  El avance de la enfermedad es muy rápido	Daño en producción y calidad	Aplicación de fungicidas
Alternaria ( <i>Alternaria solani</i> )	Aparición de manchas circulares de color marrón oscuro en las hojas. Enfermedad frecuente durante el periodo final del cultivo	Daño producción	Tratamiento con fungicidas a la aparición de síntomas en cultivos jóvenes
Rizoctonia ( <i>Rhizoctonia solani</i> )	Daños más graves en primavera, el hongo ataca los brotes subterráneos retrasando la emergencia	Daño producción y calidad	Pulverizar con fungicidas la línea de siembra o tratar la semilla
Sarna común ( <i>Streptomyces scabies</i> )	Manchas marrones con apariencia corchosa, a veces, pequeñas zonas rugosas superficie tubérculo	Daño calidad	Controlar el pH, textura y humedad del suelo y susceptibilidad según variedad
Virus Y de la patata (PVY)	Empieza con una clorosis, luego una necrosis y por último la muerte prematura de plantas	Daño producción	Métodos preventivos siempre. Lucha contra insectos transmisores de virus, pulgón por ejemplo
Fisiopatías			
Heladas	A temperaturas próximas a 0 °C pueden aparecer clorosis o deformaciones que afectan sobre todo a las hojas jóvenes	Daño en producción	Pulverización de bioestimulantes si no es muy intensa la helada

El control químico siempre es la última opción para el control de plagas y enfermedades. Por ejemplo, en el caso de enfermedades la aplicación de fungicidas no siempre es efectiva, siendo interesante incidir en medidas de prevención con prácticas culturales, y de esta forma mantener un buen estado sanitario del cultivo.

Algunas medidas de prevención son las siguientes:

- Rotaciones de cultivos amplias
- Incluir en la rotación cultivos con exigencia de laboreo frecuente
- La aplicación de abono orgánico al suelo (debe estar bien descompuesto) al menos 45 días antes de la plantación
- Plantar tubérculos enteros
- Emplear semilla certificada libre de patógenos
- Mantener la humedad del suelo más o menos estable durante la tuberización

## 1.6. AP y digitalización

Según Cisternas et al. (2020) la investigación en agricultura de precisión (AP) está en constante crecimiento debido a la necesidad de los agricultores de optimizar los recursos y mejorar la eficiencia en sus explotaciones. Destaca el incremento de publicaciones en los últimos años sobre implementación de sensores remotos, utilización de sistemas de geoposicionamiento, obtención de mapas de rendimiento, uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y desarrollo de software específico de estas tecnologías. Los cultivos con mayor investigación sobre la AP son el maíz, caña de azúcar, trigo, algodón, uva y soja.

La AP se puede definir según la *International Society of Precision Agriculture (ISPA)* (2025) como una estrategia de gestión que recopila, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales de plantas y animales y los combina con otra información para respaldar las decisiones de gestión de acuerdo con la variabilidad estimada para mejorar la eficiencia del uso de los recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola.

A través del uso de tecnologías como sensores, drones, sistemas de posicionamiento global (GPS) y software especializado, los agricultores pueden tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia productiva y reducir pérdidas. Esto hace más eficiente el uso del agua y de los fertilizantes, incrementando en algunos casos el rendimiento de los cultivos, reduciendo el impacto ambiental y facilitando la toma de decisiones. Sin embargo, la adopción de esta tecnología también conlleva una

serie de desafíos como son los altos costes iniciales de implementación de estas técnicas, la falta de formación técnica y la falta de infraestructura (Guamán, 2023).

Además, la AP está estrechamente ligada a la digitalización del sector agrario, con tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA) o el análisis de datos masivos (Big Data), grandes impulsores para la automatización de decisiones y optimización de recursos. También se plantea como una herramienta eficaz frente al cambio climático y la garantía de una seguridad alimentaria global (Guamán, 2023).

## 1.7. Uso de la teledetección

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra (IGN, 2025). La teledetección se considera una herramienta eficaz para recopilar diferente tipología de datos sobre los cultivos y tomar decisiones en base a ellos.

Para poder medir la variabilidad de una parcela agrícola se pueden utilizar herramientas tecnológicas como son los sensores de clima, planta y suelo, y las imágenes multiespectrales obtenidas a partir de satélites, aviones o UAS/RPAS (vehículos aéreos no tripulados). Una vez obtenidos todos estos datos se pueden procesar con sistemas de información geográfica y establecer estrategias de manejo diferenciado en base a la variabilidad detectada (Díaz, 2015).

Para la obtención de las imágenes multiespectrales hay distintas plataformas de teledetección disponibles y las utilizadas ampliamente en el manejo de precisión de la patata son las basadas en satélites y vehículos aéreos no tripulados. El mercado consta de distintas plataformas dependiendo de la resolución espacial de las imágenes, del coste, y del número de bandas espectrales, como se resume en la tabla 7.

Tabla 7. Plataformas de teledetección por satélite. Elaboración propia en base a datos de Sun et al. (2022).

Satélite	Resolución espacial (m/pixel)	Resolución temporal (días)	Rango espectral (nm)	Número bandas
Sentinel-2	10-60	5	400-2190	13
Planet scope	3	1	455-860	4
Sentinel-3	300	27	400-1020	21
Formosat-2	8	1	450-900	4
Landsat-8	30	16	433-1390	9
Proba-1	18	2	400-1050	19

Los sensores multispectrales suelen estar diseñados para estudiar parámetro relativos a la vegetación. Esta vegetación se puede analizar mediante los índices de vegetación, que son herramientas cuantitativas utilizadas en teledetección para evaluar la biomasa y el vigor de la vegetación a partir de la radiación electromagnética reflejada por las plantas. Estos índices combinan valores espectrales de distintas bandas (normalmente en el espectro rojo e infrarrojo cercano) para producir un valor único que permite detectar diferencias en el estado fisiológico de la vegetación (Díaz, 2015).

Los índices agrícolas más utilizados en estudios basados en teledetección son entre otros: índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), índice de vegetación del cociente RVI (*Ratio Vegetation Index*), índice de vegetación de cociente normalizado NRVI (*Normalized Ratio Vegetation Index*), índice de vegetación ajustado al suelo SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*).

## NDVI

El NDVI es uno de los índices más utilizados. Su cálculo se basa en la diferencia de reflectancia entre el infrarrojo cercano (NIR) y la banda roja (RED) del espectro visible, usando la siguiente ecuación 1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Ecuación 1. Cálculo índice NDVI (Rouse et al., 1974).

El principio detrás del NDVI radica en que la vegetación sana absorbe la luz roja (por la clorofila) y refleja fuertemente en el infrarrojo cercano (debido a la estructura celular de las hojas). Cuando las plantas experimentan estrés hídrico, enfermedades o plagas, la reflectancia en el NIR disminuye, y la absorción en el rojo se reduce, alterando el valor del índice (Díaz, 2015).

Los valores de NDVI se encuentran en un rango de -1 a 1, donde los valores negativos o cercanos a 0 indican superficies sin vegetación, agua o suelo desnudo y los valores positivos (> 0.1) indican presencia de vegetación, aumentando a medida que la cobertura vegetal es más densa y saludable.

### RVI

Se podría considerar como uno de los primeros índices utilizados. Este índice se calcula con la siguiente ecuación 2:

$$RVI = \frac{RED}{NIR}$$

*Ecuación 2. Cálculo índice RVI (Pearson y Miller, 1972).*

El RVI es un índice que muestra la cantidad de vegetación en una zona, pero reduciendo los efectos de la topografía y la atmósfera. Por tanto, presentará valores altos para la vegetación y bajos para otra cobertura tipo suelo desnudo, hielo o agua.

### NRVI

Para el cálculo del índice NRVI se debe aplicar la siguiente ecuación 3:

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$$

*Ecuación 3. Cálculo índice NRVI (Lemenkova, 2020).*

Este índice permite distinguir mejor la vegetación del suelo.

### SAVI

El cálculo del índice SAVI se basa en la siguiente ecuación 4:

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} * (1 + S)$$

Ecuación 4. Cálculo índice SAVI (Huete, 1988).

Este índice permite minimizar el efecto del fondo del suelo sobre la vegetación ajustando con un factor de suelo constante (S). Este factor varía según el color del suelo, el brillo del suelo y la reflectancia.

Para el cálculo de estos índices se utilizan diferentes herramientas de sistemas de información geográfica, por ejemplo, el de código abierto denominado QGIS, ampliamente utilizado para la gestión y análisis de datos geoespaciales.

## 1.8. Uso de herramientas digitales

Para la mejor gestión de la explotación agrícola existen los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (*Decision Support Systems*, DSS por sus siglas en inglés) que son herramientas que se utilizan para tomar decisiones en las operaciones, planificación o la gestión de explotaciones. Estas herramientas son sistemas basados en software que recopilan y analizan muchos datos de diversas fuentes (Ahmad y Sharma, 2023). Hoy en día en el mercado hay muchas y muy diversas para múltiples funciones. De forma general, se pueden clasificar en función de la finalidad de la siguiente manera:

### Cuaderno Digital de Explotación Agrícola (CUE)

Tal y como comenta el MAPA (2023a) la nueva PAC 2023-2027 establece la obligatoriedad de digitalizar las explotaciones. Se pretende una entrada en vigor progresiva del Cuaderno Digital de Explotación Agrícola (CUE).

Este CUE permite cambiar el cuaderno de explotación tradicional en papel a uno digital siendo este obligatorio para aquellas explotaciones con una superficie total superior a 30 hectáreas, más de 5 hectáreas en regadío y las que dispongan de cultivos bajo invernadero. En el se incluye la anotación de las aplicaciones de fitosanitarios y fertilizantes en todas las parcelas agrícolas. El cuaderno permite acceder a la lista de productos fitosanitarios autorizados, conocer si se está haciendo un correcto uso optimizado de insumos agrícolas acorde al tipo de suelo, zona y cultivo y sistematizar la información sobre fertilización.

Para cumplir con ello se puede utilizar la propia herramienta que se facilitará por parte del Gobierno de España u otras herramientas como X-Farm, RawData o Sativum.

Herramientas para el seguimiento de los cultivos y creación de mapas de prescripción variable de insumos

Para el seguimiento del desarrollo del cultivo los datos geolocalizados procedentes de diferentes fuentes de información (índices de vegetación, mapas de suelo, mapas de rendimiento de cultivos, etc.) se pueden almacenar y procesar a través de herramientas informáticas y SIG. Por un lado, sistemas informáticos potentes como QGIS permiten el análisis y procesado de datos, así como la clasificación de zonas y creación de mapas prescriptivos acordes a ellas. En la actualidad, cada vez son más las plataformas de apoyo a la toma de decisiones que permiten visualizar información de imágenes de satélite e incorporar datos para crear mapas prescriptivos de forma sencilla. Un ejemplo sería la plataforma SATIVUM desarrollada por el Instituto Tecnológico de Castilla y León (ITACyL). En ambas modalidades, tanto si se utilizan programas informáticos complejos, como si se utilizan aplicaciones, existe la posibilidad de clasificar zonas de manejo diferenciado de forma supervisada (bajo el criterio del usuario), como no supervisada (con algoritmos propios del programa o aplicación informática).

#### Planificación y análisis técnico-económico

Para una mejor planificación de las tareas llevadas a cabo en una explotación, una herramienta como RawData cuenta con la posibilidad de añadir datos de costes de los insumos, labores, materiales entre otras cosas. Junto con la maquinaria utilizada para la tarea concreta, el personal y en qué parcelas permite poder tener un control exhaustivo. A posteriori se pueden obtener balances económicos de rentabilidad, separando por costes fijos y variables, gastos por categorías, gastos de estructura.

## 1.9. Implementación de AP y digitalización en el cultivo de la patata

En los últimos años, el cultivo de la patata ha sido objeto de numerosos estudios relacionados con la aplicación de técnicas de agricultura de precisión (AP) y digitalización, debido a su particular fisiología y la dificultad de observar directamente su órgano cosechable: el tubérculo. Según Sun et al. (2022), estas tecnologías permiten caracterizar mejor el desarrollo del cultivo y facilitar tareas como el fenotipado en campo, la predicción de rendimiento, la detección de enfermedades y la dosificación precisa de insumos. Cambouris et al. (2014) indica el uso de estas tecnologías concretas en el cultivo de la patata como los sistemas de posicionamiento global (GPS), los sistemas

de información geográfica (SIG), imágenes satelitales hiperespectrales, mediciones de conductividad eléctrica aparente del suelo, monitores de rendimiento entre otras.

El desarrollo de la parte aérea de la planta (hojas, tallos y flores) está directamente relacionado con la parte subterránea, donde se forman los tubérculos. Por ello, el monitoreo no destructivo del cultivo mediante sensores remotos y plataformas digitales ofrece una ventaja significativa para mejorar el manejo agronómico y anticipar decisiones clave durante la campaña.

Además, según Sun et al. (2022) para la caracterización de rasgos en el cultivo de la patata se utilizan diversos sensores según el propósito buscado con resoluciones espaciales y temporales variables. Estos sensores pueden incluir las cámaras visibles (RGB), cámaras infrarrojas térmicas (TIR), sensores de detección, medición de distancias por luz (LiDAR) y cámaras hiperespectrales y multiespectrales.

#### Predicción del rendimiento

La importancia de detectar de forma temprana problemas asociados al rendimiento, así como mapear el rendimiento antes y después de cosecha para poder reducir las pérdidas y tomar mejores decisiones es clave para obtener una buena cosecha. Hay numerosos estudios para la predicción de cosecha, desde el uso de datos de teledetección en modelos de aprendizaje automático (Salvador et al., 2020), el uso de imágenes satelitales y técnicas de machine learning (Gómez et al., 2019), técnicas de teledetección y SIG (Al-Gaadi et al., 2016) entre otros.

#### Estimación de biomasa aérea y estado nutricional

El seguimiento de la biomasa aérea del cultivo de la patata es clave para indicar el estado de crecimiento del cultivo, relacionado con el índice de nutrición nitrogenada, y diagnosticar cómo está funcionando el nitrógeno en el cultivo. Para medir esta biomasa hay diversas formas como son el uso de espectrorradiómetros, teledetección, RGB y cámaras térmicas. En el caso de la estimación de biomasa aérea, se utilizan también modelos de aprendizaje automático para el procesamiento de todos los datos obtenidos.

#### Evaluación del estrés hídrico

De forma aproximada, el 70% del agua que necesita la planta para crecer está en los primeros 30 cm del suelo. Normalmente el crecimiento de este cultivo se da en suelos con baja capacidad de retención de agua o en zonas áridas o semiáridas. Por tanto, es importante cuantificar el déficit hídrico de la planta.

Para realizar este tipo de estimaciones por métodos clásicos es necesario ir directamente a campo, tomar muestras, y medir sobre ellas. Todo ello conlleva mucho

tiempo y coste económico en función del método elegido. En la actualidad se han utilizado índices como el *Crop Water Stress Index* (CWSI). Este índice es una herramienta útil para estimar el estado hídrico de las plantas sin necesidad de hacer muestreos destructivos. Se basa en la diferencia entre la temperatura del dosel vegetal y la temperatura del aire, considerando también el déficit fijo de presión de vapor de aire del ambiente. Para su cálculo se utilizan sensores térmicos o cámaras infrarrojas montadas en drones, estaciones fijas o satélites. El valor del índice se relaciona directamente con la conductancia estomática, el rendimiento y la eficiencia del uso del agua del cultivo. Tal y como comenta Ghazouani et al. (2017) en su estudio el índice CWSI demostró estar estrechamente relacionado con el potencial mátrico del suelo, por tanto, se puede considerar como una herramienta eficaz a la hora de programar el riego.

#### Dosificación variable de insumos

En el desarrollo del cultivo de la patata es clave el aporte de nitrógeno al suelo y su disponibilidad para la planta. Aunque la fertilización excesiva de este elemento puede hacer crecer la biomasa aérea demasiado y reducir el crecimiento radicular.

Para poder evaluar el momento óptimo de aplicación del nitrógeno para la patata se utiliza el índice de nutrición nitrogenada, definido como la relación entre la concentración real de nitrógeno y la concentración mínima de nitrógeno del cultivo que permite la máxima producción de biomasa. El cálculo de este índice en laboratorio no es muy rápido y dada la movilidad del nitrógeno en el momento del resultado el cultivo podría representar otro estado. Por ello, se utiliza la reflectancia espectral de las hojas del cultivo siendo la luz reflejada en ciertas bandas de onda sensible a la concentración de nitrógeno en las hojas. Para determinar este otro indicador se utilizan imágenes visibles RGB, imágenes multispectrales, LiDAR entre otras herramientas. También Giletto et al. (2010) estudiaron la relación del rendimiento de diversas variedades de patatas para industria con el índice verde de la hoja y su respuesta a distintas dosis de nitrógeno.

En resumen, para el cultivo de la patata hay muchas técnicas de AP que ese pueden utilizar para estimar los distintos factores que se consideran clave para el desarrollo óptimo del cultivo. Pero también como comenta Kumar et al. (2020) el uso de estas técnicas se ve mermado por los desafíos de la falta de conocimiento técnico, la mala conectividad o la falta de imágenes de alta resolución espacial en algunas zonas.

La dosificación variable es un método de agricultura de precisión que se basa en utilizar el mapeo y el análisis espacial para ajustar los insumos agrícolas en función de la variación de las condiciones de un suelo en una parcela.

En el caso del cultivo de la patata esta técnica permite fertilizar cada área específica según sea necesario sin tener que sobre fertilizar en unas zonas y tener otras zonas con fertilización insuficiente.

Esta técnica también permite ahorrar costes a los agricultores, ya que reduce el uso de fertilizantes aplicando solo la cantidad necesaria en cada zona. Reduce también el impacto ambiental por escorrentía y lixiviación de fertilizantes.

Pero esta técnica presenta una serie de desafíos importantes como son el alto coste de la maquinaria, la escasez de mapas precisos gratuitos y el uso de software de AP (Ahmad y Sharma, 2023).

Según Kumar et al. (2020) para la aplicación de la tecnología de dosificación variable existen dos tipos distintos: una basada en mapas y otra basada en sensores en tiempo real. La primera se basa en la utilización de mapas georreferenciados representando rendimiento de los cultivos, propiedades del suelo, infestación de plagas y la planificación de aplicación de dosis variable. Los mapas tienen información sobre cada cuadrícula específica del suelo en cada píxel. Estos mapas se integran con el aplicador. Y luego están los basados en sensores en tiempo real la aplicación de los insumos se hace en tiempo real.

## 1.10. Justificación del trabajo

Este trabajo se ha desarrollado en colaboración con la empresa Almacenes Bonel, S.L., que opera en todo Aragón.

El ensayo se enmarca como una alternativa de rotación frente a las producciones predominantes de cereal en la zona, que representan el 68% de la superficie cultivada, mientras que el cultivo de patata apenas alcanza las 0,91 ha (IAEST, 2025). A pesar de su escasa presencia, la patata es uno de los cultivos alimentarios más importantes a nivel mundial y su manejo eficiente resulta clave para responder a las exigencias del mercado y la industria de transformación.

La naturaleza subterránea del tubérculo y su sensibilidad a factores como el manejo del nitrógeno, el estrés hídrico o las enfermedades, hacen especialmente adecuada la aplicación de tecnologías de precisión. El uso de sensores, imágenes multispectrales y plataformas digitales permite monitorizar el estado del cultivo de forma no destructiva, anticipar decisiones de manejo, y mejorar la eficiencia del uso de insumos. Estas técnicas permiten optimizar la productividad, reducir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad y rentabilidad del cultivo.

Con este trabajo se busca no solo mejorar la eficiencia del cultivo en un entorno real, sino también generar conocimiento aplicable a otras explotaciones de la región, contribuyendo a la modernización y digitalización del sector agrícola aragonés.

## 2. Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo principal implementar técnicas de agricultura de precisión y digitalización en un cultivo de patata. Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

- Evaluar el efecto de la aplicación variable de nitrógeno sobre el rendimiento, desarrollo y características postcosecha de un cultivo de patata en condiciones de regadío.
- Seleccionar y evaluar distintas plataformas de ayuda a la digitalización de información del cultivo.
- Valorar técnica y económicamente la selección del cultivo de patata como alternativa de rotación, así como el resultado de la implementación de las técnicas anteriores.

### Objetivos de desarrollo sostenible

Todo ello va en concordancia con la suma de la ONU hacia 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible para el 2030 (Naciones Unidas, 2025). Este trabajo desarrolla uno de ellos de forma muy clara como es:

#### Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

Mediante el uso de técnicas de agricultura de precisión y digitalización del cultivo de la patata se pretenderá poder producir de una forma más sostenible utilizando los recursos disponibles de la forma más eficiente.

### 3. Material y métodos

#### 3.1. Emplazamiento del ensayo

El presente ensayo se llevó a cabo en dos parcelas agrícolas situadas en el término municipal de Almudévar, provincia de Huesca (Aragón), perteneciente a la comarca de la Hoya de Huesca. Ambas parcelas se encuentran en ubicaciones contiguas, separadas únicamente por un camino rural, y suman una superficie cultivable total de 18,01 ha (ver tabla 8). Las coordenadas geográficas centrales del ensayo son 42° 00' 08,8" N 0° 39' 10,9" W. En la figura 4 se puede observar la ortofoto con la ubicación exacta de las parcelas.

Tabla 8. Información catastral de las parcelas.

Id Parcela	Provincia	Municipio	Zona	Polígono	Parcela	Recinto	Superficie
1	22	27	1	506	5616	1	6,48
2	22	27	1	505	73	1	11,53

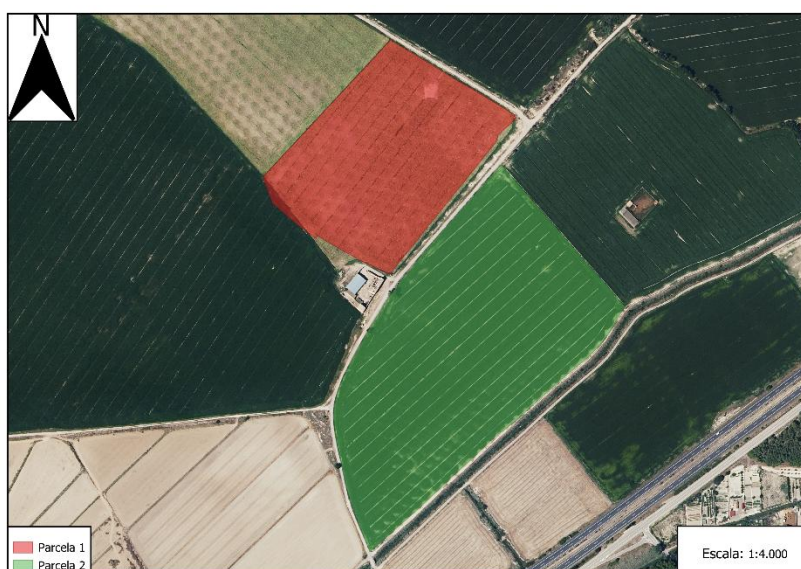


Figura 4. Parcelas de estudio en la zona de Almudévar (Huesca).

Las parcelas están en régimen de regadío, dotadas con un sistema de aspersión permanente gestionado por la Comunidad de Regantes de Almudévar, dentro de la zona regable de La Violada. El agua utilizada para el riego procede de los embalses de El Grado y de Mediano, y del embalse de La Sotonera.

## 3.2. Climatología y suelo

### Climatología

El municipio de Almodévar se ubica a 18 km al suroeste de Huesca, en la zona denominada La Violada. Según Jiménez Aguirre (2013), el clima predominante en la zona es de tipo templado húmedo con verano seco y caluroso, característico de regiones mediterráneas continentales. Durante el periodo comprendido entre los años 1986 y 2008, la precipitación media anual fue de 438 mm, con una distribución irregular. Los meses más lluviosos suelen concentrarse en las estaciones intermedias, siendo abril, mayo, octubre y noviembre los de mayores precipitaciones en primavera y otoño. La temperatura media anual fue de 13,8 °C, sin que se alcanzaran temperaturas medias mínimas inferiores a 0 °C, mientras que las máximas superaron puntualmente los 30 °C durante los meses más cálidos.

Para complementar esta información, se analizó también la estación meteorológica perteneciente a la Red SiAR (ver tabla 9), situada en Gurrea de Gállego (41° 59' 34,08" N – 0° 43' 52,319" O), a escasos kilómetros del área de estudio. Los datos registrados entre 2004 y 2024 confirman una pauta similar, con un régimen de precipitaciones más intenso durante los meses de marzo a mayo en primavera y de septiembre a noviembre en otoño, destacando abril y octubre con registros superiores a los 45 mm (SiAR, 2025).

Tabla 9. Precipitación, temperatura media, temperatura máxima y mínima media mensual en la estación de la Red SiAR en Gurrea de Gállego para el periodo 2004-2024. Elaboración propia en base a SiAR (2025).

Meses	Precipitación (mm)	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Enero	28,14	5,04	16,75	-5,72
Febrero	24,81	6,41	18,55	-4,39
Marzo	40,90	9,48	23,54	-2,42
Abril	50,68	12,58	26,91	0,39
Mayo	42,47	16,79	31,87	3,43
Junio	33,98	21,84	37,03	8,74
Julio	21,63	24,62	38,75	11,92
Agosto	21,88	24,02	38,19	11,43
Septiembre	37,04	19,90	33,45	6,93
Octubre	49,25	15,32	28,62	2,51
Noviembre	39,90	9,25	20,90	-2,33
Diciembre	23,67	5,39	16,69	-4,80

Tal y como se observa en el diagrama ombrotérmico de la figura 5, durante los meses de verano las temperaturas se elevan significativamente, mientras que las

precipitaciones descienden, especialmente en julio y agosto, lo que puede generar situaciones de déficit hídrico si no se gestiona adecuadamente el riego.

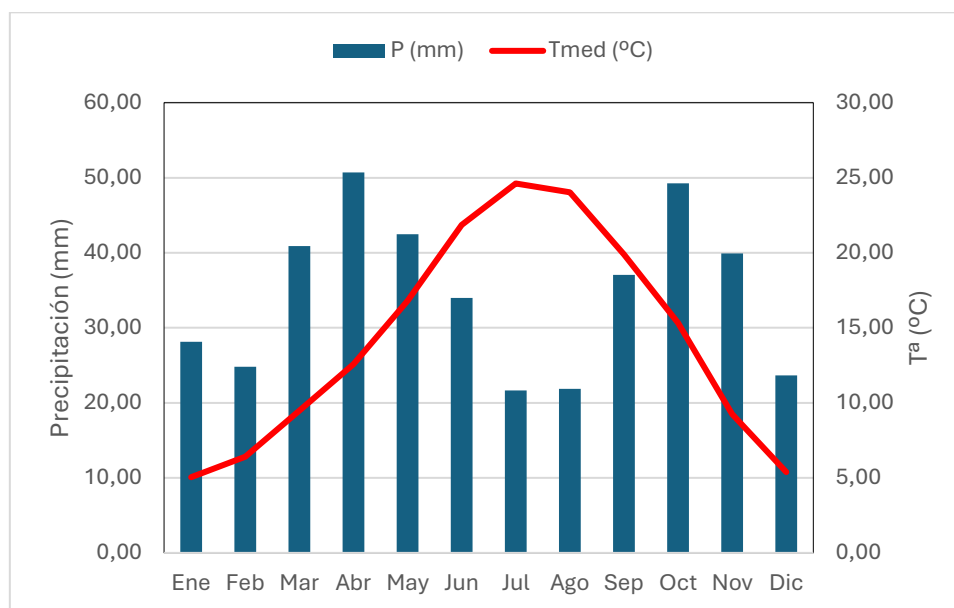


Figura 5. Diagrama ombrotérmico para los años 2004 - 2024 en la estación de la Red SiAR en Gurreea de Gállego.

Para garantizar un seguimiento preciso del desarrollo del cultivo y disponer de datos agroclimáticos localizados, se instaló una estación meteorológica xSense Pro (Davis Inc., EEUU) en el punto de coordenadas 42° 00' 14,9" N 0° 39' 11,4" W tal y como se indica en la figura 6.



Figura 6. Ubicación de la estación meteorológica.

La estación es distribuida por la plataforma digital X-Farm. Este modelo permite registrar en tiempo real parámetros fundamentales como la humedad relativa, temperatura del aire, precipitación, velocidad y dirección del viento, y humedad foliar.

Entre sus componentes se incluyen:

Anemómetro: mide con precisión la velocidad y dirección del viento, variables clave para interpretar la evaporación y la dispersión de enfermedades.

Pluviómetro de cucharilla basculante con AeroCone™: registra la cantidad de precipitación mediante un mecanismo de balancín que genera pulsos con cada vaciado automático del agua acumulada.

Sensor de temperatura y humedad con carcasa de protección radiológica: mide la temperatura con una precisión de  $\pm 0,3$  °C y la humedad relativa con  $\pm 2$  % de error.

Transmisor inalámbrico de temperatura, humedad y humectación de hoja: diseñado para entornos agrícolas, permite monitorizar con precisión las condiciones de humedad en el suelo y sobre el follaje, variables fundamentales para la prevención de enfermedades fúngicas. Los datos registrados pueden visualizarse en tiempo real a través de una consola Vantage Pro2™ inalámbrica, y también pueden ser almacenados o descargados a un ordenador añadiendo un datalogger WeatherLink® a la consola o un sistema Weather Envoy™ inalámbrico, lo que permite su integración con plataformas de análisis y toma de decisiones.

La figura 7 muestra la estación meteorológica instalada.



Figura 7. Estación meteorológica xSense Pro.

Los datos de la campaña de cultivo fueron descargados y procesados a través de la plataforma X-Farm, generándose así la figura 8, que muestra la evolución mensual de la precipitación acumulada y temperatura media (para la precipitación acumulada se cogieron los datos de la estación en la Red SiAR de Gurrea de Gállego debido a la retención del agua de riego por parte de la estación meteorológica propia).

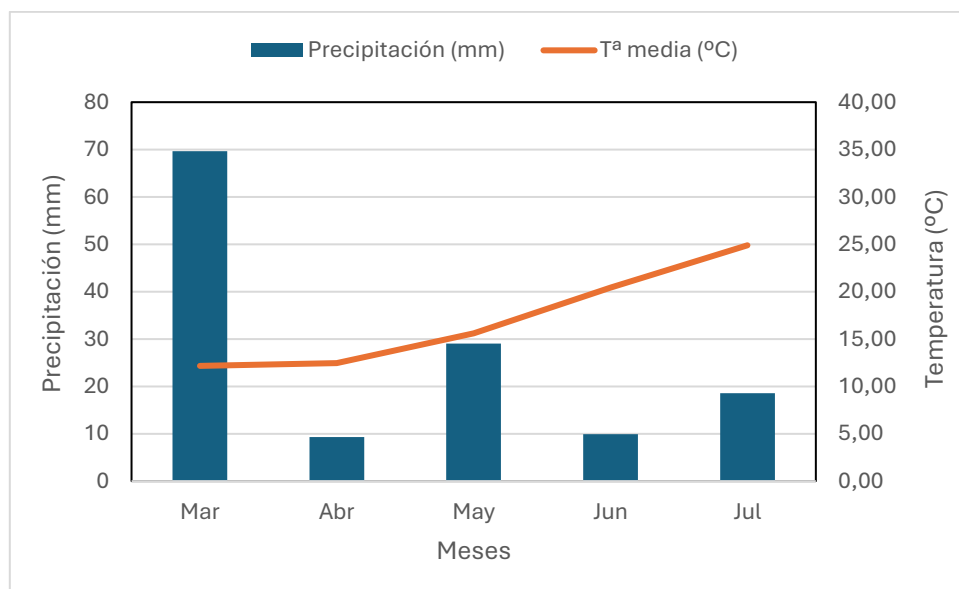


Figura 8. Precipitación (mm) y temperatura media (°C) durante el desarrollo del cultivo. Elaboración propia en base a para la precipitación la Red SiAR en Gurrea de Gállego (SiAR, 2025) y para la temperatura estación propia.

La precipitación acumulada durante los meses de marzo a julio de la campaña del 2024 fue de 136,45 mm y una temperatura media de 17,11 °C. Cabe destacar un mes de marzo algo más caluroso de lo habitual (12,17 °C). Los demás meses obtuvieron unas temperaturas parecidas a las estudiadas en la zona. La precipitación durante el mes de marzo fue más elevada de lo habitual (69,63 mm), pero luego durante los siguientes meses las precipitaciones fueron siempre por debajo de lo común teniendo que realizar un aporte de riego.

## Suelo

Según Jiménez Aguirre (2013), los suelos de las parcelas de estudio se encuentran dentro de la Depresión Terciaria del Ebro. La Zona Regable de la Violada está constituida por una combinación de glacis, vales y conos de deyección, siendo en estos últimos donde se ubican las parcelas de estudio. Estos suelos están compuestos principalmente por limos, arcillas, arenas y gravas de origen calizo, lo que influye tanto en su capacidad de retención hídrica como en su fertilidad (ver figura 9).

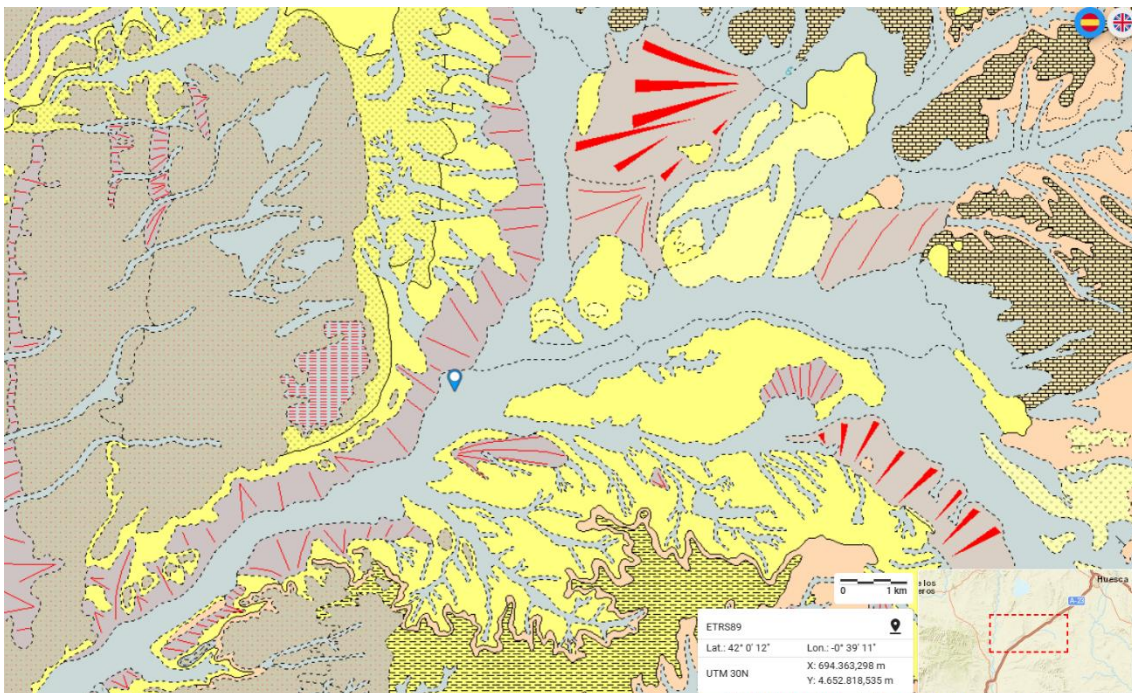


Figura 9. Mapa geológico zona de estudio. Fuente: IGN (2025).

### 3.3. Caracterización de la variabilidad intraparcelsaria

Con el objetivo de identificar diferencias en la fertilidad del suelo dentro de cada parcela, se realizó un muestreo dirigido basado en índices de vegetación obtenidos a partir de imágenes satelitales de campañas anteriores. Las imágenes fueron adquiridas mediante la plataforma PlanetScope para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de junio, coincidiendo con la fase de máximo crecimiento vegetativo de los cultivos implantados. Se seleccionaron entre 6 y 7 imágenes por campaña, a razón de aproximadamente una por mes. Los cultivos analizados fueron cereal y guisante verde, elegidos por su cobertura y comportamiento vegetativo, tal y como se indica en la tabla 10.

*Tabla 10. Cultivos en las parcelas de ensayo en las campañas agrícolas 2019-2024.*

Superficie (ha)	2019	2020	2021	2022	2023	2024
6,48	ALFALFA	<b>CEBADA</b>	GIRASOL	<b>CEBADA</b>	<b>CEBADA</b>	PATATA
11,53	<b>GUISANTE</b>	MAÍZ	<b>GUISANTE</b>	MAÍZ	<b>TRIGO</b>	PATATA

A partir de estas imágenes se calculó un NDVI promedio anual en base a las fechas de mayor diferenciación. Posteriormente se obtuvo la media del NDVI de los tres años analizados, generando un mapa de productividad relativa. Este índice permitió clasificar cada parcela en dos zonas diferenciadas:

Zona 1: áreas con menor fertilidad aparente, representadas por valores de NDVI más bajos (color verde).

Zona 2: áreas con mayor fertilidad aparente, correspondientes a valores altos de NDVI (color azul) (ver figura 10).



Figura 10. NDVI promedio de los tres años de seguimiento para cada parcela.

En cada zona se seleccionaron al menos tres puntos de muestreo, donde se tomaron muestras de suelo mediante barrena manual hasta una profundidad de 30 cm, considerando que en esta franja se localiza el 70% del sistema radicular de la patata (Sun et al., 2022), así como la mayor parte del agua útil para el cultivo. Las muestras de cada zona se mezclaron para conformar una única submuestra y fueron almacenadas en bolsas plásticas, refrigeradas y enviadas al laboratorio EUROFINS S.A. para su análisis físico-químico (ver tabla 11).

Tabla 11. Analítica de suelo de las parcelas de estudio siendo Zona 1 (menor fertilidad aparente) y Zona 2 (mayor fertilidad aparente).

Nº parcela	Parcela 1	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 2	
Factor	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Uds.
pH	8,3	8,2	8,2	7,8	
C.E.	0,3	0,3	0,3	2,2	dS/m
C orgánico	1,8	1,8	1,7	1,4	% s.m.s.
M.O.	3,1	3,1	3,0	2,4	% s.m.s.
Carbonato cálcico	37,2	40,0	36,7	38,6	% s.m.s.
Caliza activa	13	10	9	10	% s.m.s.
N total	0,25	0,17	0,17	0,14	% s.m.s.
N nítrico (N-NO <sub>3</sub> )	52	51	30	22	mg/Kg s.m.s.
Fósforo (P)	28,0	27,1	18,2	14,9	mg/Kg s.m.s.
Potasio (K)	455	281	428	254	mg/Kg s.m.s.
Calcio (Ca)	7582	6987	7082	15964	mg/Kg s.m.s.
Magnesio (Mg)	322	248	246	168	mg/Kg s.m.s.
Sodio (Na)	111	76	67	65	mg/Kg s.m.s.

Relación C/N	7,2	10,4	10,0	9,8	
Arcilla	21,6	19,9	22,7	9,6	%
Limo fino	48,7	2,3	34,1	50,3	%
Limo grueso	14,1	42,4	15,0	17,4	%
Arena total	15,6	35,4	28,2	22,6	%
Textura	Franco-limosa	Franca	Franca	Franco-limosa	
Capacidad retención agua disponible	28	19	18	29	%
CiC	14,4	10,8	11,6	22,7	mEq/100 g DM

Respecto a la parcela 1:

- El pH resultó similar, ligeramente más alto en Zona 2 (8,3 frente a 8,2), manteniéndose ambos en rango básico.
- La conductividad eléctrica (CE) resultó igual en ambas zonas (0,3 dS/m).
- El carbono orgánico y la materia orgánica mostraron valores iguales (1,8% y 3,1%, respectivamente).
- El nitrógeno total resultó algo mayor en Zona 2 (0,25%) respecto a Zona 1 (0,17%), aunque con valores muy similares en contenido de N-NO<sub>3</sub> (52 mg/kg frente a 51 mg/kg).
- Se observaron valores similares de fósforo y una concentración mayor de potasio en Zona 2 (P: 28,0 vs 27,1 mg/kg; K: 455 vs 281 mg/kg).
- También se registraron valores superiores en Ca, Mg y Na en Zona 2.
- La textura varió entre franco-limosa (Zona 2) y franca (Zona 1), y la capacidad de retención de agua resultó superior en Zona 2 (28% vs 19%).
- La capacidad de intercambio catiónico (CIC) también resultó más alta en Zona 2 (14,4 vs 10,8 mEq/100g).

En relación a los resultados obtenidos en la parcela 2:

- El pH resultó ligeramente más alto en Zona 2 (8,2) que en Zona 1 (7,8).
- La CE resultó mayor en Zona 1 (2,2 dS/m).
- La materia orgánica y el carbono orgánico resultaron algo superiores en Zona 2 (3,0% y 1,7%) respecto a Zona 1 (2,4% y 1,4%).
- El nitrógeno total y el N-NO<sub>3</sub> resultaron mayores en Zona 2 (0,17% y 30 mg/kg frente a 0,14% y 22 mg/kg).
- Fósforo y potasio también resultaron más altos en Zona 2 (P: 18,2 vs 14,9 mg/kg; K: 428 vs 254 mg/kg).
- A diferencia de Parcela 1, el contenido de calcio resultó más alto en Zona 1 (15.964 vs 7.082 mg/kg).

- En cuanto a textura, la Zona 2 presentó una textura franca, mientras que la Zona 1 mostró una textura franco-limosa.
- La capacidad de retención de agua resultó mayor en la Zona 1 (29% vs 18%), y la CIC también resultó más alta en la Zona 1 (22,7 vs 11,6 mEq/100g).

Cabe señalar que el muestreo de suelo realizado presenta ciertas limitaciones, ya que las tres submuestras tomadas en cada zona fueron homogeneizadas para generar una muestra compuesta, lo que impide evaluar la variabilidad interna y realizar un análisis estadístico apropiado. Si se hubieran analizado las submuestras de forma individual, habría sido posible aplicar pruebas estadísticas para confirmar si las diferencias observadas entre zonas eran significativas. Este aspecto deberá considerarse en futuros estudios para mejorar la representatividad y la robustez de las conclusiones extraídas a partir del análisis del suelo.

### 3.4. Análisis de agua

Además del análisis del suelo, también se realizó una analítica del agua de riego utilizada en las parcelas. El objetivo fue caracterizar la calidad del agua aplicada mediante el sistema de aspersión y valorar su adecuación para el cultivo de la patata. Los resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Analítica del agua de riego utilizada en el cultivo.

Análisis agua riego		
Descripción	Valores	Uds
pH	7,90	
Conductividad eléctrica a 25°C	0,37	dS/m
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	<0,01613	mEq/l
Cloruros (Cl)	0,642	mEq/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	0,587	mEq/l
Fluoruros (F)	<0,0053	mEq/l
Alcalinidad total	118,70	mg CaCO <sub>3</sub> /l
Carbonatos (CO <sub>3</sub> )	<0,06	mEq/l
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> )	2,41	mEq/l
Presión osmótica	0,133	atm
Carbonato Sódico Residual	-0,51	mEq/l
Relación Absorción de Sodio (SAR)	0,60	

Índice de Scott	-241,8	mg/l
Índice de Langelier	0,11	
Índice de Ryznar	7,30	
Suma de cationes	3,70	mEq/l
Suma de aniones	3,60	mEq/l
Dureza	14,60	° French
Dureza Calcica	109	mg CaCO <sub>3</sub> /l
Boro disuelto (B)	<0,25	mg/l
Calcio disuelto (Ca)	2,17	mEq/l
Cobre disuelto (Cu)	<0,05	mg/l
Fósforo disuelto (P)	<0,05	mg/l
Hierro disuelto (Fe)	<0,10	mg/l
Magnesio disuelto (Mg)	0,754	mEq/l
Manganeso disuelto (Mn)	<0,01	mg/l
Potasio disuelto (K)	0,0332	mEq/l
Sodio disuelto (Na)	0,725	mEq/l
Zinc disuelto (Zn)	<0,05	mg/l

La muestra analizada presentó un pH de 7,90, lo que indica un agua ligeramente alcalina, dentro de un rango aceptable para cultivos hortícolas. La conductividad eléctrica resultó baja (0,37 dS/m), lo que clasifica esta agua como de baja salinidad, sin riesgo para cultivos moderadamente sensibles como la patata.

La concentración de sales principales (nitratos, cloruros, sulfatos y sodio) se encontró en niveles bajos, sin superar los umbrales de riesgo. El contenido de bicarbonatos (2,41 mEq/l) y la alcalinidad total (118,7 mg CaCO<sub>3</sub>/l) indican una ligera tendencia a la precipitación de carbonatos, aunque sin generar problemas significativos de obstrucción en sistemas de riego ni interferencias agronómicas importantes.

Otros indicadores relevantes, como la Relación de Absorción de Sodio (SAR = 0,60) y el carbonato sódico residual (-0,51 mEq/l), reflejan un bajo riesgo de sodificación, lo que favorece el mantenimiento de la estructura del suelo a largo plazo.

En cuanto a la presencia de micronutrientes y metales, los niveles de hierro, manganeso, zinc, cobre y fósforo disueltos resultaron inferiores al umbral de detección, por lo que no representan riesgos ni aportes destacables al sistema de cultivo. El boro disuelto (<0,25 mg/l) también resultó dentro del rango tolerable para la patata.

### 3.5. Material vegetal

El material vegetal utilizado en este estudio fue la patata variedad “Lady Rosetta”. Dado que la producción tiene como destino final el de industria del frito para patata chip de la empresa PepsiCo. La elección de esta variedad concreta es debido a diversos factores según Meijer Potato (2025) como ser la variedad crujiente más temprana del mercado, se puede cosechar directamente del campo en verde, tiene un alto contenido de materia seca y tiene un buen rendimiento en cosechas tempranas y principales.

Para el ensayo se utilizó patata de siembra Lady Rosetta, con un calibre 28/35 mm, a una dosis de siembra de aproximadamente 1.100 kg/ha. El diseño de plantación se realizó con una distancia entre hileras de 0,75 m y una distancia entre plantas de 28 cm, siguiendo las recomendaciones técnicas para esta variedad y sistemas de cultivo (ver figura 11).



*Figura 11. Plantadora de patatas.*

Desde un punto de vista fenológico, Lady Rosetta es una variedad de ciclo corto, con un desarrollo vegetativo que se completa entre 90 y 110 días tras la siembra, dependiendo de las condiciones ambientales. Su emergencia es rápida y uniforme, con un desarrollo aéreo moderado, y los tubérculos maduran de forma temprana, facilitando su adaptación a siembras de primavera en zonas de regadío como Almedévar.

### 3.6. Diseño experimental

El diseño experimental del ensayo se centró en la evaluación de dos estrategias de fertilización nitrogenada en el cultivo de patata mediante dosificación variable, con el objetivo de analizar su efecto sobre el desarrollo del cultivo en un contexto de manejo digitalizado.

Para ello, se establecieron dos dosis diferenciadas de nitrógeno (Dosis 1 y Dosis 2), aplicadas en sectores definidos dentro de cada parcela mediante el sistema de riego por aspersión. Las aplicaciones se realizaron a través de fertirrigación en cobertera y constituyeron la tercera aportación de nitrógeno durante el ciclo del cultivo, el resto de aportes de nitrógeno fueron uniformes en las dos zonas de manejo. Las dosis aplicadas fueron:

- Dosis 1: 136 kg N/ha
- Dosis 2: 163 kg N/ha

La asignación de tratamientos se realizó por sectores de riego previamente delimitados (figura 12).



Figura 12. Sectores de riego de las parcelas de estudio.

En la Parcela 1, los sectores 11 y 12 recibieron la Dosis 2, mientras que los sectores 13 y 14 recibieron la Dosis 1. En la Parcela 2, los sectores 1 y 3 recibieron la Dosis 2 y

los sectores 2, 4, 5, 6 y 7 la Dosis 1. En total, la Dosis 1 se aplicó sobre 11,49 ha y la Dosis 2 sobre 6,55 ha, cubriendo así todo el ensayo.

La figura 13 muestra la distribución espacial de las dosis de nitrógeno aplicadas en cada parcela, identificando los sectores de riego que recibieron la Dosis 1 (136 kg N/ha) y la Dosis 2 (163 kg N/ha), lo que permite visualizar la estrategia de aplicación diferenciada mediante fertirrigación.

La planificación completa de la fertilización, con el balance de nutrientes, aportes orgánicos e inorgánicos y la programación temporal, se detalla en el apartado 3.7 correspondiente del manejo agronómico del cultivo.



Figura 13. Dosis diferenciadas de nitrógeno en las parcelas de estudio, Dosis 1 (136 kg N/ha) y Dosis 2 (163 kg N/ha).

### 3.7. Manejo agronómico del cultivo

Las labores y los tratamientos realizados durante el cultivo fueron los siguientes:

- Preparación del suelo y siembra

Para una buena nascencia del cultivo se realizaron las labores en ambas parcelas comprendidas en la tabla 13.

Tabla 13. Labores realizadas en el cultivo en ambas parcelas de ensayo.

Parcela	Fecha	Descripción de labor
1/2	15/02/2024	Chisel
1/2	15/02/2024	Subsolador
1/2	15/02/2024	Semichisel
1/2	24/02/2024	Rotovator + acaballonado
1	29/02/2024	Sembrar Lady Rosetta
2	07/03/2024	Sembrar Lady Rosetta

#### - Fertilización

La estrategia de fertilización se diseñó para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo de patata en regadío, tomando como referencia un rendimiento estimado de 45.000 kg/ha y un consumo de agua de 6.300 m<sup>3</sup>/ha. El plan tuvo en cuenta la fertilidad inicial del suelo (ver sección 3.3 y tabla 11), así como las recomendaciones de fertilización máxima mencionadas anteriormente por el MAPA (2025c). Se estableció un programa de abonado basado en aportes solamente inorgánicos, distribuidos a lo largo del ciclo del cultivo. Además, se utilizaron productos bioestimulantes para favorecer la implantación y el desarrollo radicular. La tabla 14 muestra el balance de fertilización en ambas parcelas y la tabla 15 muestra los resultados de nutrientes presentes en el suelo diferenciados por factor Zona.

Tabla 14. Balance de fertilización para el factor Dosis 1 y Dosis 2 en ambas parcelas de ensayo.

		Nutrientes (kg N/ha)			
Necesidades del cultivo		N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		Dosis 1	Dosis 2		
	Recomendaciones MAPA (2025c)	225,00		90,00	450,00
Aportes					
	Agua riego	1,42		0,72	9,81
	Abono inorgánico (0-0-30)	0,00		0,00	150,00
	NPK (8-20-5)	36,00		90,00	22,50
	NSA 26 (26-0-0)	104,00		0,00	0,00
	Bioestimulante (13-0-5)	0,46		0,00	0,18
	Abonado nitrogenado (30-0-0)	42,00		0,00	0,00
	Abonado nitrogenado (30-0-0)	55,50		0,00	0,00

	Abonado nitrogenado (30-0-0)	40,80	48,90	0,00	0,00
	Bioestimulante (5-5-10)	0,15		0,15	0,30
	Total aportes	-55,34	-63,44	-0,87	267,21

Tabla 15. Contenido de nutrientes en el suelo de las parcelas de estudio según el factor Zona.

Fertilidad suelo				
Factor		Nutrientes (kg/ha)		
Parcela 1		N	P2O5	K2O
	Zona 1	44,94	242,03	1315,08
	Zona 2	45,82	250,07	2129,40
Parcela 2				
	Zona 1	19,38	133,07	1188,72
	Zona 2	26,43	162,54	2003,04

Se puede observar en los balances de fertilización (ver tabla 14) la dosis diferenciada de 136 (Dosis 1) a 163 (Dosis 2) kg N/ha de abonado nitrogenado (30% nitrógeno total). No existen grandes diferencias entre ambos aportes totales, pero considerando el nivel inicial de nutrientes en el suelo sí se observan diferencias entre parcelas y zonas (ver tabla 15). La parcela 1 consta de mayores aportes de fósforo ( $P_2O_5$ ) que la parcela 2. También es importante destacar ese mayor contenido de nitrógeno por parte de la parcela 1 respecto a la parcela 2. En ambas parcelas se puede ver una clara diferencia en el contenido de potasio ( $K_2O$ ), un muy alto contenido en estas parcelas, siendo la Zona 2 (la zona denominada fértil) como la de mayor concentración de este elemento. Aunque, estos resultados son meramente informativos y no representan diferencias significativas debido al número reducido de datos obtenidos.

La fertilización llevada a cabo durante el cultivo se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Fertilización de las parcelas de ensayo durante el cultivo.

Parcela	Fecha	Descripción	Tipo	Cantidad	Unidad
1	29/02/2024	Abono inorgánico (0-0-30 (10-44))	Abono inorgánico	500	kg/ha
1	29/02/2024	NPK (8-20-5)	Abono inorgánico	450	kg/ha
2	07/03/2024	Abono inorgánico (0-0-30 (10-44))	Abono inorgánico	500	kg/ha
2	07/03/2024	NPK (8-20-5)	Abono inorgánico	450	kg/ha
1/2	15/04/2024	NSA 26	Abono inorgánico	400	kg/ha
1/2	30/04/2024	Bioestimulante	Bioestimulante	3,57	L/ha
1/2	09/05/2024	Abonado nitrogenado (30-0-0)	Abono inorgánico	140	kg/ha
1/2	23/05/2024	Abonado nitrogenado (30-0-0)	Abono inorgánico	185	kg/ha
1/2	02/06/2024	Abonado nitrogenado (30-0-0)	Abono inorgánico	136/163	kg/ha

1/2	24/06/2024	Bioestimulante	Bioestimulante	3	L/ha
1/2	24/06/2024	Corrector carencias	Corrector carencias	10	kg/ha

- Tratamientos fitosanitarios

En cuanto al manejo de los plaguicidas se observan en esta siguiente tabla 17.

Tabla 17. Tratamientos fitosanitarios llevados a cabo en las parcelas de ensayo durante el cultivo.

Parcela	Fecha	Descripción	Tipo	Cantidad	Unidad
1	29/02/2024	Lambda-cihalotrina 0,4%	Insecticida	15	kg/ha
2	07/03/2024	Lambda-cihalotrina 0,4%	Insecticida	15	kg/ha
1	19/04/2024	Bentazona 480 g/L	Herbicida	2	L/ha
1	19/04/2024	Ácidos carboxílicos (manganeso 3%)	Antiespumante y mojante	1	L/1000L
1	19/04/2024	Tensioactivos no iónicos (manganeso 1,5% y zinc 0,5%)	Coadyuvante	0,50	L/1000L
1	19/04/2024	Metribuzina 60%	Herbicida	0,35	L/ha
2	26/04/2024	Metribuzina 60%	Herbicida	0,35	L/ha
2	26/04/2024	Bentazona 480 g/L	Herbicida	2	L/ha
2	26/04/2024	Ácidos carboxílicos (manganeso 3%)	Antiespumante y mojante	1	L/1000L
2	26/04/2024	Tensioactivos no iónicos (manganeso 1,5% y zinc 0,5%)	Coadyuvante	0,50	L/1000L
2	31/05/2024	Azoxistrobin 25%	Fungicida	0,50	L/ha
2	31/05/2024	Fluopicolida 6,25% + Propamocarb 52,5%	Fungicida	1,50	L/ha
2	31/05/2024	Ácidos carboxílicos (manganeso 3%)	Antiespumante y mojante	1	L/1000L
2	31/05/2024	Tensioactivos no iónicos (manganeso 1,5% y zinc 0,5%)	Coadyuvante	0,50	L/1000L
1	31/05/2024	Fluopicolida 6,25% + Propamocarb 52,5%	Fungicida	1,50	L/ha
1	31/05/2024	Azoxistrobin 25%	Fungicida	0,50	L/ha
1	31/05/2024	Ácidos carboxílicos (manganeso 3%)	Antiespumante y mojante	1	L/1000L
1	31/05/2024	Tensioactivos no iónicos (manganeso 1,5% y zinc 0,5%)	Coadyuvante	0,50	L/1000L
1/2	24/06/2024	Fosetil-Al 50%, Cimoxanilo 4%, Folpet 25%	Fungicida	2	kg/ha
1/2	24/06/2024	Difenoconazol 25%	Fungicida	0,50	L/ha
1/2	24/06/2024	Ácidos carboxílicos (manganeso 3%)	Antiespumante y mojante	1	L/1000L
1/2	24/06/2024	Tensioactivos no iónicos (manganeso 1,5% y zinc 0,5%)	Coadyuvante	0,50	L/1000L

Cabe desatacar el uso de herbicida en la parcela 1 y la posterior aparición de malas hierbas durante el desarrollo del cultivo a partir del 30 de mayo de 2024. Las malas hierbas que se encontraron son del género *Xanthium* (ver figura 14), otra mala hierba del género *Sorghum* (ver figura 15) y otra del género *Sonchus* entre otras (ver figura 16).



Figura 14. Mala hierba del género *Xanthium* encontrada en la parcela 1.



Figura 15. Mala hierba del género *Sorghum* encontrada en la parcela 1.



Figura 16. Mala hierba del género *Sonchus* encontrada en la parcela 1.

- Riego

Durante el ciclo del cultivo se registró el consumo diario de agua en ambas parcelas, asociado al tiempo de riego por aspersión y el volumen aplicado. En la tabla II.1 (ver anexo 2) se presentan los datos detallados por fecha, volumen aplicado y duración del riego en minutos.

A lo largo de toda la campaña, se aplicaron un total de 41.108 m<sup>3</sup> de agua en la Parcela 1 y 73.161 m<sup>3</sup> en la Parcela 2, lo que equivale a consumos aproximados de 6.334 m<sup>3</sup>/ha y 6.345 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente. Ambos valores reflejan un uso del agua ajustado a las necesidades del cultivo bajo condiciones de regadío controlado, con diferencias en superficie total que justifican la distinta cantidad total aplicada.

El patrón de riego siguió una distribución progresiva desde mediados de abril hasta finales de julio, coincidiendo con las fases de mayor demanda hídrica del cultivo. El registro continuo de estos datos ha permitido evaluar la eficiencia del sistema de riego y servirá como base para futuros ajustes a través de técnicas de agricultura de precisión.

### 3.8. Análisis de parámetros de rendimiento y postcosecha

#### 3.8.1. Rendimiento

Para valorar aspectos relacionados con el rendimiento y calidad del cultivo, se tomaron un total de 18 muestras, distribuidas entre ambas parcelas de ensayo. El muestreo se diseñó atendiendo a dos factores principales:

Zona de fertilidad (Zona 1 y Zona 2), definida previamente en función del análisis de suelo y los valores medios de NDVI.

Dosis de nitrógeno aplicada (Dosis 1 y Dosis 2), según el diseño experimental del apartado de fertilización dirigida.

En la parcela 1 se tomaron 12 muestras, distribuidas de forma aleatoria en base a ambos factores. En la parcela 2 se tomaron 6 muestras, todas correspondientes a una sola dosis. Esto se debió a la imposibilidad de diferenciar las zonas de tratamiento de nitrógeno de forma clara, ya que el sistema de riego por aspersión con fertirrigación generó solapamientos entre sectores, dificultando el seguimiento exacto de la dosis aplicada (ver figura 17).

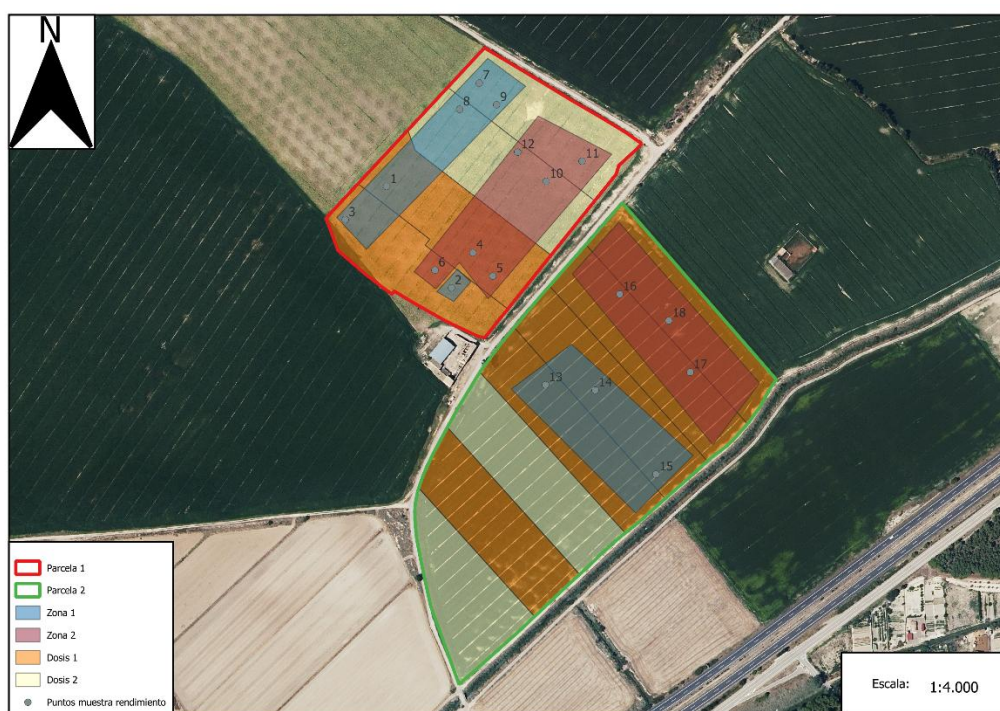


Figura 17. Puntos recogida muestras para determinar rendimiento según factor Zona y Dosis.

Para cada muestra de rendimiento, se delimitó una longitud de 1,5 m lineales de hilera, dentro de la zona previamente seleccionada según los factores del ensayo. En cada unidad de muestreo se procedió al arranque manual y conteo de los tallos presentes. A continuación, con la ayuda de una horca y una azada, se desenterraron los tubérculos contenidos en esa superficie, asegurando la recuperación completa del material vegetal. Los tubérculos recolectados se colocaron en bolsas de malla debidamente numeradas, diferenciadas por parcela, zona y dosis, y etiquetadas

adecuadamente para su identificación durante el posterior análisis en laboratorio (ver figura 18).



*Figura 18. Cosecha de patatas para la recogida de muestras.*

Una vez recogidas las muestras, se llevaron al laboratorio de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (Universidad de Zaragoza) para su procesamiento. Tras un lavado manual de los tubérculos, se procedió al análisis de las siguientes variables:

- Número de tallos por unidad de muestra.
- Número de tubérculos, diferenciando según el calibre comercial.
- Peso total de los tubérculos, y en algunos casos por categoría de calibre.

La determinación del calibre se realizó utilizando un pie de rey digital Mitutoyo (Mituyoto Corporation, Japón), mientras que la pesada se efectuó con dos instrumentos en función del tamaño:

- Una báscula Gram RZ-30K (Gram Precision, España), con capacidad de hasta 30 kg y precisión de 2 g, para tubérculos de mayor tamaño.
- Una báscula de precisión Gvolutee (Gvolutee, China) (0,01 g – 500 g) para tubérculos con calibre inferior a 40 mm.

Ambos instrumentos permitieron garantizar la precisión y repetibilidad del proceso de medición (ver figuras 19 y 20).



Figura 19. Báscula Gram RZ-30K para pesar patatas cosechadas.



Figura 20. Báscula Gvolutee para pesar patata cosechadas.

El rendimiento por unidad de superficie (kg/ha) se estimó para cada muestra teniendo en cuenta que el cultivo fue plantado con una distancia entre hileras de 0,75 m y que cada unidad de muestreo correspondía a 1,5 m lineales de hilera. A partir del peso total de tubérculos obtenidos por muestra, se extrapola el rendimiento a hectárea.

### 3.8.2. Parámetros de calidad

Los tubérculos se clasificaron por calibre en tres categorías: <40 mm, 40–90 mm y >90 mm. Esta clasificación responde a los criterios de la industria del frito, ya que solo los tubérculos de calibre intermedio (40–90 mm) son considerados aptos para la

producción de patata chip, por su rendimiento industrial y comportamiento en fritura. Además, el 11 de julio de 2024, la empresa PepsiCo realizó un muestreo independiente por parcela con el objetivo de analizar la calidad de frito de los tubérculos cosechados (ver anexo 3). Entre los parámetros evaluados en laboratorio se incluyó el porcentaje de materia seca, variable crítica para determinar el rendimiento en fritura y la textura del producto final.

Asimismo, para una caracterización más completa, se evaluaron los siguientes parámetros físico-químicos:

- Contenido de humedad
- Grados Brix
- Dureza
- Contenido de almidón

Para estas determinaciones se tomaron tres submuestras representativas por unidad de muestreo, procurando homogeneidad en el tamaño y aspecto de los tubérculos.

#### 3.8.2.1. Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad de los tubérculos, se realizó un procedimiento de secado en estufa a partir de muestras frescas obtenidas manualmente. Con la ayuda de un cuchillo, se peló parcialmente el tubérculo y se ralló para facilitar una evaporación homogénea. Se extrajo una cantidad de muestra superior a 5 g, que fue colocada en recipientes metálicos previamente tarados (ver figura 21). Cada recipiente fue pesado antes y después de introducir la muestra utilizando una báscula de alta precisión Sartorius CP 224 S (Sartorius AG, Alemania), con sensibilidad de 0,1 mg (ver figura 22). Las muestras fueron colocadas en una estufa de aire caliente (J.P. Selecta, España), programada a 103 °C durante 3 h. Este tiempo se estableció tras realizar una prueba previa de estabilización del peso a distintos intervalos, identificando las 3 horas como el tiempo óptimo (ver figura 23). Finalizado el proceso de secado, las muestras se enfriaron en un desecador y se pesaron de nuevo junto con el recipiente, permitiendo calcular el contenido de humedad por pérdida de masa respecto al peso fresco inicial.



Figura 21. Preparación muestras de patata para el secado.



Figura 22. Báscula Sartorius CP 224 S para pesado muestras patata antes y después del secado.



Figura 23. Secado de muestras de patata en estufa de aire caliente J.P. Selecta.

### 3.8.2.2. Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales (SST), expresado en grados Brix ( $^{\circ}$ Brix), se determinó como indicador del nivel de azúcares y compuestos solubles presentes en los tubérculos. Para ello, se utilizó un refractómetro digital de la marca KERN Optics (Kern & Sohn GmbH, Alemania) (ver figura 24). En cada medición, se ralló una porción del tubérculo y se extrajo manualmente una gota de jugo fresco, que se depositó sobre el sensor del refractómetro. El equipo fue calibrado antes de cada submuestra utilizando agua oxigenada. Los valores obtenidos se expresaron en  $^{\circ}$ Brix, equivalentes al contenido de sólidos solubles (principalmente azúcares) por cada 100 gramos de solución.



Figura 24. Medidor KERN Optics para determinar grados Brix.

### 3.8.2.3. Contenido almidón

Para estimar el contenido relativo de almidón en los tubérculos, se utilizó una técnica colorimétrica basada en la tinción con lugol (yodoyoduro potásico), que reacciona de forma específica con el almidón, generando una coloración azulada o violeta característica. Se escogieron las submuestras y se partieron longitudinalmente por la mitad. A continuación, se aplicó una pulverización uniforme de solución de Lugol sobre la superficie expuesta de cada mitad. Pasados unos segundos, se tomaron imágenes de las muestras teñidas utilizando una cámara de teléfono móvil en condiciones de luz controlada (ver figura 25). Las imágenes obtenidas se analizaron con el software ImageJ, herramienta de análisis de imágenes ampliamente utilizada en investigación, con la que se determinó el porcentaje de superficie teñida, interpretado como indicador indirecto del contenido de almidón de cada submuestra (ver figura 26).



Figura 25. Muestra de patata teñida con lugol.

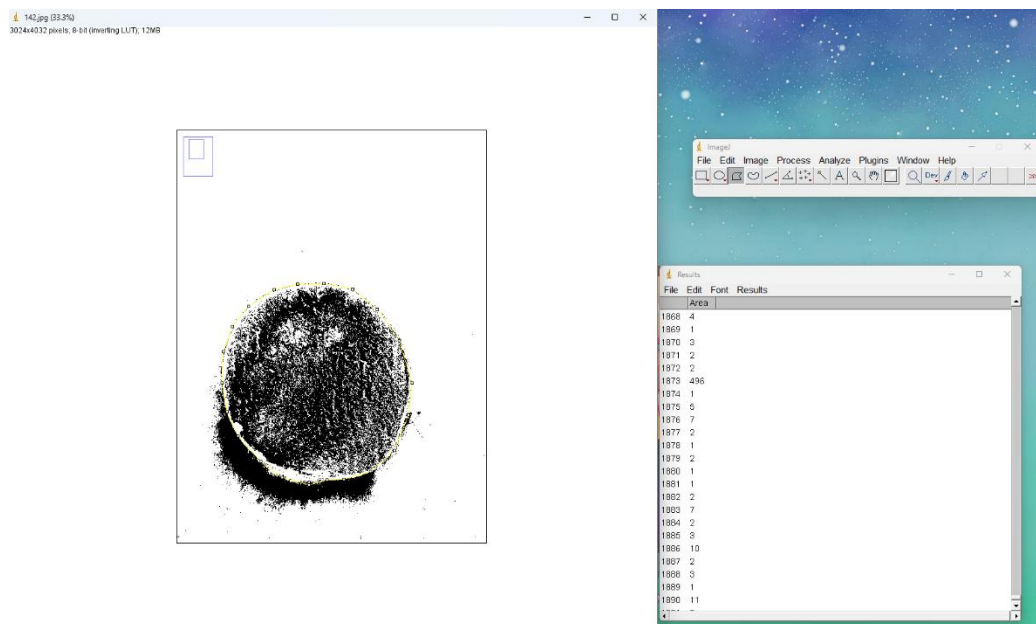


Figura 26. Cálculo del porcentaje de tinción con Image J.

#### 3.8.2.4. Dureza

La dureza del tubérculo se evaluó mediante un ensayo de penetración directa, utilizando un penetrómetro manual FT-327 (TR Turoni, Italia), equipo comúnmente empleado en análisis de textura en productos hortofrutícolas. Este dispositivo mide la resistencia a la penetración en libras (lb), en un rango de 3 a 27 lb, y está equipado con una punta de 11 mm de diámetro (ver figura 27).

Para cada submuestra, se peló parcialmente el tubérculo para exponer la pulpa y se realizó la medición ejerciendo presión con el penetrómetro hasta obtener una lectura estable. Este valor se utilizó como indicador indirecto de la firmeza del tubérculo, un parámetro de calidad importante en la industria de procesado, ya que puede estar relacionado con el contenido de materia seca y la textura tras la fritura.



*Figura 27. Penetrómetro manual FT-327 para determinar dureza de las muestras patata.*

### 3.8.3. Análisis estadístico de resultados

Los datos obtenidos para las variables analizadas se estudiaron estadísticamente con el objetivo de determinar el efecto de los factores zona de fertilidad y dosis de nitrógeno, así como su posible interacción. Previamente, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar el supuesto de normalidad ( $p > 0,05$ ). En los casos en los que se confirmó la normalidad de los datos, se procedió a aplicar un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para evaluar el efecto de los factores estudiados (zona y dosis) y su interacción. Cuando los datos no se ajustaron a una distribución normal, se analizaron mediante la prueba para datos no paramétricos Mann-Whitney. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa SPSS V. 29.

## 3.9. Seguimiento del cultivo

### Seguimiento del cultivo mediante aplicaciones informáticas específicas

Para un correcto seguimiento del cultivo y posterior análisis se utilizaron diversas herramientas digitales, en nuestro caso las utilizadas por PepsiCo, para recoger la información apuntada durante las visitas de campo.

Para el caso del parámetro del porcentaje de cobertura del suelo por parte del cultivo se utilizó la herramienta Canopeo. Para las labores realizadas y los tratamientos la plataforma X-Farm.

### Seguimiento de índices de vegetación calculados mediante software libre

Con el objetivo de monitorizar el estado vegetativo del cultivo durante su desarrollo, se calcularon los índices de vegetación NDVI a partir de 11 imágenes de satélite descargadas de la plataforma PlanetScope, seleccionadas según las fases fenológicas del cultivo. Se tomó aproximadamente una imagen por semana, cubriendo así el periodo clave de crecimiento. Las imágenes fueron procesadas con el software QGIS, utilizando la herramienta de calculadora ráster (figura 28) para obtener el NDVI por fecha y un NDVI acumulado al final del ciclo. El NDVI permitió evaluar diferencias de vigor vegetativo entre parcelas y dentro de cada una de ellas.

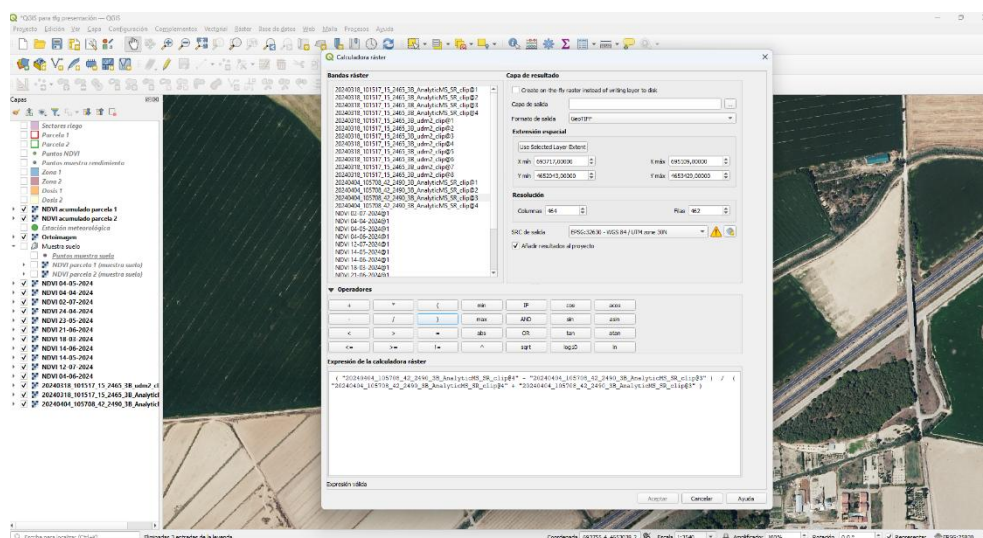


Figura 28. Cálculo del índice NDVI mediante calculadora ráster en el programa QGIS

Posteriormente, se seleccionaron 20 puntos de muestreo aleatorios dentro de las parcelas (figura 29), respetando la clasificación previa por zona de fertilidad (Zona 1 y Zona 2) y dosis de nitrógeno aplicada:

- En la Parcela 1, se seleccionaron 5 puntos por combinación de zona y dosis (total 20 puntos), permitiendo un análisis completo de la interacción entre ambos factores.

- En la Parcela 2, solo se seleccionaron 10 puntos correspondientes a la Dosis 1, debido al solapamiento de sectores de riego generado por la fertiirrigación, lo que impidió establecer con claridad la diferenciación entre tratamientos.

Mediante la herramienta *Point Sampling Tool* se extrajo la información de todas las capas (prescripción de N, zona, NDVI). Esta información fue utilizada para correlacionar los valores de NDVI con otras variables agronómicas, como el rendimiento y la calidad de los tubérculos.



Figura 29. Puntos de muestreo de NDVI en ambas parcelas según los factores Dosis y Zona

### Seguimiento de parámetros *in situ*

Durante las visitas de campo se apuntaron parámetros relacionados con el crecimiento del cultivo tales como % cobertura del suelo, si se observaron daños en el cultivo, el diámetro máximo del tubérculo, número de plantas de la muestra, nº de estolones visibles y nº de tubérculos. Se tomaron una muestra por parcela siguiendo el procedimiento y evaluando los parámetros planteados por la empresa PepsiCo como los más relevantes para el correcto desarrollo del cultivo.

### 3.10. Análisis técnico-económico

El análisis económico del cultivo cuenta con todos los gastos asociados durante el cultivo tanto de fitosanitarios como de fertilizantes y otros gastos asociados. Además, se añadieron los gastos asociados a las herramientas de agricultura de precisión utilizadas para el estudio (ver anexo 1). Los precios utilizados están basados en los precios que habituales de la zona de estudio.

Para el análisis técnico-económico se han utilizado las aportaciones de nitrógeno diferenciado para cada dosis y los rendimientos obtenidos para cada una de ellas.

El precio del abonado nitrogenado se ha obtenido en base a precios habituales de la zona (0,52 €/kg). En cuanto a los ingresos se tuvo en cuenta el rendimiento diferenciado de ambas dosis y su precio de venta (0,23 €/kg).

Para calcular la eficiencia en el uso del nitrógeno se utilizó la ecuación 5.

$$EUN = \frac{\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}{N_{\text{aplicado (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

*Ecuación 5. Cálculo de la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN).*

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Rendimiento

Los datos obtenidos para el rendimiento de los puntos muestreados se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Datos de rendimiento obtenidos para las muestras recogidas en ambas parcelas de estudio.

Parcela	Zona*	Dosis*	Muestra	Nº plantas	Nº tubérculos	Peso total (g)	Nº tub. <40	Peso tub. <40 (g)	Nº tub 40-90	Peso tub. 40-90 (g)	Nº tub. >90	Peso tub. >90 (g)	kg/ha
1	1	1	1	4	39	6240,55	2	80,55	33	4766	4	1394	55471,56
1	1	1	2	4	32	3797,93	3	51,93	27	3062	2	684	33759,38
1	1	1	3	5	36	4900,43	4	108,43	31	4452	1	340	43559,38
1	2	1	4	5	71	5547,65	19	411,65	52	5136	0	0	49312,44
1	2	1	5	5	51	5167,8	9	169,8	42	4998	0	0	45936,00
1	2	1	6	5	41	4199,91	6	175,91	33	3290	2	734	37332,53
1	1	2	7	5	32	6529,49	1	17,49	25	3978	6	2534	58039,91
1	1	2	8	5	48	5654,45	8	130,45	38	4980	2	544	50261,78
1	1	2	9	5	36	5427,93	1	43,93	33	4844	2	540	48248,27
1	2	2	10	5	43	5348,15	7	188,15	33	4378	3	782	47539,11
1	2	2	11	6	47	5135,13	4	59,13	41	4514	2	562	45645,60
1	2	2	12	5	37	3959,16	8	73,16	27	3406	2	480	35192,53
2	1	1	13	5	38	4186,23	1	6,23	37	4180	0	0	37210,93
2	1	1	14	5	39	5290,29	3	78,29	35	4872	1	340	47024,80
2	1	1	15	7	52	3459,78	12	197,78	39	2962	1	300	30753,60
2	2	1	16	8	51	5720,73	10	214,73	38	4678	3	828	50850,93
2	2	1	17	6	40	6096,08	4	88,08	33	4938	3	1070	54187,38
2	2	1	18	6	34	4406,85	4	70,85	30	4336	0	0	39172,00

\*Zona 1: menor fertilidad; Zona 2: mayor fertilidad; Dosis 1: 136 kg N/ha; Dosis 2: 163 kg N/ha

En la figura 30 se muestra el rendimiento promedio de cada tratamiento en función del factor Dosis y Zona en la parcela 1.

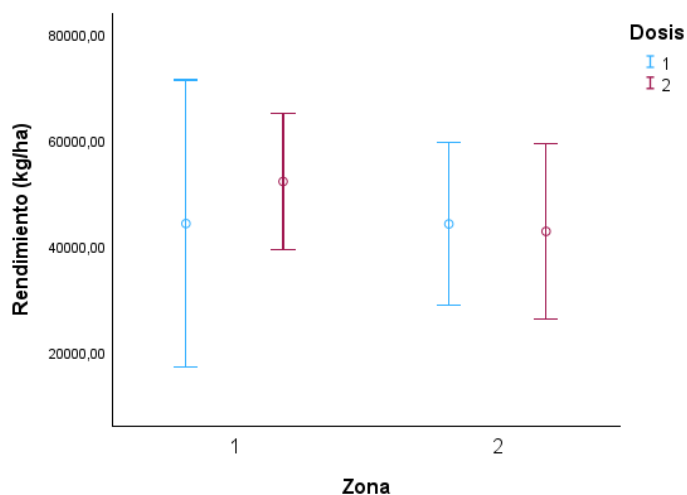


Figura 30. Rendimiento según Zona 1 (menor fertilidad aparente) / Zona 2 (mayor fertilidad aparente) y Dosis 1 (136 kg N/ha) / Dosis 2 (163 kg N/ha) para parcela 1.

En ambas zonas (1 y 2) las diferencias de rendimiento entre las Dosis 1 y 2 resultaron no significativas. Además, la variabilidad en el rendimiento fue mayor en la Zona 1 para la Dosis 1, como se vio reflejado en la mayor amplitud de las barras de error. Por el contrario, el rendimiento en la Zona 2 fue más consistente entre Dosis 1 y 2.

En la figura 31 se muestra el número de tubérculos en función de la Zona y la Dosis para la parcela 1.

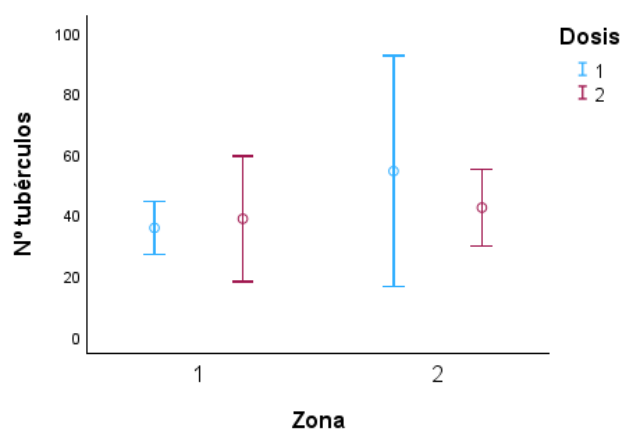


Figura 31. Nº de tubérculos según Zona 1 (menor fertilidad aparente) / Zona 2 (mayor fertilidad aparente) y Dosis 1 (136 kg N/ha) / Dosis 2 (163 kg N/ha) para parcela 1.

En la Zona 1 se observaron valores similares para ambas Dosis, aunque ligeramente superiores en promedio para la Dosis 2. En cambio, en la Zona 2, la Dosis 1 presentó un número de tubérculos claramente más alto en promedio, aunque acompañado de una alta variabilidad, por lo que no se detectaron diferencias significativas.

En la figura 32 se muestra el peso de los tubérculos obtenido entre 40-90 mm para ambos factores (Zona y Dosis) en la parcela 1.

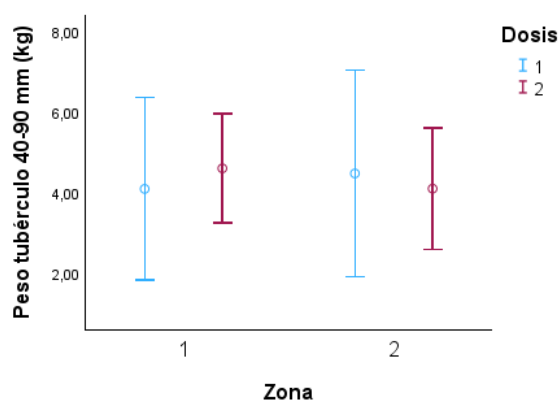


Figura 32. Peso tubérculos 40-90 mm según Zona 1 (menor fertilidad aparente) / Zona 2 (mayor fertilidad aparente) y Dosis 1 (136 kg N/ha) / Dosis 2 (163 kg N/ha) para parcela 1.

Se observó una clara similitud entre los valores medios de las dos dosis en ambas zonas.

No se revelaron efectos estadísticamente significativos para los factores Zona, Dosis y su interacción entre ellos para cualquiera de las tres variables ( $p < 0,05$ ) (ver tabla 19). En cambio, un estudio realizado por Sanja (2015) reveló que la dosis que mayor rendimiento sacó fue de 150 kg N/ha para la variedad Lady Rosetta. Otro estudio realizado por Trawczynski (2021) determinó que la dosis que mejor rendimiento obtuvo fue la comprendida entre 104 y 150 kg N/ha.

Tabla 19. Prueba ANOVA de dos factores para parcela 1 según variables rendimiento, nº tubérculos y peso tubérculos 40-90 mm.

Variable	Factor	Sig. (p)
Rendimiento (kg/ha)	Zona	0,309
	Dosis	0,475
	Zona * Dosis	0,316
Nº tubérculos	Zona	0,069
	Dosis	0,423
	Zona * Dosis	0,197
Peso tubérculos 40-90 mm (kg)	Zona	0,899
	Dosis	0,889
	Zona * Dosis	0,366

Para la parcela 2 la tabla 20 muestra los estadísticos descriptivos, aunque solamente consta de un factor, Zona, dado que el factor Dosis fue el mismo para toda la muestra (Dosis 1).

Tabla 20. Estadísticos descriptivos para parcela 2 según factor Zona.

Factor	Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Zona 1	Rendimiento (kg/ha)	38.329,78	8.193,10	30.753,60	47.024,80
	Nº de tubérculos	43,00	7,81	38,00	52,00
	Peso tubérculos (kg)	4,00	0,97	2,96	4,87
Zona 2	Rendimiento (kg/ha)	48.070,10	7.884,49	39.172,00	54.187,38
	Nº de tubérculos	41,67	8,62	34,00	51,00
	Peso tubérculos 40-90 mm (kg)	4,65	0,30	4,34	4,94

Los rendimientos medios de la Zona 1 (38.329,78 kg/ha  $\pm$  8.193,10) resultaron muy inferiores a los de la Zona 2 (48.070,10 kg/ha  $\pm$  7.844,49). En este caso, aun con la diferencia de rendimiento no se detectaron diferencias significativas dado que  $p > 0,05$  (ver tabla 21).

Para las variables nº de tubérculos y el peso de los tubérculos entre 40-90 mm no hubo prácticamente diferencias entre zonas siendo éstas tampoco significativas ( $p > 0,05$ ) (ver tabla 21).

Tabla 21. Prueba ANOVA de dos factores para parcela 2 según variables rendimiento, nº tubérculos y peso tubérculos 40-90 mm.

Variable	Factor	p valor
Rendimiento (kg/ha)	Zona	0,212
Nº tubérculos	Zona	0,852
Peso tubérculos (kg)	Zona	0,331

Los rendimientos reales obtenidos tras la cosecha fueron aproximadamente de 32150 kg/ha para la parcela 1 y 38100 kg/ha para la parcela 2.

## 4.2. Humedad, grados Brix, dureza y almidón

Los resultados obtenidos en la parcela 1 para el porcentaje de humedad, los grados Brix, la dureza y el porcentaje de almidón se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Estadísticos descriptivos para parcela 1 según el factor Tratamiento para humedad, grados Brix, dureza y almidón.

Factor	Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
T1	Humedad (%)	70,41	2,61	68,36	73,34
	Grados Brix (°Bx)	6,89	0,37	6,60	7,30
	Dureza (lb)	14,56	1,46	13,33	16,17
	Almidón (%)	47,93	10,47	35,86	54,65
T2	Humedad (%)	70,76	1,92	68,61	72,29
	Grados Brix (°Bx)	7,30	0,36	7,00	7,70
	Dureza (lb)	14,83	0,44	14,50	15,33
	Almidón (%)	62,30	4,46	58,52	67,22
T3	Humedad (%)	71,75	0,82	70,97	72,60
	Grados Brix (°Bx)	7,04	0,13	6,97	7,20
	Dureza (lb)	14,83	0,50	14,33	15,33
	Almidón (%)	60,44	4,61	56,16	65,32
T4	Humedad (%)	73,39	1,91	71,60	75,41
	Grados Brix (°Bx)	6,71	0,51	6,17	7,17
	Dureza (lb)	14,72	0,62	14,10	15,33
	Almidón (%)	59,41	3,77	56,32	63,61

\*Tratamiento 1: Zona 1 y Dosis 1 / Tratamiento 2: Zona 1 y Dosis 2 / Tratamiento 3: Zona 2 y Dosis 1 / Tratamiento 4: Zona 2 y Dosis 2.

No se observaron diferencias entre los tratamientos para las variables humedad, grados Brix y dureza. Para el contenido de almidón medio se observó una diferencia entre el Tratamiento 1 ( $47,93\% \pm 10,47$ ) y el resto, el valor más cercano al Tratamiento 1 fue del Tratamiento 4 ( $59,41\% \pm 3,77$ ).

Todos los datos analizados siguieron una distribución normal dado que su nivel de significancia es mayor a 0,05.

Además, los datos no mostraron diferencias significativas para ninguno de los factores Zona, Dosis y su interacción ( $p > 0,05$ ), ver tabla 23. Otro estudio como el de Sanja (2015) muestra que el mayor contenido de sólidos solubles (grados Brix) se obtuvo para la dosis de 150 kg N/ha para la variedad Lady Rosetta con un contenido del 6%. En cuanto al contenido de almidón su mayor contenido se experimentó para la misma dosis de nitrógeno y también a esa dosis experimentó la menor dureza.

Tabla 23. ANOVA de dos factores en la parcela 1 según factor Zona y Dosis para humedad, grados Brix, dureza y almidón.

Variable	Factor	p valor
Humedad (%)	Zona	0,112
	Dosis	0,397
	Zona * Dosis	0,580
Grados Brix (°Bx)	Zona	0,336
	Dosis	0,859
	Zona * Dosis	0,117
Dureza (lb)	Zona	0,871
	Dosis	0,871
	Zona * Dosis	0,705
Almidón (%)	Zona	0,231
	Dosis	0,110
	Zona * Dosis	0,071

Los resultados para el estadístico descriptivo de la parcela 2 se observan en la tabla 24 siendo el factor Zona el único a analizar debido a que el factor Dosis en la parcela 2 es único (Dosis 1).

Tabla 24. Estadísticos descriptivos para parcela 2 según el factor Zona para humedad, grados Brix, dureza y almidón.

Factor	Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Zona 1	Humedad (%)	72,63	1,46	71,45	74,27
	Grados Brix (°Bx)	7,22	0,22	7,03	7,47
	Dureza (lb)	13,37	0,94	12,57	14,40
	Almidón (%)	64,39	1,65	62,89	66,16
Zona 2	Humedad (%)	71,43	0,40	70,99	71,77
	Grados Brix (°Bx)	7,18	0,13	7,03	7,27
	Dureza (lb)	14,61	0,59	14,00	15,17
	Almidón (%)	58,40	15,98	41,43	73,16

Como en la parcela 1 las únicas diferencias que se pueden observar son en el porcentaje de almidón entre la Zona 1 (64,39%  $\pm$  1,65) y la Zona 2 (58,40  $\pm$  15,98), teniendo la Zona 1 mayor porcentaje de almidón.

Todos los datos siguieron una distribución normal dado que su valor de significación es mayor a 0,05.

Las variables analizadas no presentan diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), ver tabla 25.

Tabla 25. ANOVA de dos factores en la parcela 2 según el factor Zona para humedad, grados Brix, dureza y almidón.

Variable	Factor	p valor
Humedad (%)	Zona	0,243
Grados Brix (°Bx)	Zona	0,778
Dureza (lb)	Zona	0,123
Almidón (%)	Zona	0,554

### 4.3. Índice vegetación NDVI

En cuanto al índice NDVI medio por fechas obtenido a partir de los puntos escogidos para la parcela 1 en la Zona 1 diferenciado por Dosis se obtuvo la tendencia mostrada en la figura 33.

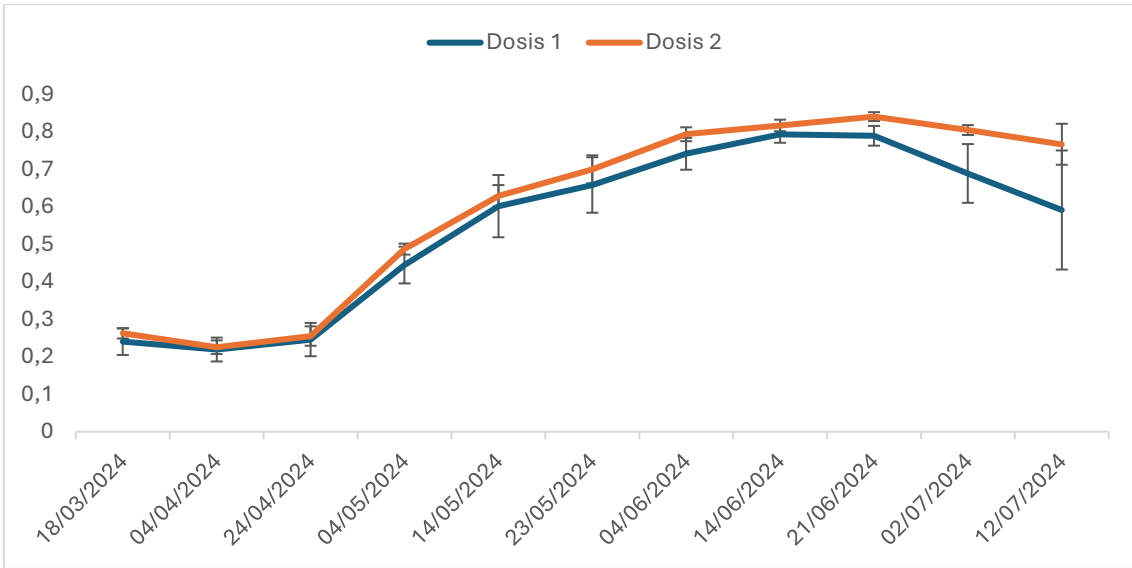


Figura 33. NDVI medio por fechas para parcela 1 y Zona 1 según factor Dosis.

Para la parcela 1 Zona 2 diferenciado por Dosis se obtuvo la siguiente figura 34.

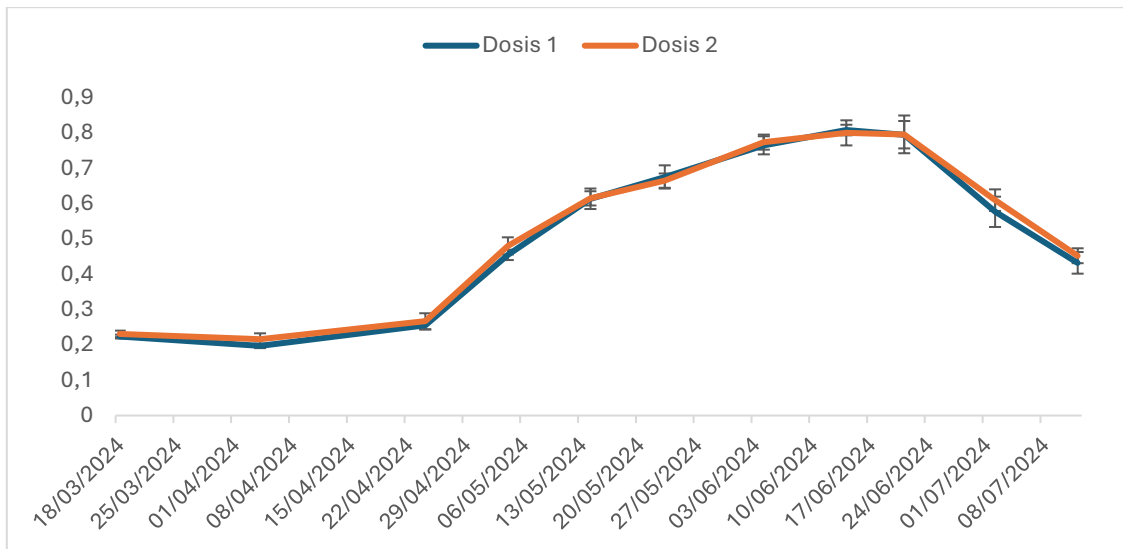


Figura 34. NDVI medio por fechas para parcela 1 y Zona 2 según Dosis.

No se observaron diferencias importantes para las fechas en ambos casos, menos para el 2 de julio y el 12 de julio en la parcela 1 y Zona 1 (ver figura 34). En esas dos fechas los datos no siguieron una distribución normal tal y como muestra la tabla 26, por tanto, se opta por un análisis Mann-Whitney.

Tabla 26. P-valor según prueba Shapiro-Wilk para parcela 1 según factor Zona y Dosis en las fechas 02-07 y 12-07.

Factor	Variables	
	NDVI 02-07	NDVI 12-07
Zona 1	<b>0,019</b>	<b>0,018</b>
Zona 2	0,574	0,826
Dosis 1	0,433	<b>0,006</b>
Dosis 2	<b>0,021</b>	<b>0,017</b>

Se observaron diferencias significativas para el factor Zona para ambas fechas siendo el p valor menor a 0,05 (ver tabla 27).

Tabla 27. Prueba Mann-Whitney para factor Zona en parcela 1 para las fechas 02-07 y 12-07.

Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	Variables	
	NDVI 02-07	NDVI 12-07
N total	20,00	20,00
U de Mann-Whitney	9,00	16,00
Estadístico de prueba	9,00	16,00
Error estándar	13,23	13,23
Significación (p-valor)	0,001	0,009

El factor Dosis no mostró diferencias significativas para ninguna de las dos fechas siendo el p valor mayor a 0,05 (tabla 28). Otros estudios como Băărăscu et al. (2016) muestran que una mayor dosis de nitrogenado para la variedad semi temprana Roclas aumenta los valores de NDVI.

Tabla 28. Prueba Mann-Whitney para factor Dosis en parcela 1 para las fechas 02-07 y 12-07.

Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	Variables	
	NDVI 02-07	NDVI 12-07
N total	20,00	20,00
U de Mann-Whitney	76,00	74,00
Estadístico de prueba	76,00	74,00
Error estándar	13,23	13,23
Significación (p-valor)	0,052	0,075

Estos datos de NDVI anteriormente mencionados para la parcela 1 podrían estar influenciados por la aparición de malas hierbas, mencionado anteriormente, en el cultivo para las fechas finales como se puede ver en la figura 35 que se mostró el NDVI para

la fecha del 02-07-2024 la diferencia entre zonas para la parcela 1. Se destacó ese mayor vigor en la Zona 1 (menos fértil) por la presencia de las malas hierbas anteriormente mencionadas.



Figura 35. NDVI para la fecha 02-07-2024 según el factor Zona en la parcela 1.

Para la fecha 12-07-2024 se puede ver la figura 36 que muestra el NDVI según zonas. Se destacó ese mayor vigor vegetativo en la Zona 1 (menos fértil) pudiendo estar relacionada con la mayor presencia de malas hierbas en esa zona.

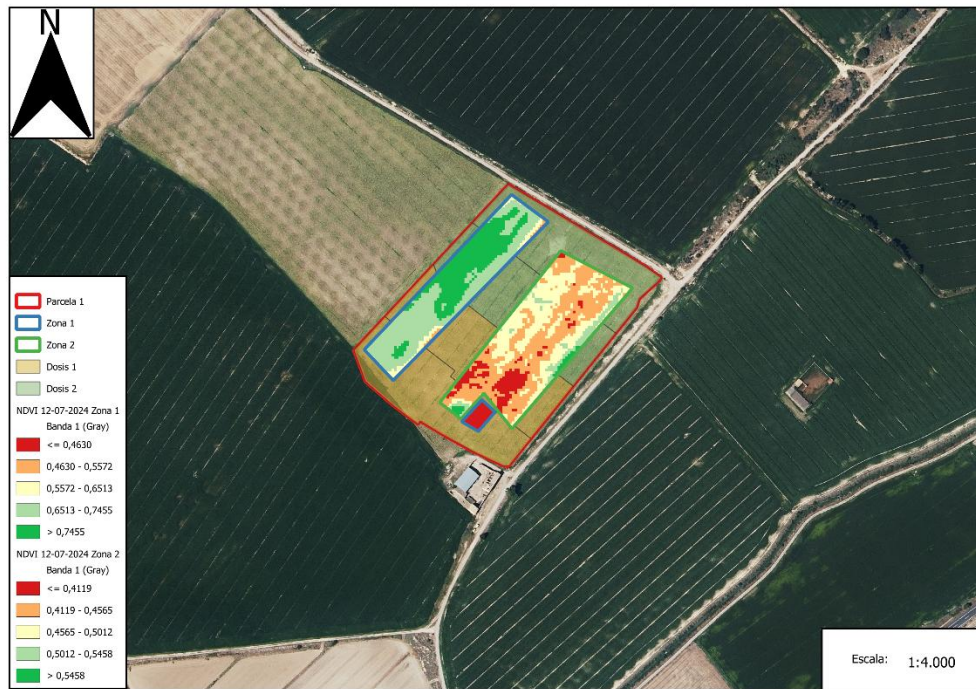


Figura 36. NDVI para la fecha 12-07-2024 según el factor Zona en la parcela 1.

Por último, para la parcela 2 con la misma Dosis 1 se obtuvo la siguiente figura 37.

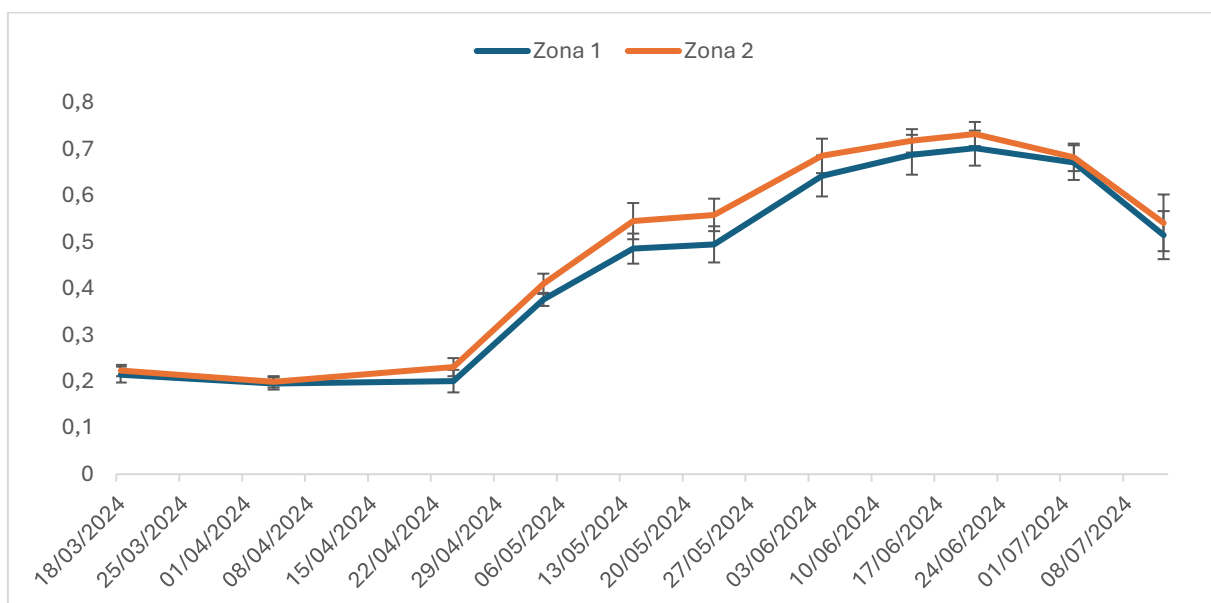


Figura 37. NDVI medio por fechas para parcela 2 y dosis 1 según zona.

En la figura 37 se observaron dos diferencias para las fechas del 14 de mayo y del 23 de mayo. En ambas fechas la Zona 2 presenta un valor de NDVI mayor al de la Zona

1. Los datos siguieron una distribución normal y ambas fechas muestran diferencias significativas al tener un nivel de significación menor a 0,05 (ver tabla 29).

Tabla 29. ANOVA de dos factores en la parcela 2 según el factor Zona para las fechas 14-05 y 23-05.

Variable	Factor	Sig. (p)
NDVI 14-05	Zona	<b>0,002</b>
NDVI 23-05	Zona	<b>0,001</b>

De una forma más visual se observa la figura 38 dónde se mostró la diferencia entre zonas para la fecha del 14-05-2024. En la figura 39 se observa lo mismo, pero para la fecha del 23-05-2024 y el vigor en la Zona 1 (menos fértil) parece menor.



Figura 38. NDVI para la fecha del 14-05-2024 según factor Zona en la parcela 2.



Figura 39. NDVI para la fecha del 23-05-2024 según factor Zona en la parcela 2.

Como comenta Sun et al. (2022) en su estudio la utilización de imágenes satelitales es una buena manera de predecir la cosecha, la emergencia del cultivo, la altura de la planta entre otras cosas con el índice de vegetación NDVI. Aunque hay muchas opciones una de la que más precisión tiene es el Planet scope. Para la predicción del rendimiento de patatas cogiendo imágenes en distintas etapas de crecimiento del cultivo encontraron que las etapas tempranas, iniciación a la tuberización, crecimiento vegetativo y crecimiento de la tuberización daban mejores resultados a la hora de predecir la futura cosecha.

#### 4.4. Seguimiento de parámetros in situ

Durante las visitas de campo se apuntaron los siguientes datos que se muestran en la tabla 30.

Tabla 30. Datos del seguimiento del cultivo en ambas parcelas.

Parcela	Fecha observación	% cobertura suelo	Daños al cultivo	Diámetro máximo tubérculo	Nº plantas	Nº estolones	Nº tubérculos
1	22/04/2024	20	No	0	1	2	0
1	25/04/2024	10	Hielo	0	1	2	2
1	30/04/2024	10	No	0	1	2	3
1	05/05/2024	40	No	15	1	2	7
1	12/05/2024	50	No	25	1	4	14
1	19/05/2024	70	No	35	1	2	13
1	26/05/2024	100	No	40	1	2	9
1	02/06/2024	100	No	45	1	2	9
1	09/06/2024	100	No	50	1	1	5
1	13/06/2024	80	No	60	1	2	6
1	20/06/2024	60	No	50	1	3	12
1	29/06/2024	60	No	60	1	2	8
1	05/07/2024	40	No	55	2	5	24
2	22/04/2024	10	No	0	1	1	0
2	25/04/2024	10	No	10	1	2	7
2	30/04/2024	10	No	0	1	2	2
2	05/05/2024	40	No	15	1	2	6
2	12/05/2024	50	No	20	1	2	7
2	19/05/2024	60	No	40	1	3	7
2	26/05/2024	100	No	45	1	1	5
2	02/06/2024	100	No	50	1	3	13
2	09/06/2024	100	No	60	1	1	3
2	13/06/2024	100	No	55	1	3	18
2	20/06/2024	100	No	70	1	1	4
2	29/06/2024	60	No	60	1	2	9
2	05/07/2024	50	No	60	1	4	15

## 4.5. Herramientas digitales

Las herramientas digitales utilizadas durante el cultivo fueron varias como Canopeo, X-Farm, RawData y Sativum. Todas ellas tuvieron sus beneficios y desventajas.

En cuanto a la herramienta Canopeo nos permitió poder determinar la cobertura del cultivo en el suelo de una forma muy sencilla. Únicamente subiendo una fotografía del cultivo en una zona.

En cambio, la plataforma RawData nos permitió subir tareas realizadas al cultivo de formas sencilla, añadiendo filtros, seleccionando varias parcelas, teniendo los productos actualizados directamente del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Puedes

añadir también el coste de realizar cada tarea y el precio de los productos utilizados. Aunque, a nivel técnico agronómico no incluye nada relevante. No tienes posibilidad de poder visualizar índices de vegetación de ningún tipo, no permite de forma sencilla la integración de una estación meteorológica. Además, no incluye una prueba gratuita, es una herramienta de pago.

La herramienta X-Farm también permite la introducción de las labores realizadas durante el cultivo. Cuenta con la implementación de la estación meteorológica. Se le puede añadir los costes de las labores realizadas para el posterior resultado económico. Con la modalidad de pago te realiza una recomendación de fertilización. Incluye la visualización de un mapa con imágenes satélite y la posibilidad de poder visualizar cualquier índice de vegetación pudiendo hacer una comparación entre fechas de un mismo campo, fechas distintas del mismo campo entre otras cosas (ver figura 40). En base a eso se pueden hacer mapas de dosificación variable de fertilizante (figura 41). Tiene una versión gratuita y luego complementos de pago.

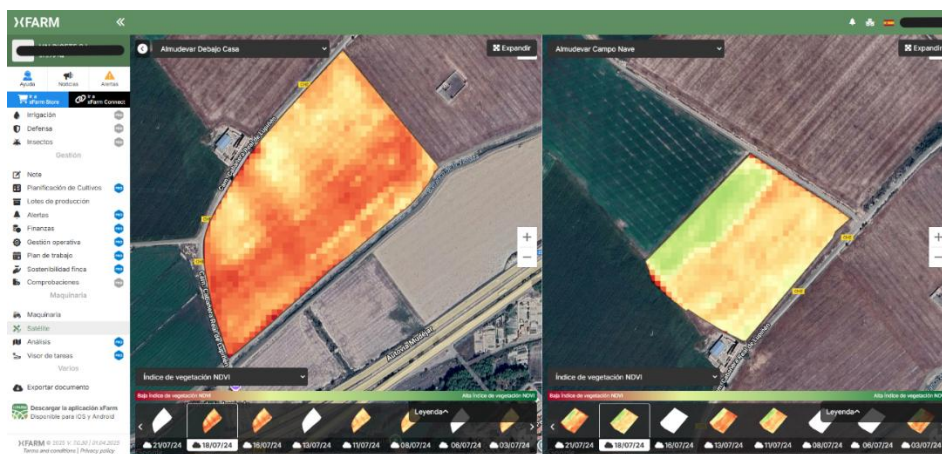


Figura 40. Comparación de índice NDVI a través de la plataforma X-Farm.

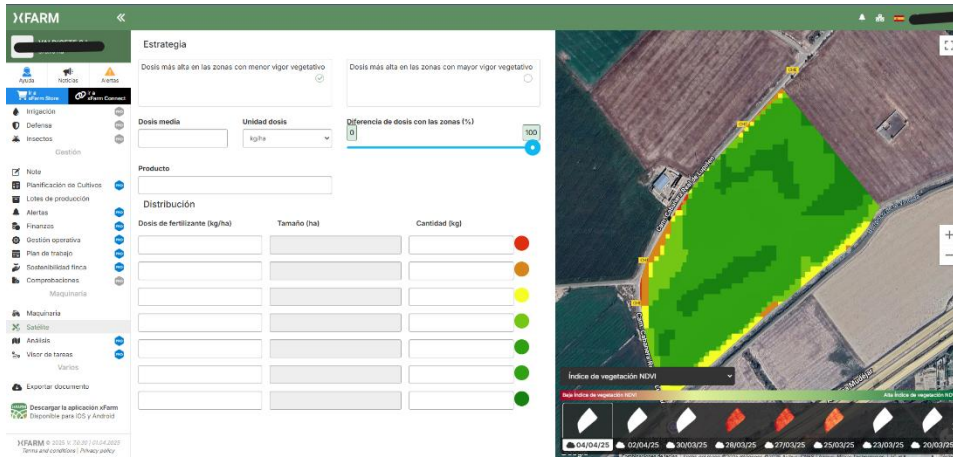


Figura 41. Realización de un mapa de dosificación variable a través de la plataforma X-Farm.

La plataforma Sativum es completamente gratuita y añade también la posibilidad de añadir las labores realizadas durante el cultivo. Se pueden añadir datos de analíticas del suelo para cada parcela, no de forma diferenciada por suelo dentro de cada parcela, y del agua de riego utilizada durante el cultivo. Añadiendo también datos como cultivos anteriores cultivados en la parcela y el cultivo y variedad plantada te calcula un balance de fertilización óptimo para tu cultivo. Es posible la visualización de índices de vegetación de cada parcela haciendo también comparativas entre fechas y entre parcelas en base a imágenes de satélite (ver figura 42). Incluye también la opción de realización de mapas de dosificación variable de fertilizante (Ver figura 43). En cuanto a la información climatológica proviene de la red de estaciones de la AEMET.

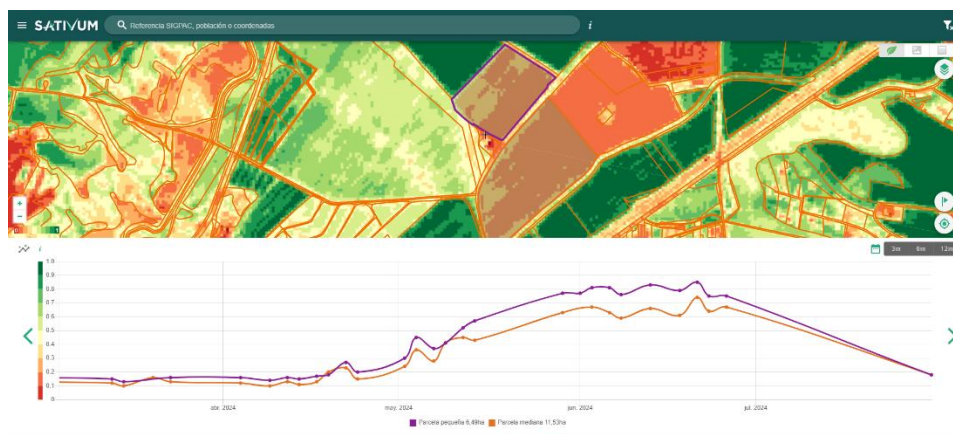


Figura 42. Comparativa del índice NDVI por fechas en la plataforma Sativum.

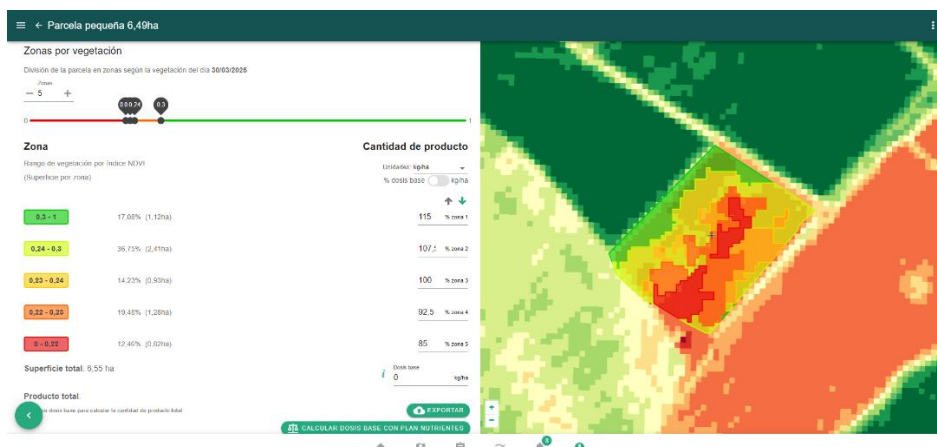


Figura 43. Creación de mapa de dosificación variable en la plataforma Sativum.

Por último, la herramienta QGIS es muy completa para el análisis de imágenes satelitales pudiendo utilizar cualquier imagen de cualquier precisión. Esto nos permite poder calcular cualquier índice de vegetación. En cuanto a la gestión de labores y costes de nuestra explotación no existe ninguna posibilidad. Es una herramienta gratuita, pero cuenta con la necesidad de formarse para la utilización de esta. Es ideal para el análisis con precisión de zonas diferenciadas de nuestro campo y posterior realización de un mapa de dosificación variable, por ejemplo.

En comparativa entre las plataformas Sativum y X-Farm se considera que la plataforma Sativum es una herramienta muy completa siendo además todas sus funcionalidades totalmente gratuitas. No es necesario el uso de otras herramientas en cuanto a gestión operacional y económica de la explotación ni para obtener informaciones técnicas de nuestro cultivo.

Según Cisternas et al. (2020) se desarrollan herramientas para controlar algunas actividades agrícolas y cada cultivo tiene su particularidad, presenta necesidades distintas. Por ello, se observa la creciente preocupación por el desarrollo de sistemas informáticos propios para poder utilizar la información obtenida. Además, destaca la poca comparación que existe entre herramientas dado que las inversiones son significativas para el agricultor sería necesario conocer las funcionalidades de cada herramienta.

Un estudio realizado por Guamán (2023) comenta también ese alto coste de implementación de las técnicas de agricultura de precisión, aunque cada vez sean más accesibles. También comenta la brecha del conocimiento técnico y la falta de infraestructura en el sector para su implementación en áreas rurales.

## 4.6. Análisis técnico-económico

El análisis económico según dosis del cultivo se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Análisis económico del cultivo según dosis.

Campaña	Factor	N aplicado (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	EUN*	Retorno económico parcial (€/ha)
2024	Dosis 1	280,34	44228,55	157,77	3.700,58 €
	Dosis 2	288,44	47487,87	164,64	4.436,22 €

\*EUN: eficiencia en el uso del nitrógeno.

Se observa una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en la Dosis 2 respecto a la Dosis 1. Además, se observa un mayor retorno económico parcial de la Dosis 2 con respecto a la Dosis 1 siendo esta diferencia de 735,63 €/ha. Esto se podría interpretar como una mayor dosis hasta los 163 kg/ha de abonado nitrogenado (30% N) en una tercera aplicación en cobertera daría un mayor rendimiento y por ende un mayor retorno económico dado que los costes estructurales se mantienen igual.

Para un análisis más detallado ver anexo 1.

## 5. Conclusiones

1. El presente estudio ha permitido evaluar la implementación de técnicas de agricultura de precisión y digitalización en un cultivo de patata para industria, en condiciones reales de regadío, dentro de una zona vulnerable a nitratos.
2. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de rendimiento ni en los atributos de calidad postcosecha entre las zonas de fertilidad ni entre las dosis de nitrógeno aplicadas. Sin embargo, sí se detectaron diferencias significativas en los valores de NDVI, atribuibles a la variabilidad intraparcelsaria y a la presencia de malas hierbas, especialmente en la parcela 1.
3. Las herramientas digitales empleadas (plataformas de gestión, sensores, NDVI, estaciones meteorológicas) resultaron eficaces para realizar el seguimiento del cultivo y la gestión de datos. En particular, el uso del índice NDVI permitió detectar zonas con distinto vigor, mostrando su utilidad como indicador de seguimiento en tiempo real.

4. El análisis técnico-económico reflejó una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) y un mayor retorno económico parcial (735,63 €/ha) para la dosis más alta, lo que podría justificar su uso en contextos similares.
5. El estudio ha demostrado que la dosificación variable de nitrógeno puede ser una herramienta válida para avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles, siempre que se acompañe de criterios técnicos sólidos y una adecuada interpretación de los datos.

## 6. Referencias bibliográficas

- Ahmad, U., y Sharma, L. (2023). A review of Best Management Practices for potato crop using Precision Agricultural Technologies. *Smart Agricultural Technology*, 4, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100220>
- Al-Gaadi, K. A., Hassaballa, A. A., Tola, E., Kayad, A. G., Madugundu, R., Ablewi, B., y Assiri, F. (2016). Prediction of potato crop yield using precision agriculture techniques. *PLOS ONE*, 11(9), 1-16. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0162219>
- Alonso Arce, F. (2002). *El cultivo de la patata*. (2a ed). Ediciones Mundi-Prensa.
- Bărăscu, N., Duda, M. M., y Olteanu, G. (2016). Study of Dynamics SPAD and NDVI Values of Potato Plants According to the Differentiated Fertilization. *Bulletin UASVM series Agriculture*, 73(1), 5-14. [https://www.researchgate.net/publication/303907772\\_Study\\_of\\_Dynamics\\_SPAD\\_and\\_NDVI\\_Values\\_of\\_Potato\\_Plants\\_According\\_to\\_the\\_Differentiated\\_Fertilization](https://www.researchgate.net/publication/303907772_Study_of_Dynamics_SPAD_and_NDVI_Values_of_Potato_Plants_According_to_the_Differentiated_Fertilization)
- Borruey Aznar, A. (1993). Cultivares de patata para la industria del frito: Resultado de los ensayos de 1990 y 1991. *Informaciones Técnicas*, 5, 185-218.
- Borruey Aznar, A., y Cotrina Vila, F. (1998). El cultivo de la patata. *Informaciones técnicas*, 55, 1-20.
- Cambouris, A. N., Zebarth, B. J., Ziadi, N., & Perron, I. (2014). Precision agriculture in potato production. *Potato Research*, 57, 249-262. <https://doi.org/10.1007/s11540-014-9266-0>
- Carpio Santos, L. K. (2018). El uso de la tecnología en la agricultura. *PRO-SCIENCES: REVISTA DE PRODUCCIÓN, CIENCIAS E INVESTIGACIÓN*, 2(14), 25-32. [https://www.researchgate.net/publication/352641035\\_El\\_uso\\_de\\_la\\_tecnologia\\_en\\_la\\_agricultura](https://www.researchgate.net/publication/352641035_El_uso_de_la_tecnologia_en_la_agricultura)
- Cisternas, I., Velásquez, I., Caro, A., y Rodríguez, A. (2020). Systematic literature review of implementations of precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, (176), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105626>
- Díaz García Cervigón, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión* [Trabajo de Fin de Máster, Universidad Complutense de Madrid].
- García González de Lena, G. (2014). *Guía de cultivo de la patata para fresco en Asturias*. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA).
- Ghazouani, H., Capodici, F., Ciraolo, G., Maltese, A., Rallo, G., & Provenzano, G. (2017). Potential of Thermal Images and Simulation Models to Assess Water and Salt Stress: Application to Potato Crop in Central Tunisia. *Chemical Engineering Transactions*, 58, 709-714. <https://doi.org/10.3303/CET1758119>
- Giletto, C. M., Díaz, C., Rattín, J. E., Echeverría, H. E., & Caldiz, D. O. (2010). Índice verde como estimador del estatus de nitrógeno en variedades de papa para industria. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1), 142-149. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000100015>

- Gómez, D., Salvador, P., Sanz, J., & Casanova, J. L. (2019). Potato Yield Prediction Using Machine Learning Techniques and Sentinel 2 Data. *Remote Sensing*, 11(15), 1745. <https://doi.org/10.3390/RS11151745>
- Guamán Rivera, S. A. (2023). Aplicación de Tecnologías en la Agricultura de Precisión mediante Evidencia de Fuentes Científicas. *Horizon Nexus Journal*, 1(2), 1-13. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n2/14>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Instituto Aragonés de Estadística (IAEST). (2025). *Instituto Aragonés de Estadística (IAEST)*. <https://www.aragon.es/organismos/departamento-de-presidencia-economia-y-justicia/direccion-general-de-politica-economica/instituto-aragones-de-estadistica-iaest>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2025). Instituto Geográfico Nacional. <https://www.ign.es/web/ign/portal>
- International Society of Precision Agriculture (ISPA). (2025). *Precision Ag Definition*. <https://www.ispag.org/about/definition>
- Jiménez Aguirre, M. T. (2013). *Cartografía de suelos de la zona regable de Almudévar (Huesca) para la evaluación hidrológica de la modernización del regadío* [Trabajo Final de Máster, Universidad de Zaragoza].
- Kumar, M., Singh, P., Nare, B., & Kumar, S. (2020). Precision Agriculture in Potato Production. *Potato Science and Technology for Sub-Tropics*, 3, 155-168.
- Lemenkova, P. (2020). Hyperspectral Vegetation Indices Calculated by Qgis Using Landsat Tm Image: a Case Study of Northern Iceland. *Advanced Research in Life Sciences*, 4(1), 70-78. <https://doi.org/10.2478/arls-2020-0021>
- Lizana, C., Sandaña, P., Behn, A., Ávila-Valdés, A., Ramírez, D., Soratto, R., & Campos, H. (2020). Potato. En V. O., Sadras y D. E., Calderini (Eds.), *Crop Physiology Case Histories for Major Crops* (pp. 550-587). Academic Press.
- Meijer Potato. (2025). Variedades-Variedades de chips. <https://www.meijerpotato.com/es/variedades/variedades-de-chips/>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). (2025a). *Patata*. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/patata/>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). (2025b). *Plantadoras de Patatas*. <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/plantad-patatas.aspx>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). (2025c). *Publicaciones fertilizantes*. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/Publicaciones-fertilizantes.aspx>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). (2023a). Cuaderno de campo digital: claves para su implantación. *CENTRO DE COMPETENCIAS DIGITALES*. <https://centrocompetencias.mapa.es/blog/?p=231>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). (2023b). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE): Encuesta de Marco de Áreas de*

España. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>

Nawaz, A., Ali, S. W., Irshad, S., Irshad, F., Ahmed, A., Sharmeen, Z., & Khan, I. (2020). Effect of peeling and unpeeling on yield, chemical structure, morphology and pasting properties of starch extracted from three diverse potato cultivars of Pakistan. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2344-2351. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14412>

Naciones Unidas. (2025). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Pearson, R. L., & Miller, L. D. (1972). Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. Proceedings of the 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment II, 1355-1379.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Scheel, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium*.

Rousselle, P., Robert, Y., Crosnier, J. C., y Mateo Box, J.M. (Ed.). (1999). *La patata*. Ediciones Mundi-Prensa.

Salvador, P., Gómez, D., Sanz, J., & Casanova, J. L. (2020). Estimation of Potato Yield Using Satellite Data at a Municipal Level: A Machine Learning Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), 343. <https://doi.org/10.3390/IJGI9060343>

Sanja, P. (2015). *Influence of nitrogen on growth yield and quality of some potato varieties* [Master of Science in Agronomy, Sher-e-Bangla Agricultural University].

Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR). (2025). Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR). <https://servicio.mapa.gob.es/websiar/>

Sun, C., Zhou, J., Ma, Y., Xu, Y., Pan, B., & Zhang, Z. (2022). A review of remote sensing for potato traits characterization in precision agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.871859>

Trawczyński, C. (2021). Assessment of mineral nitrogen fertilization of early potato varieties in integrated production. *Journal of Elementology*, 26(1), 109-123. <https://doi.org/10.5601/jelem.2020.25.4.2066>

Valero Gaspar, T., Rodríguez Alonso, P., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J. M., & Varela Moreiras, G. (2018). Patata. *La Alimentación Española: características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta*. <https://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/2018/libro-la-alimentacion-espanola.pdf>

Van Rijn Semillas SL. (2025). *Variedades*. <https://vanrijnsemillas.es/variedades>

Yartu González, M. E. (2020). *Riego sostenible en el cultivo de la patata mediante el uso de sensores e imágenes espectrales* [trabajo de fin de máster, universidad de burgos].

## Anexos

### Anexo 1. Estudio económico

Para realizar el estudio económico del cultivo se han utilizado los datos obtenidos por la zona de Almudévar (Huesca).

En cuanto a los gastos asociados a los trabajos se pueden ver en la tabla I.1. Estos gastos son los gastos que se pagan habitualmente por la zona.

*Tabla I.1. Gastos de labores realizadas en el cultivo.*

Labores	Superficie (ha)	Precio unitario (€/ha)	Nº veces	Total (€)	€/ha
Chisel	18,01	63	1	1.134,63 €	63,00 €
Subsulador	18,01	70	1	1.260,70 €	70,00 €
Semichisel	18,01	65	1	1.170,65 €	65,00 €
Pulverizar	18,01	20	2	720,40 €	40,00 €
Inyectar	18,01	20	5	1.801,00 €	100,00 €
Rotovator + acaballonado	18,01	80	1	1.440,80 €	80,00 €
Sembrar	18,01	150	1	2.701,50 €	150,00 €
Cosechar	18,01	1500	1	27.015,00 €	1.500,00 €
Triturar matas	18,01	45	1	810,45 €	45,00 €
Regar	114269	0,01	1	1.142,69 €	63,45 €
<b>Total</b>				<b>39.197,82 €</b>	<b>2.176,45 €</b>

En la tabla I.2 se pueden ver los gastos necesarios de productos fitosanitarios, fertilizantes entre otros. Para llevar a cabo el cultivo.

Tabla I.232. Gastos asociados a fertilizantes, fitosanitarios y semilla.

Concepto	Cantidad (L o Kg)	Precio unitario (€)	Total (€)	€/ha
Patata siembra Lady Rosetta 28/35 (KG)	20000	1,25	25.000,00 €	1.388,12 €
NPK 8-20-5 (KG)	8140	0,64	5.209,60 €	289,26 €
Impact Zero Nitrosulfato amónico 26 (KG)	7230	0,62	4.482,60 €	248,90 €
Impact Zero Ngreen (KG)	8481,38	0,52	4.401,84 €	244,41 €
Patent Kali (KG)	9005	0,59	5.312,95 €	295,00 €
Basagran L (L)	8	141,05	1.128,40 €	62,65 €
Bifilene (KG)	6	48,84	293,04 €	16,27 €
Epsó Microtop (KG)	175	0,75	131,25 €	7,29 €
Lexor 25 (L)	2	52,71	105,42 €	5,85 €
Mikal Plus (KG)	8	120,83	966,66 €	53,67 €
Ortiva (L)	2	170,00	340,00 €	18,88 €
pH Non Spum (L)	4	18,17	72,68 €	4,04 €
Quick Wet (L)	2	47,56	95,12 €	5,28 €
Sencor SC 600 (L)	1	47,52	47,52 €	2,64 €
Supractyl Ursus (L)	70	18,20	1.274,00 €	70,74 €
Volare (L)	6	200,44	1.202,66 €	66,78 €
<b>Total</b>			<b>50.063,75 €</b>	<b>2.779,77 €</b>

Los gastos del agua de riego como el cánon han sido los facilitados por la Comunidad de Regantes.

Otros gastos acometidos durante el cultivo se observan en la tabla I.3.

Tabla I.3. Otros gastos asociados al cultivo.

Otros gastos	Cantidad	Precio unitario (€)	Total (€)	€/ha
Seguro	18,01	126,62	2.280,47 €	126,62 €
Agua riego	114269	0,055	6.284,78 €	348,96 €
Cánon agua	18,01	22,29	401,44 €	22,29 €
Renta	18,01	1000,00	18.010,00 €	1.000,00 €
Estación meteorológica	1	1064,80	212,96 €	11,82 €
Programa RawData	1	1009,80	201,96 €	11,21 €
<b>Total</b>			<b>27.391,61 €</b>	<b>1.520,91 €</b>

El coste de la estación meteorológica se ha dividido en una amortización anual lineal a 5 años, además que se podría dividir para más hectáreas, ya que no solo se puede utilizar para las parcelas de ensayo. En el caso del programa de gestión RawData exactamente lo mismo.

La tabla I.4 nos muestra el porcentaje de gasto por categorías.

Tabla I.4. Gastos por categorías asociados al cultivo.

Labores	Semilla	Fertilizantes	Fitosanitarios	Tecnología (AP)	Otros
34%	21%	18%	4%	0,36%	23%

El beneficio neto final del cultivo se puede ver en la tabla I.5.

Tabla I.5. Beneficio neto del cultivo.

Rendimiento (kg totales)	647.625,00
Precio percibido (€/kg)	0,23 €
Ingresos totales (€)	148.953,75 €
Gastos totales (€)	116.653,18 €
<b>Beneficio neto (€)</b>	<b>32.300,57 €</b>
<b>Beneficio neto (€/ha)</b>	<b>1.793,48 €</b>

## Anexo 2. Consumo agua riego

En la tabla II.1 se observa el consumo de agua de riego por el cultivo en ambas parcelas.

Tabla II.1. Consumo de agua de riego durante el crecimiento del cultivo en ambas parcelas.

	Parcela 1	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 2
Fecha	Tiempo (min)	Agua (m <sup>3</sup> )	Tiempo (min)	Agua (m <sup>3</sup> )
09/04/2024	0	0	0	0
10/04/2024	0	0	0	0
11/04/2024	0	0	0	0
12/04/2024	0	0	0	259
13/04/2024	0	0	0	0
14/04/2024	0	0	0	0
15/04/2024	0	0	0	0
16/04/2024	0	0	0	0
17/04/2024	0	0	0	0
18/04/2024	0	0	900	1620
19/04/2024	0	0	0	0
20/04/2024	480	1786	0	0
21/04/2024	0	0	0	0
22/04/2024	0	0	0	0
23/04/2024	0	0	0	0
24/04/2024	0	0	0	0
25/04/2024	0	0	0	0
26/04/2024	0	0	0	0
27/04/2024	0	0	0	0
28/04/2024	0	0	0	0
29/04/2024	0	0	0	0
30/04/2024	0	160	0	0
01/05/2024	0	0	0	0
02/05/2024	0	0	0	0
03/05/2024	240	648	360	972
04/05/2024	240	1469	360	2203
05/05/2024	0	0	0	0
06/05/2024	0	0	0	0
07/05/2024	0	0	0	0
08/05/2024	30	112	45	167
09/05/2024	240	893	360	1339
10/05/2024	0	0	0	198
11/05/2024	240	893	360	1339
12/05/2024	240	893	360	1339
13/05/2024	0	0	0	0
14/05/2024	0	1220	0	0

15/05/2024	300	810	450	1215
16/05/2024	0	0	0	1227
17/05/2024	300	810	450	1215
18/05/2024	0	0	0	1234
19/05/2024	300	810	450	1215
20/05/2024	0	0	0	0
21/05/2024	0	0	0	367
22/05/2024	240	792	360	1188
23/05/2024	0	0	0	0
24/05/2024	0	0	0	0
25/05/2024	40	216	60	324
26/05/2024	300	450	450	675
27/05/2024	300	1116	450	1674
28/05/2024	0	0	0	0
29/05/2024	300	1116	450	1674
30/05/2024	0	0	0	0
31/05/2024	0	0	0	0
01/06/2024	300	1044	450	1566
02/06/2024	300	1044	450	1566
03/06/2024	600	1368	900	2052
04/06/2024	0	0	0	0
05/06/2024	300	954	450	1431
06/06/2024	0	0	0	0
07/06/2024	300	954	450	1431
08/06/2024	0	0	0	0
09/06/2024	300	1080	450	1620
10/06/2024	300	810	450	1809
11/06/2024	0	0	0	0
12/06/2024	300	810	450	1809
13/06/2024	0	0	0	0
14/06/2024	300	810	450	1809
15/06/2024	0	0	0	0
16/06/2024	300	810	450	1809
17/06/2024	300	810	450	1809
18/06/2024	0	0	0	0
19/06/2024	300	810	450	1809
20/06/2024	0	0	0	0
21/06/2024	300	810	450	1809
22/06/2024	0	0	0	0
23/06/2024	0	0	0	0
24/06/2024	0	0	0	0
25/06/2024	360	1015	540	2074
26/06/2024	0	0	0	0
27/06/2024	360	1015	540	2074
28/06/2024	0	0	0	0
29/06/2024	360	1015	540	2074

30/06/2024	480	1296	720	1944
01/07/2024	0	0	0	0
02/07/2024	360	1015	540	2074
03/07/2024	0	0	0	0
04/07/2024	360	1015	540	2074
05/07/2024	0	0	0	0
06/07/2024	360	1015	540	2074
07/07/2024	360	1015	540	2074
08/07/2024	0	0	0	0
09/07/2024	360	1015	540	2074
10/07/2024	0	0	0	0
11/07/2024	360	1015	540	2074
12/07/2024	0	0	0	0
13/07/2024	360	1015	540	2074
14/07/2024	360	1015	540	2074
15/07/2024	0	0	0	0
16/07/2024	360	1015	540	2074
17/07/2024	0	0	0	0
18/07/2024	360	1015	540	2074
19/07/2024	0	0	0	0
20/07/2024	0	0	540	486
21/07/2024	0	0	0	0
22/07/2024	0	0	0	0
23/07/2024	0	0	0	0
24/07/2024	0	0	0	0
25/07/2024	0	0	0	0
26/07/2024	0	0	0	0
27/07/2024	90	308	0	0
<b>Consumo total (m<sup>3</sup>)</b>		<b>41108</b>		<b>73161</b>
<b>Consumo (m<sup>3</sup>/ha)</b>		<b>6334</b>		<b>6345</b>

### Anexo 3. Análisis de calidad

La empresa PepsiCo se encargó de recoger unas muestras de patata para su posterior análisis de la calidad de fritura que se muestra en la figura III.1 para la parcela 1 y en la figura III.2 para la parcela 2.



Figura III.1. Muestra fritura para parcela 2.



Figura III.2. Muestra fritura para parcela 1.

Además, se cogieron muestras para obtener el porcentaje de materia seca (ver tabla III.1).

*Tabla III.1. Materia seca de las muestras (%) analizadas por PepsiCo.*

<b>Nº muestra</b>	<b>Materia seca (%)</b>
1	25,06
2	22,54
3	25,48
4	23,80
5	24,01
6	25,27
7	24,01
8	25,06
9	24,22
10	23,80
11	22,96
12	22,96
13	23,80
14	24,22
15	21,70
16	24,85
17	24,43
18	24,85