



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



TFG del Grado en Ingeniería Informática

**API REST en .NET para la
Gestión de Explotaciones
Agrícolas y Planificación de
Rotación de Cultivos
Documentación Técnica**



Presentado por Borja Blanco Porres
en Universidad de Burgos — 15 de enero de
2026
Tutor: Carlos Cambra Baseca

Índice general

Índice general	i
Índice de figuras	iii
Índice de tablas	iv
Plan de Proyecto Software	1
A.1. Introducción	1
A.2. Planificación temporal	2
A.3. Estudio de viabilidad	3
Especificación de Requisitos	7
B.1. Introducción	7
B.2. Objetivos generales	7
B.3. Catálogo de requisitos	8
B.4. Especificación de requisitos	9
Especificación de diseño	11
C.1. Introducción	11
C.2. Diseño procedimental	12
C.3. Diseño arquitectónico	13
Documentación técnica de programación	15
D.1. Introducción	15
D.2. Estructura de directorios	15
D.3. Manual del programador	16
D.4. Compilación, instalación y ejecución	18

D.5. Pruebas del sistema	18
Documentación de usuario	19
E.1. Introducción	19
E.2. Requisitos de usuario	19
E.3. Instalación	20
E.4. Manual del usuario	20
Anexo de sostenibilización curricular	25
F.1. Introducción	25
F.2. Contribución a la sostenibilidad ambiental	25
F.3. Impacto en la sostenibilidad social	26
F.4. Contribución a la sostenibilidad económica	26
F.5. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	27
F.6. Conclusión	27
Bibliografía	29

Índice de figuras

E.1. Captura del login de la aplicación	20
E.2. Captura de la pantalla para generar propuestas de cultivos	22
E.3. Captura de la pantalla para buscar una parcela en SIGPAC directamente	23

Índice de tablas

A.1. Planificación temporal del proyecto	2
A.2. Estimación de costes de desarrollo del proyecto	4

Plan de Proyecto Software

A.1. Introducción

El presente apéndice describe la planificación general seguida para el desarrollo del proyecto software, así como las decisiones adoptadas durante su ejecución. Este proyecto se enmarca dentro del ámbito académico del Trabajo Fin de Grado, pero ha sido concebido desde el inicio con una clara orientación práctica y aplicabilidad real en el sector agrícola.

El origen del proyecto surge a partir de la observación directa de los procesos que realizan agricultores reales en su día a día, concretamente en el entorno familiar del autor. La gestión de parcelas, recintos, históricos de cultivo y el cumplimiento de la normativa de la Política Agraria Común (PAC)^[2] se realiza habitualmente de forma manual, apoyándose en documentos en papel, hojas de cálculo independientes y consultas reiteradas al visor SIGPAC. Esta forma de trabajo resulta poco eficiente, propensa a errores y muy dependiente de la memoria del agricultor o de asesorías externas.

Desde el punto de vista académico, el proyecto plantea un reto multidisciplinar, combinando el desarrollo de software backend, el diseño de bases de datos, la integración de inteligencia artificial y la comprensión de una normativa agrícola compleja y cambiante. Por ello, se ha seguido una planificación flexible, adaptada a la evolución progresiva del proyecto y a los descubrimientos realizados durante el desarrollo.

Este apéndice detalla la planificación temporal, así como el estudio de viabilidad técnica, económica y operativa del sistema desarrollado.

A.2. Planificación temporal

La planificación temporal del proyecto se ha estructurado en distintas fases, siguiendo una aproximación iterativa e incremental. Aunque inicialmente se definió una planificación aproximada, esta fue adaptándose a medida que se profundizaba en el dominio del problema y se detectaban nuevas necesidades funcionales.

En una primera fase se realizó un análisis del problema, centrado en comprender el funcionamiento del sistema SIGPAC, la estructura de los datos PAC y los requisitos normativos asociados a los ecorregímenes y las BCAM. Esta fase fue clave para definir correctamente el alcance del proyecto y evitar una solución excesivamente simplificada.

Posteriormente se abordó el diseño del sistema, definiendo el modelo de datos, las entidades principales (parcelas, recintos, campañas, propuestas de cultivo) y la arquitectura general basada en una API REST. Durante esta etapa se tomaron decisiones importantes, como la separación entre parcelas y recintos o el almacenamiento de históricos por campaña.

La fase de desarrollo constituyó el bloque principal del proyecto. En ella se implementaron progresivamente las funcionalidades del sistema, comenzando por la importación de datos desde Excel, la gestión de parcelas y recintos, y la autenticación de usuarios. A continuación, se integró la generación de propuestas de cultivo mediante inteligencia artificial y la exportación de resultados a formato Excel.

Finalmente, se dedicó una fase a pruebas, validación y mejora del sistema, utilizando datos reales y escenarios prácticos proporcionados por agricultores y una técnica agrónoma. Esta fase permitió detectar errores, mejorar la usabilidad y ajustar el comportamiento del sistema a situaciones reales no previstas inicialmente.

Fase	Duración estimada	Resultados principales
Análisis	2 semanas	Definición del problema y alcance
Diseño	2 semanas	Modelo de datos y arquitectura
Desarrollo	8 semanas	API funcional e integración IA
Pruebas y validación	2 semanas	Correcciones y mejoras

Tabla A.1: Planificación temporal del proyecto

A.3. Estudio de viabilidad

Viabilidad técnica

Desde el punto de vista técnico, el proyecto es completamente viable utilizando tecnologías actuales y ampliamente consolidadas. La elección de una arquitectura basada en una API REST desarrollada con ASP.NET Core permite una clara separación entre la lógica de negocio y la capa de presentación, facilitando futuras ampliaciones del sistema, como el desarrollo de aplicaciones móviles o la integración con plataformas externas.

El uso de Entity Framework Core^[7] simplifica la gestión de la base de datos y reduce el riesgo de errores en el acceso a datos. Por su parte, PostgreSQL ofrece robustez, escalabilidad y soporte para estructuras de datos complejas, lo que resulta adecuado para almacenar información histórica por campañas.

Uno de los principales retos técnicos fue la integración de inteligencia artificial, ya que la salida del modelo debía ser estructurada, interpretable y consistente. Para ello, se optó por un prompt estructurado en formato JSON, permitiendo procesar automáticamente la respuesta y almacenarla en la base de datos sin ambigüedades.

En conjunto, las tecnologías seleccionadas permiten desarrollar el sistema sin limitaciones técnicas significativas y garantizan su mantenibilidad a largo plazo.

Viabilidad económica

El análisis de viabilidad económica tiene como objetivo evaluar los costes asociados al desarrollo, implantación y uso del sistema, así como los beneficios potenciales que puede aportar a los usuarios finales.

Aunque el proyecto se ha desarrollado en un contexto académico, resulta relevante realizar una estimación económica que permita valorar su aplicabilidad real en un entorno profesional.

Actividad	Horas estimadas	Coste/hora (€)	Coste total (€)
Análisis y documentación	60	20	1.200
Diseño del sistema	50	20	1.000
Desarrollo backend	180	20	3.600
Integración de IA	60	20	1.200
Pruebas y validación	50	20	1.000
Total estimado	400		8.000

Tabla A.2: Estimación de costes de desarrollo del proyecto

Costes de desarrollo

Costes de infraestructura y software El proyecto se apoya fundamentalmente en tecnologías de código abierto, por lo que no existen costes asociados a licencias de software. El entorno de desarrollo, el framework backend, la base de datos y las herramientas de control de versiones son de uso gratuito.

En cuanto a la infraestructura, el sistema puede ejecutarse en un servidor local o en servicios de alojamiento de bajo coste. Para un escenario básico, el coste mensual de alojamiento podría situarse entre 10 y 20 euros, dependiendo del proveedor y de la carga de uso.

La integración de inteligencia artificial mediante la API de Google Gemini presenta un coste variable en función del número de llamadas realizadas. No obstante, al tratarse de una única llamada por campaña y explotación, el coste por usuario resulta reducido y asumible.

Beneficios económicos Desde el punto de vista de los beneficios, el sistema desarrollado permite reducir significativamente el tiempo dedicado a tareas administrativas, como la consulta del histórico de parcelas, la revisión manual de documentos PAC o la generación de propuestas de cultivo.

Además, el uso de herramientas automatizadas puede disminuir la dependencia de asesorías externas, cuyo coste suele ser elevado y recurrente. Incluso en casos en los que se mantenga el asesoramiento profesional, el sistema actúa como una herramienta de apoyo que mejora la eficiencia del proceso.

Por tanto, a medio plazo, el ahorro de tiempo y costes compensa ampliamente la inversión inicial estimada para el desarrollo del sistema.

Conclusión económica En conclusión, el proyecto presenta una viabilidad económica elevada, con unos costes de desarrollo asumibles y unos costes de explotación reducidos. La relación coste-beneficio resulta favorable, especialmente para explotaciones agrícolas de pequeño y mediano tamaño, que pueden beneficiarse de la digitalización sin necesidad de realizar grandes inversiones.

Viabilidad operativa

Desde el punto de vista operativo, el sistema se adapta fácilmente a la forma de trabajo habitual de los agricultores. La importación de datos desde Excel permite reutilizar información ya existente, evitando la necesidad de introducir todos los datos manualmente desde cero.

Durante el análisis del problema se detectó que muchos agricultores mantienen el historial de sus parcelas en documentos en papel o en múltiples hojas de cálculo, lo que obliga a realizar búsquedas manuales línea por línea para localizar información de campañas anteriores. Asimismo, es habitual tener que consultar el visor SIGPAC de forma individual para cada parcela, debido a la dificultad de recordar a qué referencia corresponde cada terreno.

El sistema desarrollado centraliza toda esta información, permitiendo acceder de forma rápida al histórico completo de una parcela y enlazar directamente con el visor SIGPAC^[8]. Esto mejora significativamente la operatividad diaria y reduce la carga cognitiva del usuario.

Especificación de Requisitos

B.1. Introducción

El presente apéndice recoge la especificación de requisitos del sistema desarrollado, cuyo objetivo es facilitar la gestión de parcelas agrícolas y la planificación de cultivos en el contexto de la Política Agraria Común (PAC).

La especificación de requisitos permite definir de forma clara y estructurada qué funcionalidades debe ofrecer el sistema, así como las restricciones y condiciones bajo las que debe operar. Este documento sirve como referencia tanto para el desarrollo del sistema como para su validación posterior, asegurando que las necesidades de los usuarios finales quedan correctamente cubiertas.

El sistema está orientado principalmente a agricultores y técnicos agrarios que gestionan explotaciones agrícolas y necesitan consultar información histórica, cumplir con los requisitos normativos de la PAC y optimizar la planificación de campañas futuras.

B.2. Objetivos generales

Los objetivos generales del sistema son los siguientes:

- Facilitar la gestión digital de parcelas y recintos agrícolas asociados a una explotación.
- Centralizar la información histórica de cultivos por campaña y parcela.
- Automatizar la importación de datos procedentes de documentos oficiales de la PAC.

- Asistir al agricultor en la toma de decisiones mediante la generación de propuestas de cultivo basadas en inteligencia artificial.
- Verificar el cumplimiento de los criterios de la PAC, incluyendo la condicionalidad reforzada y los ecorregímenes.
- Reducir el tiempo dedicado a tareas administrativas y a la consulta manual de documentación en papel.
- Proporcionar una interfaz clara y accesible para la consulta y exportación de información.

B.3. Catálogo de requisitos

Requisitos funcionales

- **RF-01:** El sistema debe permitir la autenticación de usuarios mediante credenciales seguras.
- **RF-02:** El sistema debe permitir la importación de datos PAC desde archivos Excel oficiales.
- **RF-03:** El sistema debe gestionar parcelas y recintos asociados a un usuario.
- **RF-04:** El sistema debe almacenar el histórico de cultivos por parcela y campaña.
- **RF-05:** El sistema debe generar propuestas de cultivo para campañas futuras mediante inteligencia artificial.
- **RF-06:** El sistema debe permitir seleccionar los ecorregímenes y cultivos objetivo.
- **RF-07:** El sistema debe validar el cumplimiento de los criterios de la PAC.
- **RF-08:** El sistema debe permitir guardar propuestas en estado de borrador.
- **RF-09:** El sistema debe exportar propuestas de cultivo a formato Excel.

- **RF-10:** El sistema debe permitir la visualización de parcelas en el visor SIGPAC.
- **RF-11:** El sistema debe permitir asignar nombres personalizados a las parcelas.

Requisitos no funcionales

- **RNF-01:** El sistema debe garantizar la seguridad de los datos mediante autenticación y autorización.
- **RNF-02:** El sistema debe ofrecer tiempos de respuesta adecuados para consultas habituales.
- **RNF-03:** El sistema debe ser accesible desde cualquier navegador web moderno.
- **RNF-04:** El sistema debe ser escalable para soportar un aumento de usuarios y explotaciones.
- **RNF-05:** El sistema debe facilitar la mantenibilidad y evolución futura.

B.4. Especificación de requisitos

RF-02 Importación de datos PAC desde Excel

El sistema debe permitir la importación de datos procedentes de archivos Excel oficiales de la PAC. Estos archivos contienen información relativa a parcelas, recintos y cultivos declarados en distintas campañas.

El sistema debe ser capaz de procesar archivos con múltiples hojas, identificando correctamente aquella que contiene los datos relevantes. Durante el proceso de importación, los datos deben validarse para evitar inconsistencias y duplicados.

Una vez importados, los datos quedarán almacenados en la base de datos y asociados al usuario correspondiente, permitiendo su consulta posterior.

RF-05 Generación de propuestas de cultivo mediante inteligencia artificial

El sistema debe permitir la generación automática de propuestas de cultivo para una campaña futura a partir del histórico de cultivos de la explotación.

Para ello, el usuario podrá seleccionar los ecorregímenes objetivo y el listado de cultivos permitidos. El sistema enviará esta información, junto con los datos históricos de las parcelas, a un servicio de inteligencia artificial que devolverá una propuesta estructurada.

Las propuestas generadas deberán incluir, al menos, el cultivo recomendado para cada recinto y una justificación basada en criterios agronómicos y normativos.

RF-08 Guardado de propuestas en borrador

El sistema debe permitir que las propuestas generadas se almacenen inicialmente en estado de borrador. Esto permite al usuario revisar, modificar o descartar la propuesta antes de su confirmación definitiva.

Las propuestas en borrador no tendrán efectos sobre campañas cerradas y podrán ser regeneradas o eliminadas en cualquier momento.

RF-10 Integración con el visor SIGPAC

El sistema debe permitir la visualización de parcelas en el visor SIGPAC oficial mediante la generación automática de enlaces a partir de los datos almacenados en la base de datos.

Esta funcionalidad evita la necesidad de buscar manualmente cada parcela en el visor, facilitando la identificación visual de los recintos y mejorando la experiencia de usuario.

Especificación de diseño

C.1. Introducción

En este apéndice se describe el diseño del sistema desarrollado, abordando los aspectos relativos a la organización de los datos, el diseño procedural y la arquitectura general de la aplicación.

El diseño se ha realizado teniendo en cuenta los requisitos funcionales y no funcionales definidos en el Apéndice B, buscando una solución modular, escalable y fácil de mantener. Asimismo, se ha priorizado la claridad en la estructura del sistema, de forma que pueda ser ampliado en futuras versiones.

Diseño de datos

El diseño de datos del sistema se basa en un modelo relacional que permite representar de forma estructurada la información asociada a las explotaciones agrícolas, parcelas, recintos y cultivos.

La base de datos se ha diseñado para almacenar tanto información histórica como propuestas de cultivo futuras, manteniendo la trazabilidad entre campañas y facilitando el cumplimiento de los criterios de la PAC.

Entidades principales

Las principales entidades del sistema son las siguientes:

- **Usuario:** representa al agricultor o técnico que utiliza el sistema.
- **Parcela:** identifica una parcela agrícola asociada a un usuario.

- **Recinto:** subdivisión de una parcela con características agronómicas propias.
- **Dato agronómico:** almacena el cultivo declarado en un recinto para una campaña concreta.
- **Propuesta de cultivo:** representa la recomendación generada para una campaña futura.

Relaciones entre entidades

Un usuario puede disponer de múltiples parcelas, y cada parcela puede estar compuesta por uno o varios recintos. Para cada recinto se almacena un histórico de datos agronómicos asociados a distintas campañas.

Las propuestas de cultivo se asocian a un recinto y a una campaña concreta, permitiendo diferenciar entre propuestas en borrador y propuestas definitivas. Este diseño permite mantener el histórico de decisiones y facilita la comparación entre campañas.

C.2. Diseño procedimental

El diseño procedimental del sistema define el flujo de ejecución de las principales funcionalidades, desde la entrada de datos por parte del usuario hasta su almacenamiento y procesamiento.

El sistema sigue un enfoque orientado a servicios, donde cada funcionalidad principal se implementa como un conjunto de operaciones bien definidas accesibles a través de una API REST.

Flujo de importación de datos PAC

El proceso de importación comienza cuando el usuario selecciona un archivo Excel correspondiente a una campaña PAC. El sistema valida el archivo, extrae la información relevante y la transforma a un formato interno compatible con el modelo de datos.

Durante este proceso se comprueba la existencia previa de parcelas y recintos, evitando duplicidades y actualizando únicamente la información necesaria. Finalmente, los datos se almacenan asociados al usuario y a la campaña correspondiente.

Flujo de generación de propuestas de cultivo

La generación de propuestas de cultivo se inicia a petición del usuario, quien selecciona la campaña objetivo, los ecorregímenes de interés y el listado de cultivos permitidos.

El sistema recopila el histórico de cultivos de las campañas anteriores y construye una solicitud estructurada que se envía al servicio de inteligencia artificial. La respuesta recibida se procesa y se almacena como una propuesta en estado de borrador.

Flujo de exportación de propuestas a Excel

El sistema permite exportar las propuestas de cultivo a un archivo Excel para su consulta o presentación ante organismos oficiales. El archivo generado incluye información identificativa de la parcela y el recinto, así como el cultivo propuesto y su justificación.

Este flujo facilita la interoperabilidad con herramientas externas y reduce la necesidad de transcripción manual de datos.

C.3. Diseño arquitectónico

El sistema se ha diseñado siguiendo una arquitectura cliente-servidor basada en servicios REST. La lógica de negocio se centraliza en una API desarrollada en ASP.NET Core, mientras que el acceso a los datos se realiza mediante un sistema de persistencia relacional.

La separación entre capas permite desacoplar la lógica de negocio del acceso a datos y de la interfaz de usuario, facilitando la evolución futura del sistema.

Componentes principales

Los principales componentes del sistema son:

- **API REST:** gestiona las peticiones del cliente y la lógica de negocio.
- **Base de datos:** almacena la información persistente del sistema.
- **Servicio de inteligencia artificial:** encargado de generar las propuestas de cultivo.
- **Interfaz de usuario:** permite al agricultor interactuar con el sistema.

Integración con servicios externos

El sistema se integra con servicios externos como el visor SIGPAC, facilitando la localización visual de parcelas, y con servicios de inteligencia artificial para la generación de propuestas de cultivo.

Estas integraciones se realizan mediante llamadas HTTP, manteniendo una única llamada por campaña para optimizar el rendimiento y reducir costes.

Documentación técnica de programación

D.1. Introducción

Este apéndice está dirigido a desarrolladores que deseen comprender el funcionamiento interno del sistema, mantenerlo o ampliarlo en el futuro.

Se describe la estructura del proyecto, los principales componentes de software, las tecnologías empleadas y las decisiones técnicas adoptadas durante el desarrollo. Asimismo, se proporciona información sobre la compilación, ejecución y pruebas del sistema.

D.2. Estructura de directorios

El proyecto sigue una estructura organizada que facilita la separación de responsabilidades y la mantenibilidad del código. A continuación se describe la estructura principal del backend desarrollado en ASP.NET Core.

```
TFG_Cultivos/  
Properties/  
    launchSettings.json  
Controllers/  
    AuthController.cs  
    FarmController.cs  
Models/  
    ApplicationUser.cs  
    DatoAgronomico.cs
```

```
GeminiResponseDTO.cs  
Parcelas.cs  
Recintos.cs  
PropuestaCultivo.cs  
GenerarPropuestaRequest.cs  
ImportPacRequest.cs  
LoginRequest.cs  
PacContext.cs  
Services/  
    Constants.cs  
    ExcelConversionService  
Program.cs  
appsettings.json
```

Esta estructura permite aislar la lógica de acceso a datos, los controladores de la API y los servicios auxiliares, facilitando futuras ampliaciones.

D.3. Manual del programador

Backend

El backend del sistema se ha desarrollado como una API REST utilizando ASP.NET Core[6]. Esta API es responsable de la gestión de usuarios, parcelas, históricos de cultivos y propuestas generadas por inteligencia artificial.

La comunicación se realiza mediante peticiones HTTP siguiendo los principios REST, utilizando formatos JSON para el intercambio de información.

Controladores Los controladores actúan como punto de entrada a la aplicación, recibiendo las peticiones del cliente y delegando la lógica de negocio a los servicios correspondientes.

- **AuthController:** gestiona el registro y autenticación de usuarios mediante JWT.
- **FarmController:** gestiona parcelas, recintos, importación de datos PAC, permite generar, guardar y exportar propuestas de cultivo.

Acceso a datos

El acceso a datos se implementa mediante Entity Framework Core, utilizando un enfoque Code First. Las entidades del dominio se definen como clases C#, y el contexto de datos gestiona la conexión con la base de datos.

La utilización de Entity Framework Core permite abstraer el acceso a la base de datos, facilitando el mantenimiento del código y reduciendo la dependencia de un sistema gestor concreto.

Integración con Excel

Para la importación y exportación de datos en formato Excel se ha utilizado la biblioteca ClosedXML[1]. Esta librería permite trabajar con archivos Excel de forma sencilla y sin necesidad de dependencias externas como Microsoft Office.

La importación se utiliza principalmente para cargar datos PAC procedentes de ficheros oficiales, mientras que la exportación permite generar informes estructurados con las propuestas de cultivo.

Integración con inteligencia artificial

El sistema integra un servicio de inteligencia artificial basado en el modelo Google Gemini Flash 2.5[3]. Este servicio se utiliza para generar propuestas de cultivo teniendo en cuenta el histórico de parcelas, la rotación de cultivos y los criterios de la PAC.

La comunicación con el servicio de inteligencia artificial se realiza mediante una única llamada por campaña, enviando un prompt estructurado en formato JSON que incluye toda la información necesaria para el análisis global de la explotación.

La respuesta generada por el modelo se procesa y se transforma en entidades del dominio, que se almacenan como propuestas en estado de borrador.

Seguridad y autenticación

La autenticación del sistema se basa en JSON Web Tokens (JWT)[4]. Cada usuario debe autenticarse para acceder a las funcionalidades protegidas de la API.

Este enfoque garantiza que los datos de cada explotación agrícola solo sean accesibles por su propietario, cumpliendo con principios básicos de seguridad y confidencialidad.

Frontend

El sistema cuenta con un frontend sencillo desarrollado con React^[5], que permite al usuario interactuar con la API de forma intuitiva. Desde la interfaz se pueden consultar parcelas, generar propuestas y exportar resultados.

El frontend se comunica con la API mediante peticiones HTTP, gestionando la autenticación mediante tokens JWT.

D.4. Compilación, instalación y ejecución

Para ejecutar el proyecto es necesario disponer de un entorno de desarrollo con .NET SDK instalado y un sistema gestor de bases de datos compatible.

Una vez configurada la base de datos y las variables de entorno, el proyecto puede compilarse y ejecutarse mediante los comandos estándar de .NET.

D.5. Pruebas del sistema

Las pruebas del sistema se han realizado principalmente mediante herramientas como Swagger y Postman, verificando el correcto funcionamiento de los distintos endpoints de la API.

Se han probado escenarios reales como la importación de datos PAC, la generación de propuestas de cultivo y la exportación a Excel, asegurando la coherencia de los datos y la estabilidad del sistema.

Documentación de usuario

E.1. Introducción

Este apéndice describe el uso de la aplicación desde el punto de vista del usuario final. Está orientado principalmente a agricultores o técnicos agrícolas que deseen gestionar su explotación de forma digital y obtener apoyo en la toma de decisiones relacionadas con la Política Agraria Común (PAC).

No se requieren conocimientos técnicos avanzados para el uso del sistema, ya que la aplicación ha sido diseñada para ser intuitiva y accesible.

E.2. Requisitos de usuario

Para utilizar la aplicación, el usuario debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Disponer de un dispositivo con acceso a Internet.
- Contar con un navegador web actualizado.
- Tener una cuenta de usuario registrada en el sistema.
- Disponer de los ficheros PAC oficiales en formato Excel para la importación de datos.

No es necesario que el usuario tenga conocimientos informáticos avanzados ni experiencia previa con herramientas de gestión agrícola digital.

E.3. Instalación

La aplicación se ha diseñado siguiendo un modelo cliente-servidor. El usuario no necesita realizar ninguna instalación local, ya que el acceso se realiza a través de un navegador web.

El backend se ejecuta en un servidor que expone la API, mientras que el frontend proporciona la interfaz gráfica para la interacción con el sistema.

En entornos de pruebas, el acceso a la API puede realizarse también mediante herramientas como Swagger o Postman.

E.4. Manual del usuario

Registro y autenticación

El primer paso para utilizar la aplicación es el registro de un usuario. Una vez registrado, el usuario puede iniciar sesión introduciendo sus credenciales.

Tras la autenticación, el sistema genera un token de seguridad que permite acceder a las funcionalidades protegidas de la aplicación.

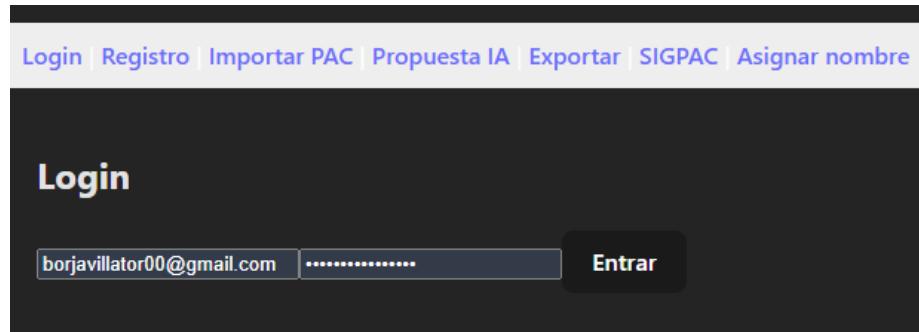


Figura E.1: Captura del login de la aplicación

Gestión de parcelas y recintos

Una vez autenticado, el usuario puede gestionar las parcelas de su explotación agrícola. Cada parcela puede contener uno o varios recintos, que representan subdivisiones oficiales del SIGPAC.

El sistema permite asignar un nombre personalizado a cada parcela, facilitando su identificación y evitando la necesidad de recordar referencias administrativas complejas.

El sistema permite asignar un nombre personalizado a cada parcela, facilitando su identificación y evitando la necesidad de recordar referencias administrativas complejas.

Esta funcionalidad surge de la necesidad detectada en explotaciones reales, donde los agricultores suelen identificar las parcelas por nombres tradicionales en lugar de códigos oficiales.

Importación de datos PAC

La aplicación permite importar datos oficiales de la PAC mediante archivos Excel. Este proceso automatiza una tarea que tradicionalmente se realiza de forma manual, revisando documentos en papel línea por línea.

Durante la importación, el sistema procesa los recintos, superficies y cultivos declarados, almacenándolos en la base de datos para su posterior análisis.

Generación de propuestas de cultivo mediante inteligencia artificial

La aplicación ofrece la posibilidad de generar propuestas de cultivo para una campaña futura mediante el uso de inteligencia artificial.

La aplicación ofrece la posibilidad de generar propuestas de cultivo para una campaña futura mediante el uso de inteligencia artificial.

El usuario puede seleccionar:

- La campaña objetivo.
- Los ecorregímenes a los que desea optar.
- El listado de cultivos que desea sembrar.

Generar propuesta IA

Año de campaña

2026

Cultivos permitidos

- Trigo blando
- Trigo duro
- Cebada
- Avena
- Centeno
- Triticale
- Maíz
- Girasol
- Colza
- Barbecho
- Pastos permanentes
- Lentejas
- Guisantes
- Garbanzos
- Veza
- Yeros
- Patata
- Remolacha azucarera
- Alfalfa

Ecorregímenes objetivo

- BCAM-7 DIVERSIFICACION DE CULTIVOS
- BCAM-7 ROTACIÓN DE CULTIVOS
- P3: PRÁCTICA DE ROTACIÓN DE CULTIVOS CON ESPECIES MEJORANTES
- P4: PRÁCTICA DE LA SIEMBRA DIRECTA

Generar propuesta

Figura E.2: Captura de la pantalla para generar propuestas de cultivos

A partir de esta información y del histórico de la explotación, el sistema genera una propuesta optimizada que tiene en cuenta la rotación de cultivos, la diversificación y el cumplimiento de los criterios de la PAC.

Exportación de propuestas a Excel

Las propuestas de cultivo pueden exportarse a formato Excel, facilitando su revisión, impresión o envío a terceros como asesores agrarios o entidades colaboradoras.

El archivo exportado incluye información detallada de cada parcela, su superficie, el cultivo recomendado y los motivos de esa recomendación.

Integración con el visor SIGPAC

La aplicación incluye enlaces directos al visor oficial SIGPAC, permitiendo al usuario localizar rápidamente una parcela concreta sin necesidad de introducir manualmente sus referencias.

Esta funcionalidad resulta especialmente útil en explotaciones con un elevado número de parcelas, donde recordar cada referencia administrativa resulta complejo.



Figura E.3: Captura de la pantalla para buscar una parcela en SIGPAC directamente

Anexo de sostenibilización curricular

F.1. Introducción

La sostenibilidad se ha convertido en uno de los ejes fundamentales en el desarrollo de políticas públicas, actividades económicas y proyectos tecnológicos. En el ámbito agrario, esta importancia es aún mayor, debido a la estrecha relación existente entre la producción agrícola, el uso de los recursos naturales y la conservación del medio ambiente. En este contexto, el presente Trabajo Fin de Grado se alinea con los principios de sostenibilidad promovidos tanto a nivel europeo como nacional, especialmente a través de la Política Agraria Común (PAC).

Este anexo tiene como objetivo analizar y justificar cómo el proyecto desarrollado contribuye a la sostenibilidad desde una perspectiva ambiental, social y económica, así como su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La aplicación desarrollada no solo resuelve un problema técnico, sino que también aporta valor real al sector agrícola, facilitando la toma de decisiones responsables y sostenibles por parte de los agricultores.

F.2. Contribución a la sostenibilidad ambiental

El proyecto contribuye de forma directa a la sostenibilidad ambiental mediante la optimización de la gestión de cultivos y el cumplimiento de los criterios establecidos por la PAC en materia de buenas prácticas agrarias y medioambientales.

La aplicación permite analizar el histórico de cultivos de cada parcela y recinto, lo que facilita la correcta planificación de rotaciones de cultivo. Esta rotación es fundamental para mantener la fertilidad del suelo, reducir la aparición de plagas y enfermedades, y disminuir la necesidad de productos fitosanitarios. Además, el sistema fomenta el uso de especies mejorantes, como las leguminosas, que contribuyen a la fijación natural de nitrógeno en el suelo y reducen la dependencia de fertilizantes químicos.

Asimismo, la generación de propuestas de cultivo basadas en criterios PAC y ecorregímenes ayuda a que las explotaciones agrarias cumplan con prácticas respetuosas con el medio ambiente, como la diversificación de cultivos o la reducción de superficies improductivas innecesarias. Todo ello favorece un uso más racional y sostenible de la tierra agrícola.

F.3. Impacto en la sostenibilidad social

Desde el punto de vista social, el proyecto tiene un impacto significativo en la mejora de las condiciones de trabajo de los agricultores. Tradicionalmente, la gestión de la PAC y el seguimiento del historial de parcelas se realiza mediante documentos en papel, hojas de cálculo dispersas y búsquedas manuales en el visor SIGPAC, lo que supone una elevada carga administrativa y una fuente frecuente de errores.

La aplicación desarrollada centraliza toda esta información en un único sistema digital, accesible y estructurado, lo que reduce el tiempo dedicado a tareas administrativas y minimiza la probabilidad de errores en la declaración de ayudas. Esto resulta especialmente relevante para agricultores de pequeña y mediana escala, que no siempre disponen de asesoramiento técnico especializado.

Además, el proyecto surge a partir de experiencias reales del entorno familiar del autor, donde se ha podido observar de primera mano la dificultad de gestionar varias campañas agrícolas y parcelas sin herramientas digitales adecuadas. De este modo, la aplicación responde a una necesidad real del sector y contribuye a la modernización y digitalización del medio rural.

F.4. Contribución a la sostenibilidad económica

En términos económicos, el sistema desarrollado ayuda a mejorar la rentabilidad de las explotaciones agrarias. La correcta planificación de

cultivos y el cumplimiento de los requisitos de la PAC permiten a los agricultores acceder a las ayudas económicas sin penalizaciones ni pérdidas derivadas de errores administrativos.

La generación de propuestas de cultivo mediante inteligencia artificial ofrece recomendaciones que tienen en cuenta tanto la productividad agro-nómica como los criterios normativos, lo que facilita la toma de decisiones informadas. Esto puede traducirse en una mejor asignación de cultivos a las parcelas, una optimización del uso de los recursos disponibles y, en consecuencia, una mejora de los resultados económicos de la explotación.

Asimismo, el uso de una herramienta digital reduce costes indirectos asociados al tiempo invertido en gestiones manuales, consultas externas o correcciones posteriores de errores en las declaraciones.

F.5. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El proyecto se encuentra alineado con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por las Naciones Unidas, entre los que destacan:

- **ODS 2: Hambre cero**, al contribuir a una agricultura más eficiente, productiva y sostenible.
- **ODS 9: Industria, innovación e infraestructura**, mediante el uso de tecnologías digitales e inteligencia artificial aplicadas al sector agrario.
- **ODS 12: Producción y consumo responsables**, fomentando prácticas agrícolas que optimizan el uso de recursos y reducen el impacto ambiental.
- **ODS 13: Acción por el clima**, al promover prácticas que mejoran la salud del suelo y reducen la huella ambiental de la actividad agrícola.

F.6. Conclusión

En conclusión, el presente Trabajo Fin de Grado no solo aborda un problema técnico relacionado con la gestión de datos agrícolas, sino que también aporta una solución alineada con los principios de sostenibilidad ambiental, social y económica. La aplicación desarrollada facilita el cumplimiento de

la normativa vigente, mejora la eficiencia de las explotaciones agrarias y contribuye a la modernización del sector agrícola.

Este enfoque demuestra cómo el desarrollo de software puede convertirse en una herramienta clave para avanzar hacia un modelo de agricultura más sostenible, resiliente y adaptado a los retos actuales y futuros.

Bibliografía

- [1] ClosedXML Project. Closedxml documentation. <https://closedxml.github.io/ClosedXML/>, 2024. Accedido en 2025.
- [2] Comisión Europea. Política agraria común 2023–2027. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy_es, 2023. Accedido en 2025.
- [3] Google. Google gemini api documentation. <https://ai.google.dev>, 2024. Accedido en 2025.
- [4] IETF. Json web token (jwt). <https://jwt.io/introduction>, 2015. RFC 7519.
- [5] Meta. React official documentation. <https://react.dev>, 2024. Accedido en 2025.
- [6] Microsoft. Asp.net core documentation. <https://learn.microsoft.com/aspnet/core>, 2024. Accedido en 2025.
- [7] Microsoft. Entity framework core documentation. <https://learn.microsoft.com/ef/core>, 2024. Accedido en 2025.
- [8] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Sistema de información geográfica de parcelas agrícolas (sigpac). <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac/>, 2024. Accedido en 2025.