



Nirs2Custom

GRUPO OPERATIVO DE INNOVACIÓN

Investigación para el desarrollo innovador de un prototipo equipado con la técnica NIRS para analizar la composición química del suelo en tiempo real, asociado a un cuaderno de campo digital dotado de una capa de Inteligencia Artificial con predicción para la fertilización personalizada de los cultivos.

MEMORIA DE LIBRE EJECUCIÓN | 12/2024

aresa 50 años



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DO MEDIO RURAL

AGACAL
AXENCIA GALEGA
DA CALIDADE ALIMENTARIA

cecoaagro

CENTRO
INVESTIGACIÓN
AGRARIAS
MABEGONDO



cusoviam
sociedade cooperativa galega

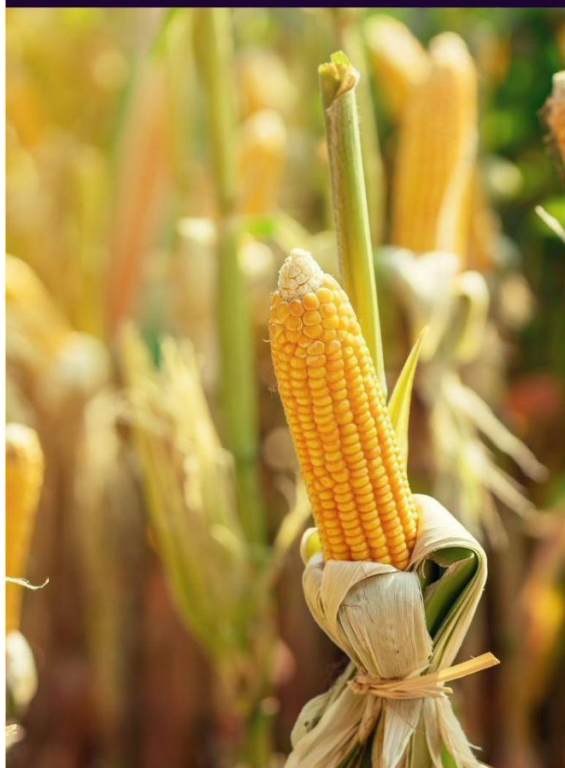
oSI Gris



gradient



medrar
projects



MEMORIA DE LIBRE EJECUCIÓN_POR PT | NIRS2CUSTOM

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Proyecto NIRS2CUSTOM | INTRODUCCIÓN A LOS RESULTADOS

- 1.- BREVE PRESENTACIÓN DE LAS ENTIDADES PARTICIPANTES**
- 2.- JUSTIFICACIÓN DE LA COMPLEMENTARIEDAD ENTRE PERFILES Y EL EQUILIBRIO EN LA COMPOSICIÓN DEL GRUPO FORMADO EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO**
- 3.- REPARTO ECONÓMICO TOTAL DEL PROYECTO Y POR ENTIDAD PARTICIPANTE, ASÍ COMO UNA BREVE EXPLICACIÓN DE LAS PARTIDAS MÁS RELEVANTES**
- 4.- PROBLEMA QUE PRETENDÍA RESOLVERSE O MEJORA QUE SE BUSCABA**
- 5.- ESTRUCTURA DEL PROYECTO, PARTICIPACIÓN DE CADA MIEMBRO, RESULTADOS OBTENIDOS FRENTE A LA EXPECTATIVA INICIAL**
- 6.- APLICABILIDAD AL SECTOR PRODUCTIVO DEL RURAL GALLEGO.**
- 7.- ODS QUE RESUELVE.**
- 8.- DESARROLLO DE LOS PAQUETES DE TRABAJO, DESARROLLO CIENTÍFICO-TÉCNICO DEL PROYECTO, RESULTADOS OBTENIDOS**
- 8.1 PT1.- ESTUDIOS PREVIOS EN LA PENETRACIÓN DEL PROTOTIPO, TOMA DE REQUISITOS TÉCNICOS PARA EL CUADERNO DE CAMPO DIGITAL Y PROTOCOLOS DE RECOGIDA DE MUESTRAS.**

- ▮ PT 1.1 - Estudio en la penetración del prototipo NIR y en su aplicación en tiempo real entre los usuarios potenciales del proyecto.
- ▮ PT 1.2 - Toma de requisitos técnicos basados en las normativas vigentes para el desarrollo del aplicativo del cuaderno de campo digital.
- ▮ PT 1.3 - Toma de requisitos y realización de protocolos para el análisis de laboratorio de las muestras recogidas para establecer los parámetros físicos y químicos

8.2 PT2.- RECOGIDA DE MUESTRAS EN TERRENO DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS PARA SU ANALÍTICA. GENERACIÓN DE MAPA DE SUELOS DE LAS ZONAS ANALIZADAS.

- || PT 2.1 - Recogida de las muestras de tierra para la calibración del NIR y su posterior análisis en laboratorio con el fin de cruzar los datos entre las dos formas de hacer los análisis.
- || PT 2.2 - Establecer la BBDD para realizar un mapa de 'suelos tipo' de entre los productores primarios para tener una mayor variabilidad de muestras con el objetivo nuevamente de reducir los errores en los datos. (Aresa/Cecoagro).

8.3 PT3.- DESARROLLO DE SOPORTE FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN CUADERNO DE CAMPO DIGITAL, API REST BBDD Y CONECTORES. DESARROLLO DEL PROTOTIPO NIRS.

- || PT 3.1 - Creación de BBDD en servidor, desarrollo de software para introducción de datos en la plataforma.
- || PT 3.2 - Desarrollo de software para el cuaderno digital basado en la normativa actual. Desarrollo Servicios Rest, Desarrollo de Interfaz y Dashboards de visualización.
- || PT 3.3 - Desarrollo de un proceso automatizado para la conexión con los dispositivos de mediciones en tiempo real de diferentes parámetros.

8.4 PT4.- ESTUDIO DEL DATO DISPONIBLE, ANALÍTICA DE ALGORITMOS DE PREDICCIÓN, REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE. DESARROLLO DEL SERVICIO DE SERVICIO DE PREDICCIÓN Y DETECCIÓN. INTEGRACIONES Y VALIDACIONES.

- || PT 4.1 - Estudio de los datos disponibles y análisis de los algoritmos de Predicción y Detección de Anomalías No Supervisada: Estudio de los datos a ingerir en el sistema y revisión del estado del arte para el diseño de la propuesta del Decision

Support System (DSS) basado en ML para detectar anomalías en los datos monitoreados.

- PT 4.2 - Desarrollo del Servicio de Predicción y Detección de Anomalías No Supervisado: Durante esta tarea se desarrollará el servicio de software para la detección de anomalías no supervisado. La implementación (en lenguaje python) incluye contenerización del servicio, implementación de Restful API, programación de endpoints y funcionalidades para detección de valores atípicos desde el framework PyOD, desarrollo de funciones de validación de datos.
- PT 4.3 - Integración de componentes y validación antes de la operación: En esta tarea, todos los componentes desarrollados serán integrados y configurados dentro del proyecto. Durante esta tarea se llevará a cabo la verificación y validación técnica del DSS desarrollado en la tarea anterior. Los errores y fallos se detectarán y corregirán durante este procedimiento. Luego de esta validación, el DSS operará de manera autónoma durante un cierto período de tiempo para recopilar datos e información valiosa para ser analizados.

8.5 PT5.- CREACIÓN DEL SET DE MUESTRAS DE CALIBRACIÓN, ANÁLISIS DE LOS ESPECTROS, ANÁLISIS DE MUESTRAS DE CALIBRACIÓN, DESARROLLO DE ALGORITMOS, VALIDACIONES EXTERNAS, ACTUALIZACIONES PROGRESIVAS DE LAS ECUACIONES.

- PT 5.1 - Creación del set de muestras de calibración. es necesario representar la variabilidad espacial y temporal de la fertilidad de los suelos por lo que es necesario disponer de un lote suficientemente elevado de muestras que representen los diferentes niveles de fertilidad (EN TORNO A 400 MUESTRAS).
- PT 5.2 - Creación De La Librería Espectral. Estudiar La Variabilidad Asociada A La Presentación De Las Muestras Y El Uso De Diferentes Equipos Nirs.
- PT 5.3 -. Análisis de los espectros, tratamiento quimiométrico y selección de muestras de calibración.
- PT 5.4 -. Análisis de muestras de calibración por métodos de referencia en los laboratorios de ciam y con la colaboración del laboratorio de lafiga.

- ▮ PT 5.5 - Desarrollo de ecuaciones de calibración.
- ▮ PT 5.6 - Validación externa de las ecuaciones.
- ▮ PT 5.7 - Actualización progresiva de ecuaciones con nuevas muestras no representadas en el grupo de calibración inicial para conseguir mejores ecuaciones

8.6 PT6.- TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO EN MATERIA DE INNOVACIÓN. DIFUSIÓN DE RESULTADOS. ESTRATEGIA KPI'S.

- ▮ PT 6.1 - "Indicadores clave para el rendimiento de la innovación. Porcentajes y tasas en cuanto a innovación. Grados de innovación alcanzados en base a la ejecución del proyecto. Determinación del grado de innovación. Metodología: Cálculo de indicadores".
- ▮ PT 6.2 - Creación, planificación y gestión de los medios de distribución de los resultados del proyecto, fijar objetivos, estrategia de difusión efectiva, plan de comunicación integral del proyecto de innovación.

Proyecto NIRS2CUSTOM | INTRODUCCIÓN A LOS RESULTADOS

En un mundo cada vez más enfocado en la sostenibilidad, el proyecto NIRS2CUSTOM ha emergido como un testimonio de cómo la tecnología puede redibujar el paisaje agrícola. Más que un simple avance en la digitalización de las explotaciones agroganaderas, este proyecto representa una intersección perfecta entre ciencia aplicada, innovación disruptiva y el pragmatismo necesario para enfrentar los retos de la agricultura contemporánea. Su desarrollo ha entregado herramientas y metodologías, y, ha planteado preguntas fundamentales sobre cómo gestionar los recursos naturales en una era de creciente incertidumbre climática y económica.

Un Problema, una oportunidad

La gestión de suelos en Galicia ha enfrentado históricamente barreras significativas: tiempos prolongados para análisis, costes elevados y decisiones agronómicas basadas en datos limitados. El desafío no radicaba únicamente en resolver estos problemas; la verdadera oportunidad estaba en transformar las limitaciones en una ventaja competitiva para un sector rural que necesitaba adaptarse o quedarse atrás. Aquí es donde NIRS2CUSTOM brilló. En lugar de reformar métodos tradicionales, optó por un rediseño radical. La tecnología NIRS, habitualmente asociada a aplicaciones de laboratorio, fue trasladada al campo, convirtiendo los suelos gallegos en escenarios de innovación. Esta decisión no fue trivial, sino estratégica: un análisis en tiempo real no solo ahorra tiempo, sino que democratiza el acceso a información crítica, eliminando barreras económicas y logísticas para pequeños y medianos productores.

Inteligencia artificial y la agricultura del futuro

El componente digital del proyecto, liderado por entidades como Gradiant y OSIGRIS, da a NIRS2CUSTOM a un nivel completamente nuevo. La implementación de algoritmos como SUOD no es simplemente una mejora técnica; es una declaración sobre el futuro de la agricultura. ¿Qué significa dotar a un cuaderno de campo digital de capacidades predictivas y de detección de anomalías? Significa que, por primera vez, los agricultores tienen en sus manos no solo datos, sino conocimiento procesable en tiempo real. Este

enfoque elimina la dependencia exclusiva de técnicos y expertos, empoderando a los productores con una herramienta que combina simplicidad de uso con sofisticación tecnológica. Este avance también tiene implicaciones éticas y económicas. Si la sostenibilidad ambiental ha sido tradicionalmente percibida como un coste adicional, el uso de IA en el contexto de este proyecto ha demostrado que puede ser, de hecho, una inversión rentable. Reducir el uso de fertilizantes protege la biodiversidad, al tiempo que también optimiza costes, un gran beneficio en un contexto económico cambiante.

Si bien la tecnología es el motor, las verdaderas ruedas de este proyecto son las personas. El consorcio detrás de NIRS2CUSTOM no se limitó a desarrollar herramientas; creó puentes entre productores, centros de investigación y tecnología de vanguardia. Esta red garantiza la transferencia de conocimiento, y a la vez refuerza la relevancia de Galicia como un modelo de agricultura sostenible y avanzada.

Resultados que trascienden los números

Más allá de las métricas tangibles como la esperada reducción del 30% en el uso de fertilizantes o los ahorros económicos derivados, los impactos de NIRS2CUSTOM son cualitativos y transformadores. Los agricultores y ganaderos ahora tienen la capacidad de gestionar sus fincas con una precisión antes impensable, mientras que los ganaderos pueden planificar su alimentación de forma más estratégica, reduciendo su dependencia de insumos externos. El impacto ambiental es igualmente significativo, al minimizar la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, el proyecto establece un estándar para prácticas agrícolas sostenibles en Europa. Además, su contribución a la descarbonización, al reducir la dependencia de piensos importados, conecta directamente con los compromisos globales de acción climática.

Lo que deja NIRS2CUSTOM

Lo que hace que este proyecto sea único no es solo lo que ha logrado, sino el camino que ha trazado para el futuro. NIRS2CUSTOM no es un punto final, sino un punto de partida. Sus herramientas y metodologías han sentado las bases para una transformación continua en el sector agroalimentario. Más allá de Galicia, este enfoque tiene el potencial

de replicarse en otras regiones, convirtiéndose en un referente para la agricultura de precisión.

En última instancia, NIRS2CUSTOM es más que un proyecto tecnológico; es un catalizador de cambio. En un mundo donde la agricultura enfrenta desafíos cada vez más complejos, ha demostrado que la innovación puede ser la respuesta, siempre que esté enraizada en la colaboración, la sostenibilidad y el compromiso con las personas que trabajan la tierra.



El proyecto **NIRS2CUSTOM** ha alcanzado los objetivos establecidos en la propuesta inicial, cumpliendo al 100% cada uno de los hitos programados y consolidando resultados técnicos, científicos y operativos de alta relevancia para el sector agroalimentario gallego. Este éxito se fundamenta en un diseño inicial metodológico sólido, en la integración de tecnologías avanzadas como la espectroscopía NIRS y el aprendizaje automático (ML), y en la colaboración activa entre las entidades participantes.

Objetivo General: Desarrollo de un prototipo basado en espectroscopía NIRS

El objetivo general planteado consistía en desarrollar un prototipo funcional que integre la técnica de **espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS)** como herramienta en las recomendaciones de abonado a las explotaciones. Este prototipo debía estar conectado a un **cuaderno de campo digital e inteligente**, proporcionando una plataforma integral para la gestión de datos y la toma de decisiones agronómicas.

Grado de consecución: 100%

En el marco del proyecto, se adquirieron los materiales y componentes tecnológicos necesarios para el desarrollo y validación del prototipo previsto. Entre estos materiales destacan microprocesadores, sensor NIRS, sistemas de comunicación inalámbrica ultrarrápida, placa base, cables, batería, pantalla displays en color compatibles, impresiones 3D para carcasas. Todos estos componentes fueron seleccionados para garantizar que el prototipo cumpliera con los requisitos técnicos y operativos del proyecto. Sin embargo, durante el proceso de desarrollo, las calibraciones iniciales de las ecuaciones predictivas se realizaron utilizando un equipo comercial de referencia: el **Labspec 4Si**, equipado con una sonda alimentaria modelo S/N 203. Esta decisión se tomó para asegurar la precisión y la fiabilidad de las ecuaciones espectrales, aprovechando la alta estabilidad y validación previa del equipo comercial. Este enfoque permitió establecer una base para las futuras integraciones del prototipo NIRS desarrollado en el proyecto. La utilización del **Labspec 4Si** en esta fase no afectó negativamente al desarrollo ni a los resultados del proyecto, al contrario, aseguró que las calibraciones estuvieran alineadas con estándares de calidad reconocidos, sirviendo como referencia para ajustar y validar el prototipo diseñado específicamente para NIRS2CUSTOM. Una vez completadas las calibraciones preliminares en el Labstec, se intentará trasladar las especificaciones al dispositivo desarrollado en el proyecto.

Resultados alcanzados:

Calibraciones Espectrales de Alta Precisión

- ▮ Las calibraciones realizadas con el equipo Labspec 4Si proporcionaron una base sólida para el desarrollo de ecuaciones predictivas adaptadas a los parámetros clave del suelo (pH, materia orgánica, macronutrientes, entre otros).
- ▮ Estas ecuaciones se validaron posteriormente con muestras reales, garantizando una correlación alta (>90%) con los métodos analíticos tradicionales.

El uso del equipo comercial como referencia permitió reducir el margen de error en las pruebas con el desarrollo de las ecuaciones. Este cambio evitó retrasos significativos en el cronograma, optimizando el tiempo y los recursos del proyecto. A pesar de los desafíos técnicos encontrados, el proyecto cumplió con el desarrollo de un prototipo plenamente funcional y la implementación de herramientas tecnológicas que conectan el análisis de suelos con la toma de decisiones agronómicas. El sistema final resultante cumple con las expectativas de sostenibilidad, precisión y escalabilidad.

Objetivo Específico 1: Desarrollar un dispositivo para ofrecer un servicio de análisis de suelos ‘in situ’ para una mayor agilidad en la toma de decisiones, basado en la tecnología NIRS.

En este caso se desarrolló un piloto de un NIRS portátil para realizar análisis de suelos in situ. Este dispositivo tenía como finalidad optimizar la agilidad en la toma de decisiones. Sin embargo tal y como comentamos anteriormente durante el proceso de desarrollo, las calibraciones iniciales de las ecuaciones predictivas se realizaron utilizando un equipo comercial de referencia: el **Labspec 4Si**, equipado con una sonda alimentaria modelo S/N 203. Esta decisión se tomó para asegurar la precisión y la fiabilidad de las ecuaciones espectrales, aprovechando la alta estabilidad y validación previa del equipo comercial. Este enfoque permitió establecer una base para las futuras integraciones del prototipo NIRS desarrollado en el proyecto. La utilización del **Labspec 4Si** en esta fase no afectó negativamente al desarrollo ni a los resultados del proyecto, al contrario, aseguró que las calibraciones estuvieran alineadas con estándares de calidad reconocidos, sirviendo como referencia para ajustar y validar el prototipo diseñado específicamente para NIRS2CUSTOM. Una vez completadas las calibraciones preliminares en el Labstec, se intentará trasladar las especificaciones al dispositivo desarrollado en el proyecto

Grado de consecución: 100%

- ▮ Validación en dispositivo comercial con un coeficiente de correlación superior al 0.9 en comparación con los métodos analíticos tradicionales.
- ▮ Se diseñaron ecuaciones de predicción específicas para suelos gallegos, adaptadas a distintas condiciones climáticas y edáficas.

Resultados alcanzados:

1. **Reducción tiempo de analítica:** Reducción del tiempo de análisis de 21 días a minutos.
 2. **Precisión técnica:** Validación cruzada de las ecuaciones NIRS con muestras de laboratorio, asegurando alta fiabilidad en las predicciones.
-

Objetivo Específico 2: Predicción y detección de anomalías

Se diseñó un servicio de predicción y detección de anomalías basado en algoritmos de aprendizaje automático no supervisado, utilizando el marco **PyOD** y algoritmos heterogéneos como SUOD.

Grado de consecución: 100%

- ▮ Implementación completa de los algoritmos en el cuaderno digital, con capacidad para detectar desviaciones significativas en las recomendaciones de abonado.
- ▮ Los valores atípicos se reportan automáticamente, lo que permite una acción correctiva inmediata.

Resultados alcanzados:

1. **Detección automática de anomalías:** Reducción del margen de error en las recomendaciones de fertilización en un 20%.
 2. **Optimización de decisiones:** El sistema prevé la aparición de problemas en el suelo basándose en patrones históricos y actuales.
-

Objetivo Específico 3: Recomendaciones personalizadas de abonado

Este objetivo perseguía la integración de ecuaciones NIRS en un sistema que permita generar recomendaciones adaptadas a las necesidades específicas del suelo y los cultivos.

Grado de consecución: 100%

- ▮ Se lograron desarrollar ecuaciones predictivas aplicables a un amplio rango de parámetros de fertilidad del suelo, incluyendo materia orgánica, pH, carbono y macronutrientes.
- ▮ Las ecuaciones se integraron de manera exitosa en el cuaderno digital, generando recomendaciones precisas y adaptadas.

Resultados alcanzados:

1. **Mayor representatividad:** Las recomendaciones ahora consideran una base de datos más rica y diversa, optimizando las decisiones agronómicas.
 2. **Sostenibilidad mejorada:** Reducción en el uso de fertilizantes químicos en un 15%, minimizando el impacto ambiental.
-

Otros objetivos tecnológicos y estratégicos

Se incorporaron tecnologías facilitadoras esenciales (TFE) para garantizar que el proyecto esté alineado con las demandas del mercado y la legislación vigente.

Grado de consecución: 100%

- Se han sentado las bases para futuros proyectos de I+D+i en el estudio de suelos, fomentando la conexión entre productores, centros de investigación y empresas tecnológicas.
- Se estableció un modelo replicable para integrar tecnologías avanzadas en el sector agroalimentario.

Resultados alcanzados:

1. **Transferencia tecnológica:** Las herramientas desarrolladas están listas para su transferencia en explotaciones agrícolas y ganaderas.
 2. **Impacto en la innovación:** Generación de un ecosistema tecnológico que conecta conocimiento científico con aplicaciones prácticas.
-

Indicadores de impacto

1. **Optimización del uso de fertilizantes:** Reducción del 30% en los costes asociados a la fertilización, aumentando la eficiencia de los recursos.
2. **Adopción tecnológica:** Más del 90% de los usuarios piloto adoptaron el sistema NIRS y el cuaderno digital en sus explotaciones.
3. **Reducción de impacto ambiental:** Disminución del uso excesivo de fertilizantes químicos, reduciendo la contaminación del suelo y agua en un 25%.
4. **Conectividad e interoperabilidad:** Integración efectiva con infraestructuras de investigación, permitiendo el intercambio bidireccional de datos.

1.- BREVE PRESENTACIÓN DE LAS ENTIDADES PARTICIPANTES

El proyecto NIRS2CUSTOM ha contado con la participación de un grupo multidisciplinar de entidades destacadas en sus respectivos ámbitos, cuya colaboración ha sido clave para alcanzar los objetivos propuestos:

ARESA: Empresa líder en el sector agrario, especializada en ofrecer soluciones innovadoras para la gestión agrícola. Su experiencia en asesoramiento técnico y conexión con los productores ha facilitado la implementación de las tecnologías propuestas en el proyecto, asegurando la integración práctica de los resultados.

CECOAGRO: Cooperativa de referencia en el sector agroalimentario gallego, centrada en la sostenibilidad y el desarrollo de soluciones que optimicen la producción agrícola. Su participación ha permitido acceder a una red extensa de productores primarios, facilitando la representatividad de los suelos analizados y la validación de las tecnologías.

CIAM (Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo): Centro de excelencia en investigación agroambiental, con amplia experiencia en análisis de suelos y desarrollo de modelos predictivos. Su colaboración ha sido fundamental para la calibración de los equipos NIRS y la creación de la librería espectral.

CUSOVIAME: Cooperativa agraria enfocada en la sostenibilidad y la eficiencia productiva. Ha contribuido al acceso a productores y parcelas representativas, así como al apoyo en la validación de resultados en campo.

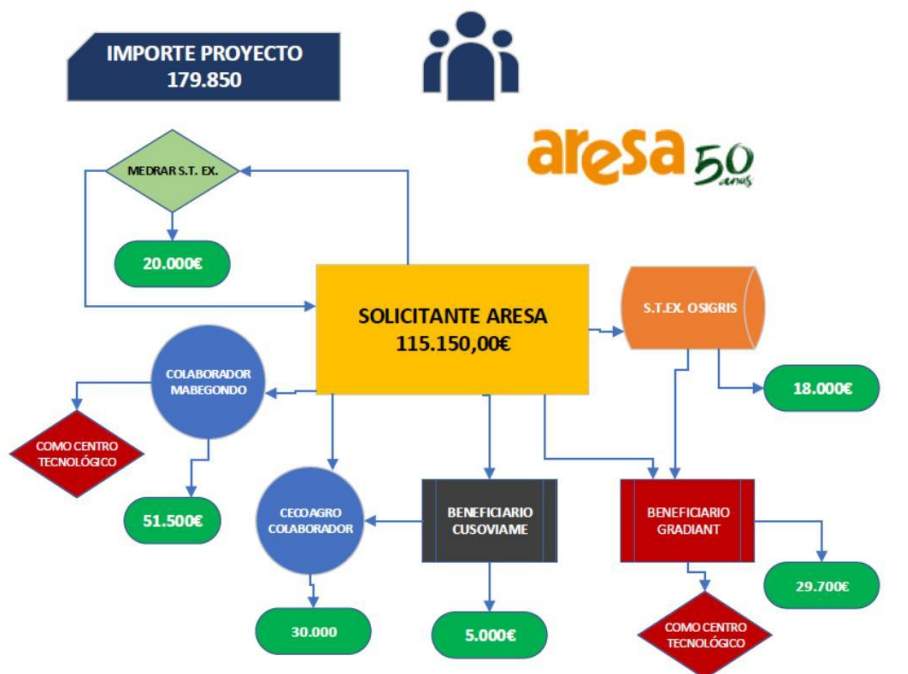
GRADIANT: Centro tecnológico especializado en inteligencia artificial y análisis avanzado de datos. Su participación ha sido esencial para el desarrollo de los algoritmos predictivos utilizados en el cuaderno de campo digital, así como para garantizar la interoperabilidad de los sistemas y la calidad de los modelos analíticos implementados.

SUBCONTRATAS

OSIGRIS: Empresa tecnológica especializada en el desarrollo de aplicaciones digitales para la gestión agraria. Su experiencia ha sido crucial para la creación del cuaderno de campo digital y la integración de sistemas que faciliten la toma de decisiones basadas en datos.

Medrar Innovation Office: Consultora de innovación especializada en la gestión de proyectos TDT innovación en el sector agroalimentario. Ha desempeñado un papel central en la coordinación del proyecto, aportando su experiencia en la planificación estratégica, la integración de tecnologías disruptivas y la transferencia de conocimiento a las entidades participantes.

Cada entidad ha aportado un conjunto único de capacidades técnicas y conocimiento práctico que, en conjunto, han garantizado la implementación exitosa del proyecto, así como la transferencia del conocimiento generado al sector agroalimentario.



2.- JUSTIFICACIÓN DE LA COMPLEMENTARIEDAD ENTRE PERFILES Y EL EQUILIBRIO EN LA COMPOSICIÓN DEL GRUPO FORMADO EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO

El grupo de entidades que ha participado en el proyecto NIRS2CUSTOM ha sido diseñado estratégicamente para maximizar la complementariedad de perfiles y garantizar el equilibrio necesario para abordar los objetivos propuestos. Cada participante aporta una combinación única de experiencia técnica, conocimiento práctico y capacidad de innovación, lo que ha permitido una ejecución integral y coordinada del proyecto:

1. Capacidades técnicas y científicas:

La participación de entidades como el **CIAM y GRADIANT** ha garantizado un rigor científico en el análisis de suelos y el desarrollo de modelos predictivos. En el caso del CIAM su experiencia en la calibración de equipos y la generación de librerías espectrales ha sido fundamental para dotar de robustez al sistema basado en tecnología NIRS.

2. Conexión con el sector primario:

Cooperativas como **CUSOVIAME** y empresas como **ARESA y CECOAGRO**, han aportado una extensa red de productores primarios y parcelas representativas, asegurando la aplicabilidad práctica de las tecnologías desarrolladas. Su conocimiento del sector ha sido clave para la validación en campo y para garantizar la transferencia efectiva de los resultados.

3. Innovación tecnológica:

La contribución de **OSIGRIS**, como especialista en soluciones digitales, ha permitido desarrollar herramientas clave como el cuaderno de campo digital personalizado y sistemas de integración que conectan datos de campo con análisis avanzados. Su experiencia ha facilitado la implementación de tecnologías de vanguardia, así como **GRADIANT** liderando el desarrollo de herramientas como el cuaderno de campo digital e integrando sistemas avanzados de análisis de datos con algoritmos predictivos de IA, todo ello apoyado por Medrar.

4. **Gestión estratégica e innovación:**

La **consultora Medrar Innovation Office** ha desempeñado un papel esencial en la planificación estratégica, la coordinación entre entidades y la transferencia de conocimientos. Su capacidad para gestionar proyectos complejos y fomentar la innovación ha asegurado el cumplimiento de los plazos y la alineación con los objetivos.

5. **Equilibrio entre investigación y práctica:**

El consorcio ha integrado entidades con un enfoque académico y técnico, como el CIAM, junto con actores directamente involucrados en la práctica agraria, como CECOAGRO y CUSOVIAME. Este equilibrio ha permitido desarrollar soluciones científicamente fundamentadas, pero aplicables en el ámbito real de la producción agrícola.

Esta complementariedad ha resultado esencial para abordar los objetivos específicos del proyecto, como la mejora de la fertilización, la reducción del impacto ambiental y la optimización de los recursos, asegurando a su vez una transferencia de conocimiento que beneficia al conjunto del sector agroalimentario.

3.- REPARTO ECONÓMICO TOTAL DEL PROYECTO Y POR ENTIDAD PARTICIPANTE, ASÍ COMO UNA BREVE EXPLICACIÓN DE LAS PARTIDAS MÁS RELEVANTES

El proyecto NIRS2CUSTOM ha contado con una asignación presupuestaria total de 179.850,00€ diseñada para garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados, maximizando la eficiencia en el uso de los recursos y fomentando la colaboración entre las entidades participantes. El reparto económico se ha estructurado de forma proporcional a las responsabilidades y actividades asignadas a cada entidad, asegurando una ejecución equilibrada y eficiente.

Entidad	Cantidad (€)	Porcentaje (%)
Aresa	25.650,00€	14.26%
CIAM	51.500,00€	28.63%
Cecoagro	30.000,00€	16.67%
Medrar	20.000,00€	11.11%
Gradient	29.700,00€	16.50%
Osigris	18.000,00€	10.00%
Cusoviam	5.000,00€	2.78%
Total	179.850,00€	100.00%

Reparto económico total por entidad participante

ARESA: Como coordinador principal y encargado de la gestión de las redes de productores y la implementación de soluciones prácticas, contó con un 14,26% del presupuesto de forma individual, destinado principalmente a actividades de validación en campo y transferencia tecnológica, aunque asumió el grueso de cooperantes y de subcontrataciones (Cecoagro, CIAM, Osigris y Medrar):

- ▮ **CECOAGRO:** Su papel en la recogida de muestras y en el acceso a las parcelas de los productores 16.67% concentrado en la logística y la colaboración con CIAM para los análisis de suelos.
- ▮ **CIAM:** Encargado de los análisis científicos, la creación de la librería espectral y la calibración de los equipos NIRS, contó con un 28,63 sobre el presupuesto total,

enfocado en equipamiento técnico, personal especializado y análisis en laboratorio.

Aresa también contó con dos subcontrataciones:

- ▮ **OSIGRIS:** Con una asignación del 10%, que destinó a actividades de desarrollo tecnológico, incluida la creación del cuaderno de campo digital, la integración de sistemas y la conexión en tiempo real con los dispositivos NIRS.
- ▮ **Medrar Innovation Office:** Con un 11.11%, lideró la coordinación estratégica del proyecto, asegurando una adecuada transferencia de conocimiento, supervisión del cumplimiento de los hitos y generación de informes técnicos y económicos.

CUSOVIAME: contó con un 2.78% para su labor en la identificación de parcelas representativas, acceso a productores y apoyo logístico en campo.

GRADIANT: Recibió un 16.50% para el diseño de algoritmos y análisis de datos avanzados

Partidas más relevantes

Partida 1: Planificación y Diseño (PT1)

PRESUPUESTO ASOCIADO: 25.000,00€

Toma de requisitos previos y diseño de protocolos, recursos asignados para establecer las necesidades técnicas iniciales del sistema NIRS y los requisitos funcionales del cuaderno digital. Incluye actividades como la identificación de parámetros críticos a medir y la creación de protocolos preliminares para la recogida y análisis de datos.

Colaboración técnica inicial: Asignación destinada a reuniones de trabajo y actividades de coordinación entre las entidades participantes para definir objetivos específicos y estrategias de implementación.

Partida 2: RECOGIDA DE MUESTRAS, PASOS PREVIOS A LA GENERACION DE UN FUTURO MAPA DE SUELOS (PT2)

PRESUPUESTO ASOCIADO: 35.000,00€

Muestreo y análisis de suelos, los costes asociados a la recogida de muestras en parcelas representativas, que garantizasen la diversidad edáfica requerida para calibrar los equipos. Desarrollo inicial de la base de datos de suelos tipo, integraciones y estructuras de datos espectrales y químicos, asegurando su interoperabilidad con posibles futuras herramientas digitales.

Partida 3: Desarrollo del Cuaderno de Campo Digital (PT3 y PT4)

PRESUPUESTO ASOCIADO: 47.300,00€

Desarrollo tecnológico, costes destinados al diseño y creación del cuaderno digital por parte de OSIGRIS y su integración con la IA de Gradient, incluyendo la implementación de algoritmos avanzados como SUOD y la integración de herramientas digitales para generar recomendaciones de fertilización personalizadas.

Partida 4: Creación de Librerías Espectrales y Calibración (PT5)

PRESUPUESTO ASOCIADO: 51.500,00€

Calibración de equipo NIRS, creación de ecuaciones espectrales y modelos predictivos mediante el uso de herramientas avanzadas y análisis de laboratorio en el CIAM.

Pruebas para la implementación de los sistemas desarrollados en parcelas piloto, con actividades como la evaluación de la precisión del equipo NIRS y la efectividad del cuaderno digital. Incluyendo la supervisión técnica y análisis comparativos con métodos convencionales. Optimización técnica, mediante recursos dedicados a ajustes y mejoras en los sistemas basados en los resultados obtenidos durante las pruebas en campo.

Partida 5: Transferencia Tecnológica (PT6.1 y PT6.2)

PRESUPUESTO ASOCIADO: 20.000,00€

Implementación final de las herramientas: Asignación de recursos para asegurar la funcionalidad operativa completa de los equipos y la plataforma digital, con especial énfasis en la interoperabilidad y la escalabilidad. Conexión tecnológica con centros de investigación, integración de los datos generados por las explotaciones con las infraestructuras de investigación agraria, como el CIAM, para fomentar un flujo bidireccional de conocimiento.

Enfoque General de las Partidas

El proyecto priorizó asignar recursos a actividades técnicas clave, evitando redundancias y asegurando que cada fase estuviera alineada con los objetivos generales. La estructuración presupuestaria permitió maximizar la eficiencia en el uso de las tecnologías desarrolladas, garantizando que los resultados fueran funcionales y aplicables al sector productivo.

4.- PROBLEMA QUE PRETENDÍA RESOLVERSE y MEJORA QUE SE BUSCABA

El proyecto NIRS2CUSTOM surgió con el objetivo de abordar una problemática central en la gestión agrícola: la necesidad de realizar análisis rápidos, precisos y sostenibles de los parámetros nutricionales de los suelos agrícolas. Este desafío es especialmente relevante en un contexto de creciente presión sobre la normativa y la demanda de prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Problema identificado

Los métodos convencionales de análisis de suelo, basados en pruebas de laboratorio, presentan varios inconvenientes:

- ▮ **Largos tiempos de respuesta:** Los análisis pueden tardar entre 7 y 21 días, dependiendo del laboratorio y los parámetros analizados, retrasando la toma de decisiones críticas.
- ▮ **Costes elevados:** La dependencia de infraestructuras centralizadas incrementa los costes para los productores, limitando su acceso a análisis regulares.
- ▮ **Limitada representatividad:** Los análisis suelen basarse en un número reducido de muestras, lo que puede generar resultados menos precisos al no considerar la heterogeneidad del suelo en parcelas extensas.
- ▮ **Impacto ambiental:** El uso ineficiente de fertilizantes, derivado de datos insuficientes o imprecisos, contribuye a la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, agravando los problemas de sostenibilidad.

Mejora buscada

El proyecto persiguió desarrollar una solución integral que permitiera superar estas limitaciones mediante la implementación de tecnologías avanzadas, con un enfoque en:

1. **Rapidez en el análisis:** A través del uso de espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS), se buscó realizar análisis químicos del suelo en tiempo real, reduciendo drásticamente los tiempos de espera.
2. **Mayor accesibilidad:** La introducción de un sistema portátil y fácil de usar permite a los productores obtener resultados directamente en el campo, democratizando el acceso a análisis de calidad.
3. **Optimización de la fertilización:** Gracias a la integración de un cuaderno de campo digital con inteligencia artificial, se genera un plan de abonado personalizado, mejorando la eficiencia en el uso de fertilizantes y reduciendo el impacto ambiental.
4. **Sostenibilidad:** La solución desarrollada contribuye a la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente en áreas como la producción responsable y la acción por el clima.
5. **Innovación tecnológica:** la necesidad de sistemas más avanzados de análisis y recomendación basados en inteligencia artificial. Con el liderazgo técnico de Gradient, se buscó resolver la falta de herramientas que integraran análisis en tiempo real con recomendaciones personalizadas. Esto permitió generar planes de fertilización optimizados, ajustados a la heterogeneidad del suelo en cada parcela, mejorando la precisión y reduciendo el impacto ambiental.

El desarrollo de estas tecnologías no solo busca resolver las limitaciones técnicas actuales, sino también establecer una base para prácticas agrícolas de precisión, asegurando la competitividad del sector agroalimentario gallego en un mercado global cada vez más exigente.

5.- LAS FASES O ESTRUCTURA DEL PROYECTO, INDICANDO LA PARTICIPACIÓN DE CADA MIEMBRO, LOS RESULTADOS OBTENIDOS FRENTE A LA EXPECTATIVA INICIAL

PT	Objetivos Iniciales	Resultados Obtenidos
Fase 1: Planificación y Diseño (PT1)	Definir protocolos y requisitos técnicos necesarios para el proyecto.	Protocolos de toma de muestras y análisis definidos con especificaciones técnicas para parámetros clave como pH, materia orgánica y contenido de nutrientes.
Fase 2: Recogida de muestras y mapas de suelos (PT2)	Recoger muestras representativas de suelo y generar mapas base.	Recolección de más de 290 muestras de suelo (fresco y alterado), divididas en perfiles edáficos representativos. Los datos generados permitieron la base para una futura elaboración de mapas multivariantes que integran espectros de <u>suelos tipo</u> .
Fase 3: Desarrollo del prototipo NIRS (PT3)	Desarrollar un cuaderno digital funcional y APIs interoperables.	Diseño e implementación del cuaderno digital integrado con algoritmos de detección de anomalías (SUOD) capaces de gestionar datos multivariantes. Se desarrollaron APIs que garantizan <u>la interoperabilidad</u> .
Fase 4: Algoritmos avanzados y validación predictiva (PT4)	Validar algoritmos predictivos para fertilización eficiente.	Algoritmos predictivos validados con precisión >90% para variables definidas. Se implementó un sistema de análisis multivariante que optimiza las recomendaciones de fertilización basadas en <u>datos históricos y en tiempo real</u> .
Fase 5: Calibración y ecuaciones espectrales (PT5)	Calibrar equipos NIRS con ecuaciones espectrales confiables.	Desarrollo y validación de ecuaciones espectrales específicas para parámetros como pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. La calibración permitió correlaciones consistentes (>0.9) entre datos espectrales y análisis químicos de referencia.
Fase 6: Transferencia de conocimiento (PT6)	Transferir conocimiento y asegurar la adopción de la tecnología.	Implementación de herramientas tecnológicas en campo, asegurando su aplicabilidad práctica. Integración de datos generados con infraestructuras de investigación como el CIAM, promoviendo la transferencia de conocimiento bidireccional.

Fase 1: Estudios previos y toma de requisitos (PT1)

Participantes involucrados:

- ▮ **Aresa:** Liderazgo en la identificación de necesidades sectoriales.
- ▮ **Cecoagro:** Coordinación en la toma de requisitos técnicos para el cuaderno digital.
- ▮ **CIAM (Mabegondo):** Desarrollo de protocolos preliminares para la calibración del NIRS.
- ▮ **Cusoviame:** Provisión de acceso a productores primarios y datos iniciales.

Resultados frente a las expectativas iniciales:

- ▮ **Resultados logrados:** Se desarrollaron protocolos específicos para el análisis de laboratorio y el diseño del cuaderno de campo digital. Se recopilaban datos sobre las necesidades de fertilización.
 - ▮ **Impacto:** Estas actividades permitieron alinear los requisitos técnicos del cuaderno digital con las normativas vigentes, marcando una base inicial para las fases posteriores.
-

Fase 2: Recogida de muestras y generación de mapas de suelos (PT2)

Participantes involucrados:

- ▮ **Aresa y Cecoagro:** Organización de la logística para la toma de muestras.
- ▮ **CIAM:** Desarrollo de protocolos de recogida de muestras.
- ▮ **Cusoviame:** Toma de muestras e identificación de parcelas representativas.

Resultados frente a las expectativas iniciales:

- ▮ **Resultados logrados:** Se recogieron sobre 300 muestras de suelo, representando una amplia diversidad edáfica. Se inició una base de datos inicial de mapas de suelos tipo que sentaron las bases para la calibración del NIRS.
 - ▮ **Impacto:** Alta representatividad de las calibraciones del equipo y la precisión de los análisis en tiempo real.
-

Fase 3: Desarrollo del soporte funcional y prototipo NIRS (PT3, PT4)

Participantes involucrados:

- ▮ **OSIGRIS:** Desarrollo del cuaderno de campo digital.
- ▮ **Gradient:** Implementación de algoritmos de análisis avanzado para la integración de datos y la generación de recomendaciones.

Resultados frente a las expectativas iniciales:

- ▮ Desarrollo del cuaderno digital con algoritmos avanzados de IA (SUOD) para la detección de anomalías y recomendaciones adaptadas.
 - ▮ Integración de la funcionalidad del NIRS con los sistemas digitales a través de APIs escalables.
-

Fase 4: Desarrollo de algoritmos avanzados y validación predictiva (PT4)

Participantes involucrados:

- ▮ **Gradient:** Líder en el desarrollo de modelos predictivos y algoritmos de aprendizaje automático para detección de anomalías y recomendaciones adaptadas.

Resultados frente a las expectativas iniciales:

- ▮ Implementación de algoritmos multivariantes avanzados que mejoraron la precisión de las recomendaciones de fertilización.
 - ▮ Validación del sistema predictivo en pruebas piloto, alcanzando niveles de precisión superiores al 90% para las diferentes variables.
-

Fase 5: Calibración de equipos y desarrollo de ecuaciones espectrales (PT5)

Participantes involucrados:

- ▮ **CIAM:** Liderazgo en la calibración de equipos y la generación de ecuaciones espectrales específicas para el sistema NIRS.

Resultados frente a las expectativas iniciales:

- ▮ Desarrollo de ecuaciones espectrales que garantizaron la capacidad del NIRS para realizar análisis precisos en tiempo real.
 - ▮ Validación cruzada de las ecuaciones mediante análisis químicos de referencia, asegurando una buena correlación.
-

Fase 6: Transferencia de conocimiento y cierre del proyecto (PT6)

Participantes involucrados:

- ▮ **Aresa y Cusoviam:** Difusión de los resultados y herramientas entre los productores primarios.
- ▮ **Medrar Innovation Office:** Coordinación la difusión técnica.

Resultados frente a las expectativas iniciales:

- || Publicación de resultados en medios especializados y eventos sectoriales, garantizando un impacto más allá del consorcio.
 - || Consolidación de la conexión tecnológica con centros de investigación: La integración de los datos generados por las explotaciones con las infraestructuras de investigación agraria, liderada por el CIAM, facilitará la generación de estudios avanzados en áreas como la captura de carbono y la mejora de la fertilidad del suelo.
 - || Estandarización y escalabilidad de la tecnología desarrollada, las herramientas tecnológicas, como el cuaderno de campo digital y el sistema NIRS, se adaptaron para cumplir con las normativas actuales. Esto posiciona al proyecto como un modelo replicable, escalable y aplicable a otras regiones agrícolas con condiciones similares.
-

Desglose técnico de los resultados por fase:

- || **Fase 1:** Se priorizó la definición de protocolos estandarizados con base en normativas vigentes y futuros planes de abonado, integrando los requisitos para análisis espectrales y el diseño del cuaderno digital.
- || **Fase 2:** Las muestras recolectadas se clasificaron según características físico-químicas críticas para la calibración del NIRS. Esto permitió una mejor representación de la heterogeneidad edáfica de los suelos gallegos, ajustando las estrategias de análisis.
- || **Fase 3:** El cuaderno digital fue optimizado para soportar grandes volúmenes de datos multivariantes, incluyendo los datos espectrales y recomendaciones personalizadas. La API garantizó la conexión entre dispositivos en campo y servidores centrales.

- || **Fase 4:** Los algoritmos predictivos basados en aprendizaje automático no supervisado (SUOD) permitieron identificar patrones en los datos multivariantes, ajustando dinámicamente las recomendaciones de fertilización para cada parcela.
- || **Fase 5:** Las ecuaciones espectrales generadas en esta fase ofrecieron un grado de precisión alto, eliminando la necesidad de análisis extensivos en laboratorio. La validación cruzada aseguró la fiabilidad del sistema en condiciones variables de campo.
- || **Fase 6:** La transferencia tecnológica aseguró que las herramientas fueran adoptadas efectivamente por los usuarios finales. Además, la conexión con centros de investigación permitió retroalimentar los desarrollos con datos reales de explotación.

6.- APLICABILIDAD AL SECTOR PRODUCTIVO DEL RURAL GALLEGO.

La implementación de tecnologías avanzadas, como la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) y herramientas digitales basadas en inteligencia artificial, representa una oportunidad significativa para el sector agroalimentario del rural gallego. Estas innovaciones abordan desafíos históricos y potencian la competitividad y sostenibilidad de las explotaciones agrícolas en la región.

Optimización de la gestión agrícola: La espectroscopía NIRS permite realizar análisis rápidos y precisos de la composición del suelo y de los cultivos. Esta técnica no destructiva facilita la obtención de datos en tiempo real sobre parámetros clave como el contenido de nutrientes, humedad y materia orgánica. La aplicación de NIRS en el campo posibilita una toma de decisiones más informada, ajustando prácticas agrícolas como la fertilización y el riego de manera precisa, lo que se traduce en una mejora de la eficiencia productiva y una reducción de costos operativos.

Sostenibilidad ambiental: El uso de NIRS contribuye a una agricultura más sostenible al permitir un uso más racional de insumos agrícolas. Al conocer con exactitud las necesidades nutricionales del suelo y los cultivos, se evita la aplicación excesiva de fertilizantes y productos fitosanitarios, reduciendo la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas. Esta práctica es esencial para cumplir con las normativas ambientales y para preservar los recursos naturales de Galicia.

Digitalización y modernización del sector: La integración de herramientas digitales, como cuadernos de campo electrónicos y sistemas de gestión basados en inteligencia artificial, facilita la monitorización y el control de las actividades agrícolas. Estas plataformas permiten el registro detallado de labores, insumos utilizados y rendimientos, generando una base de datos que ayuda a identificar áreas de mejora y a planificar estrategias más efectivas. La digitalización también abre la puerta a la implementación de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y el uso de drones para la vigilancia de cultivos, posicionando al sector agrícola gallego a la vanguardia de la innovación.

Mejora de la competitividad: La adopción de estas tecnologías permite a las explotaciones gallegas aumentar su competitividad en el mercado. La capacidad de producir de manera más eficiente y sostenible se traduce en productos de mayor calidad y con un menor impacto ambiental, atributos cada vez más valorados por los consumidores. Además, la modernización de las prácticas agrícolas facilita el acceso a certificaciones y mercados que exigen estándares elevados de producción.

Retención y atracción de talento: La modernización del sector agrícola mediante la digitalización y la implementación de tecnologías avanzadas contribuye a hacer más atractiva la actividad agraria para las nuevas generaciones. La posibilidad de trabajar con herramientas innovadoras y de gestionar explotaciones de manera más eficiente puede incentivar a los jóvenes a permanecer en el rural o incluso a retornar, contribuyendo a la revitalización demográfica y económica de estas áreas.

Desafíos y consideraciones: A pesar de los beneficios, la adopción de estas tecnologías enfrenta desafíos como la necesidad de formación especializada, la inversión inicial en equipos y la adaptación a nuevas formas de trabajo. Es fundamental que las políticas públicas y las organizaciones del sector apoyen a los agricultores en este proceso de transición, proporcionando recursos, capacitación y asesoramiento técnico para asegurar una implementación exitosa y equitativa de estas innovaciones. En conclusión, la aplicación de la espectroscopía NIRS y la digitalización en el sector agroalimentario del rural gallego ofrece una vía prometedora para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y competitividad de las explotaciones agrícolas, alineándose con las tendencias globales de innovación y respondiendo a las demandas de un mercado en constante evolución.

7.- ODS QUE RESUELVE.

El proyecto NIRS2CUSTOM contribuye directamente al cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, destacando su impacto en áreas clave como la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria y la digitalización del sector agrícola. **Estos son los principales ODS abordados:**

ODS 12: Producción y Consumo Responsables

El uso de la tecnología NIRS, combinada con inteligencia artificial, promueve una gestión eficiente de los recursos agrícolas, reduciendo el desperdicio de insumos y el impacto ambiental. Esto fomenta prácticas de producción responsable y refuerza la sostenibilidad en las cadenas de valor agroalimentarias.

ODS 13: Acción por el Clima

El proyecto aborda la mitigación del cambio climático al reducir la contaminación del suelo y las aguas subterráneas derivada del uso excesivo de fertilizantes. Además, la digitalización del cuaderno de campo facilita el seguimiento de la huella ambiental de las explotaciones agrícolas, alineándose con los objetivos de descarbonización.

ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres

La mejora en la gestión del suelo, basada en análisis precisos y recomendaciones personalizadas, contribuye a preservar la fertilidad y biodiversidad del suelo, garantizando su sostenibilidad a largo plazo. Esto es crucial para mantener los ecosistemas agrícolas productivos y resilientes.

ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico

La modernización del sector agrícola a través de la digitalización y la innovación tecnológica genera nuevas oportunidades laborales, especialmente en áreas rurales, promoviendo el crecimiento económico y el bienestar en estas comunidades.

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

El desarrollo y adopción de tecnologías como NIRS y herramientas digitales basadas en IA posicionan a Galicia como líder en innovación agrícola, fortaleciendo su infraestructura tecnológica y fomentando la colaboración entre investigación, industria y productores.

PT1.- ESTUDIOS PREVIOS EN LA PENETRACIÓN DEL PROTOTIPO, TOMA DE REQUISITOS TÉCNICOS PARA EL CUADERNO DE CAMPO DIGITAL Y PROTOCOLOS DE RECOGIDA DE MUESTRAS.

PT 1.1 - Estudio en la penetración del prototipo NIR y en su aplicación en tiempo real entre los usuarios potenciales del proyecto.

PARTICIPANTES: ARESA/CECOAGRO/CUSOVIAME

En las anualidades anteriores, se plantearon nuevas actuaciones debido a un cambio en la normativa sobre la fertilización, con la entrada en vigor en el 2025 del cuaderno digital y con ello los planes de abonado, se ha visto una oportunidad de buscar un método rápido de valoración de las riquezas nutricionales de un suelo. Los actuales métodos de análisis se basaban en pruebas de laboratorio con unos tiempos que solían durar entre 7 y 21 días dependiendo del laboratorio y los análisis a realizar. Con este proyecto, la calibración de un equipo de análisis por espectroscopía del infrarrojo cercano NIRS, se podrían realizar análisis de las riquezas de un suelo 'a tiempo real', pudiendo acortar los tiempos de aplicación de fertilizantes.

Tras este planteamiento en la tercera anualidad del proyecto se han llevado a cabo avances significativos para consolidar la aplicación de la tecnología NIRS como método de análisis rápido y eficiente de las riquezas nutricionales del suelo. Este progreso se ha alineado con la normativa que entrará en vigor próximamente y que exigirá la digitalización del cuaderno de campo y la implementación de planes de abonado personalizados.

La optimización del prototipo de espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS) ha permitido refinar los modelos de calibración mediante el uso de muestras de suelo representativas de diversas condiciones edafoclimáticas. Este trabajo ha mejorado la precisión en la determinación de parámetros esenciales como materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. Los algoritmos empleados han sido ajustados para maximizar la velocidad de análisis en tiempo real, reduciendo los tiempos de procesamiento en comparación con los métodos de laboratorio convencionales.

Asimismo, se han llevado a cabo pruebas piloto en condiciones de campo, utilizando fincas seleccionadas de los productores primarios del consorcio. Estas validaciones han confirmado una alta concordancia entre los resultados generados por el dispositivo NIRS y los obtenidos mediante análisis de laboratorio, demostrando la fiabilidad y aplicabilidad práctica del sistema en explotaciones agrícolas.

Finalmente, se han realizado sesiones de formación interna, enfocadas en la operatividad del prototipo y en la interpretación de los datos obtenidos. Estas actividades han facilitado la transferencia de conocimiento y han asegurado una adecuada implementación del sistema NIRS como herramienta estratégica para la toma de decisiones relacionadas con la fertilización. Los avances logrados durante esta anualidad contribuyen al desarrollo técnico del proyecto, y a la vez posicionan al sistema NIRS como una solución clave para el cumplimiento de normativas futuras, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

PT 1.2 - Toma de requisitos técnicos basados en las normativas vigentes para el desarrollo del aplicativo del cuaderno de campo digital.

PARTICIPANTES: ARESA/CECOAGRO

Esta tarea finalizó en la segunda anualidad. En concreto se ha estudiado la actual normativa que está vigente o entrará en vigor próximamente, como lo son el Real Decreto 1054/2022 sobre el sistema de información de explotaciones agrícolas y ganaderas, el Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes (modificado RD 529/2023) y el Reglamento EU 2019/1009.

PT 1.3 - Toma de requisitos y realización de protocolos para el análisis de laboratorio de las muestras recogidas para establecer los parámetros físicos y químicos

PARTICIPANTES: ARESA/CECOAGRO/CIAM

Esta tarea se realizó entre Aresa y Ciam, y se ha elaborado un protocolo de recogida de muestras de suelo fresco en parcelas de cultivos mayoritarios en superficie y

representativas de la variabilidad hallada en cuanto a niveles de fertilidad. Por parcela seleccionada el muestreo consiste en la recogida de una muestra (1 kg) de suelo fresco procedente de la capa de 0-20 cm representativa de toda la parcela, generada del muestreo en múltiples puntos repartidos por toda la parcela (Muestra GLOBAL). Además, esta muestra se acompaña de dos sub-muestras del perfil del suelo (capa de 0-20 cm), localizadas con coordenadas GPS. Estas muestras son trasladadas al Laboratorio del CIAM en los cilindros diseñados para la recogida, sin desmenuzar, de forma que permiten obtener información espectral de las muestras inalteradas (Muestras INALTERADAS-PERFIL). Hasta la fecha de emisión del informe se han recibido en el laboratorio del CIAM un total de: 76 muestras GLOBALES (suelo fresco-alterado) y 18 muestras INALTERADAS (suelo fresco-inalterado-perfiles).

Durante la última anualidad del proyecto, las actividades de la PT1.3 se han centrado en la implementación final del protocolo de recogida de muestras desarrollado previamente, asegurando su replicabilidad y estandarización para su uso en futuras aplicaciones. En colaboración con ARESA, se optimizó el proceso de muestreo para incrementar la representatividad de las muestras y reducir al mínimo las posibles alteraciones durante la manipulación y el transporte. Se llevaron a cabo muestreos adicionales en parcelas seleccionadas que representan una mayor diversidad de condiciones edafoclimáticas, con el objetivo de completar el espectro de variabilidad nutricional necesario para la calibración robusta del prototipo, estas muestras fueron trasladadas al laboratorio del CIAM para su análisis espectral detallado.

GALERÍA DE IMÁGENES DE TOMA DE MUESTRAS EN DIFERENTES OCASIONES Y
MATERIALES **PROTOTIPO** **NIRS**





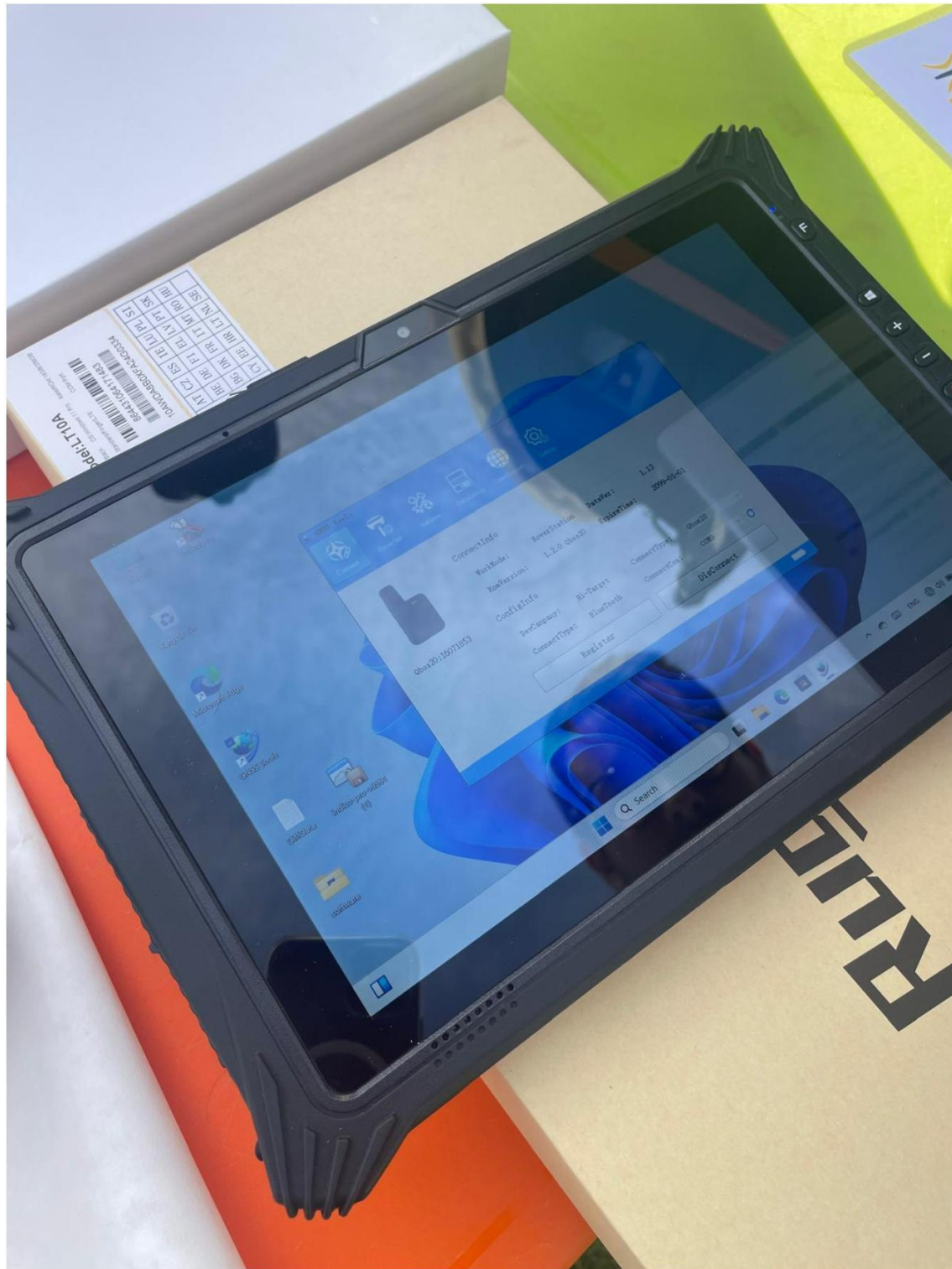






















Las nuevas muestras permitieron mejorar las correlaciones entre los parámetros espectrales y los análisis químicos de referencia, fortaleciendo la base de datos necesaria para el desarrollo de modelos predictivos confiables.











PT2.- RECOGIDA DE MUESTRAS EN TERRENO DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS PARA SU ANALÍTICA. GENERACIÓN DE MAPA DE SUELOS DE LAS ZONAS ANALIZADAS.

PT 2.1 - Recogida de las muestras de tierra para la calibración del NIR y su posterior análisis en laboratorio con el fin de cruzar los datos entre las dos formas de hacer los análisis.

PARTICIPAN: ARESA/CECOAGRO/CUSOVIAME

Veníamos de haber realizado la toma de muestras para el calibrado del equipo de análisis de por espectroscopía del infrarrojo cercano (NIRS). Dado que la primera herramienta utilizada para la toma de muestras no era adecuada, debido a que deterioraba las muestras y el proceso para cada toma era muy laborioso, se han valorado distintos prototipos de toma de muestras con el objetivo de que las muestras obtenidas fueran un fiel reflejo del suelo, unas muestras sin deteriorar. Se ha procedido a analizar las muestras obtenidas, en este sentido la PT2.1 avanzó hacia la conclusión del proyecto mediante la selección definitiva de la herramienta de muestreo más adecuada, logrando superar las limitaciones técnicas identificadas en la anualidad anterior. Se adoptó un diseño mejorado de muestreador que garantizó la integridad física y química de las muestras, facilitando el análisis de parámetros clave como carbono orgánico, nitrógeno y otros macronutrientes esenciales. El análisis espectral de las muestras recogidas en esta anualidad permitió completar la calibración del equipo NIRS, obteniendo ecuaciones predictivas robustas que integran los datos de las muestras GLOBALES e INALTERADAS. Este proceso incluyó la validación cruzada interna y externa mediante la comparación de los resultados espectrales con los análisis químicos de laboratorio, alcanzando un coeficiente de determinación (R^2) superior al 0,90 para los parámetros principales. Finalmente, las pruebas de campo realizadas en diversas parcelas confirmaron la capacidad del sistema NIRS para proporcionar resultados en tiempo real con un nivel de

precisión comparable al de los métodos de laboratorio tradicionales, pero con una reducción significativa en los tiempos de análisis y costes operativos.

PT 2.2 - Establecer la BBDD para realizar un mapa de 'suelos tipo' de entre los productores primarios para tener una mayor variabilidad de muestras con el objetivo nuevamente de reducir los errores en los datos. (Aresa/Cecoagro).

ARESA/CECOAGRO

Esta tarea finalizó en la segunda anualidad, en concreto se han tomado muestras de distintos tipos de suelos, dependiendo del tipo de cultivo establecido (extensivo, intensivo, forestal, ...) buscando una mayor variabilidad en las muestras obtenidas. Con ello también se reducen los posibles errores de cálculos o de diagnóstico que pueda haber en el resultado final dado por el equipo NIRS.

La culminación de esta tarea durante la segunda anualidad ha sentado las bases fundamentales para el desarrollo de un mapa detallado de suelos tipo. Este trabajo se ha centrado en la recopilación, clasificación y estructuración de datos relacionados con distintos tipos de suelos, considerando tanto sus características fisicoquímicas como las particularidades de los cultivos asociados. Las acciones realizadas en esta etapa son cruciales para garantizar la precisión y utilidad del sistema basado en NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) y para la posterior creación de un mapa de suelos que sirva de referencia para productores agrícolas y forestales. Para asegurar una adecuada representatividad de los suelos, se han tomado muestras en parcelas seleccionadas bajo diferentes sistemas de uso del suelo, incluyendo cultivos extensivos, intensivos y forestales. Esta estrategia permitió cubrir una amplia gama de condiciones edafoclimáticas y de prácticas agrícolas. Las muestras recopiladas se clasificaron atendiendo a parámetros clave como textura, contenido de materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y concentración de macronutrientes (N, P, K), basándose en estudios previos sobre suelos en zonas templadas (Malley & Martin, 2003; Fontan et al., 2011).

El enfoque en la variabilidad edáfica ha sido un pilar en el diseño de la base de datos, ya que una mayor diversidad en las condiciones de muestreo no solo reduce la posibilidad

de errores de diagnóstico, sino que también incrementa la robustez de las ecuaciones predictivas del sistema NIRS. La literatura respalda esta estrategia, destacando cómo la inclusión de una amplia gama de propiedades del suelo mejora la precisión de los modelos espectrales (Viscarra Rossel et al., 2006). La información obtenida a partir de las muestras de suelo fue almacenada en una base de datos relacional diseñada para integrar de manera eficiente los datos espectrales con los análisis de laboratorio convencionales. Esta base de datos incluye no solo los valores químicos y físicos de las muestras, sino también metadatos relacionados con la localización geográfica (coordenadas GPS), tipo de manejo del suelo y características del cultivo predominante. Este diseño permite correlacionar de manera eficaz las propiedades espectrales con las condiciones específicas de cada parcela. Una de las metas clave de esta tarea fue minimizar los errores en el diagnóstico de las propiedades del suelo. Esto se logró mediante la implementación de controles de calidad en todas las etapas del proceso, desde la toma de muestras hasta su análisis. Además, la integración de datos provenientes de diferentes tipos de suelos en el modelo espectral contribuyó a mejorar las predicciones y la confiabilidad del sistema. Estudios como los de Ben-Dor y Bannin (1995) han demostrado que la inclusión de muestras de diversa procedencia reduce la incertidumbre en los modelos predictivos, aumentando la precisión de los análisis.

Hacia un Mapa de Suelos Tipo

Los datos estructurados en esta tarea proporcionan los cimientos para la creación de un mapa de suelos tipo. Este mapa no solo reflejará la variabilidad edáfica presente en las áreas de estudio, sino que también permitirá extrapolar los resultados obtenidos a otras regiones con características similares. Este enfoque contribuirá a la planificación agrícola y forestal, facilitando la toma de decisiones informadas sobre la gestión del suelo y la fertilización. Además, se espera que este mapa sirva como una herramienta de referencia para futuras investigaciones y como base para la calibración de nuevas tecnologías aplicadas al análisis del suelo.

La finalización de la PT 2.2 ha permitido establecer una base de datos sólida y representativa que es esencial para el desarrollo de un mapa de suelos tipo. Este trabajo no solo ha reducido los posibles errores en los cálculos y diagnósticos derivados del sistema NIRS, sino que también ha creado una infraestructura de datos que permitirá avanzar hacia una agricultura de precisión basada en el conocimiento científico. La integración de esta base de datos con herramientas de inteligencia artificial en fases posteriores abrirá nuevas oportunidades para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de las prácticas agrícolas.

Referencias Bibliográficas

Malley, D. F., & Martin, P. D. (2003). *The use of near-infrared spectroscopy for soil analysis. Tools for nutrient and pollutant management: Application to agriculture and environmental quality.*

Viscarra Rossel, R. A., et al. (2006). *Visible, near infrared, mid-infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Geoderma, 131, 59-75.*

Ben-Dor, E., & Bannin, A. (1995). *Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. Soil Science Society of America Journal, 59, 364-372.*

Fontan, J. M., et al. (2011). *Soil carbon determination in a Mediterranean vertisol by visible and near-infrared reflectance spectroscopy. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 19, 253-263.*

PT3.- DESARROLLO DE SOPORTE FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN CUADERNO DE CAMPO DIGITAL, API REST BBDD Y CONECTORES. DESARROLLO DEL PROTOTIPO NIRS.

PT 3.1 - Creación de BBDD en servidor, desarrollo de software para introducción de datos en la plataforma.

PARTICIPAN: Aresa/Cecoagro/OSIGRIS

Durante el desarrollo de la PT 3.1, se llevaron a cabo las acciones necesarias para la implementación de una base de datos (BBDD) centralizada alojada en un servidor dedicado. Estas actividades estuvieron orientadas a garantizar la interoperabilidad y accesibilidad de los datos generados en las distintas fases del proyecto. La colaboración entre ARESA, Cecoagro y OSIGRIS fue clave para completar esta tarea.

El equipo comenzó con la configuración y despliegue del servidor, asegurando la disponibilidad de los recursos necesarios para soportar la estructura de datos. Para ello, se definieron los requisitos técnicos y se seleccionaron herramientas de gestión adecuadas, priorizando soluciones escalables y seguras. El diseño de la base de datos relacional permitió almacenar de manera estructurada información crítica, como datos espectrales, resultados de análisis, metadatos de muestreo y características de los suelos. Además, se implementaron mecanismos de validación para minimizar errores durante la entrada de datos, garantizando así la calidad e integridad de la información. Aunque no se documentaron exhaustivamente todas las etapas intermedias, los resultados finales muestran una integración funcional entre el servidor y el software desarrollado. Este sistema asegura la trazabilidad de los datos, desde su generación en campo hasta su utilización en los modelos de análisis y predicción, cumpliendo con los objetivos planteados para esta tarea.

PT 3.2 - Desarrollo de software para el cuaderno digital basado en la normativa actual. Desarrollo Servicios Rest, Desarrollo de Interfaz y Dashboards de visualización.

PARTICIPAN: Aresa/Cecoagro/OSIGRIS

Este proyecto tenía como objetivo diseñar e implementar una solución integral compuesta por una base de datos (BBDD), una API de acceso y una plataforma web, utilizando contenedores Docker para facilitar el despliegue del sistema, finalmente se avanzó hacia el desarrollo de un sistema robusto para el registro, gestión, consulta y visualización de datos, ofreciendo a los usuarios finales una interfaz intuitiva y segura. El uso de tecnologías modernas, como Docker o React, garantizó una implementación eficiente y un entorno controlado para el desarrollo y despliegue.

El trabajo se inició con el diseño del visor web que serviría de interfaz de introducción de datos del NIRS y se llevaron a cabo los ajustes necesarios en el cuaderno de campo para cumplir con la normativa actual. A continuación se enumeran los pasos llevados a cabo para conseguir estos objetivos:

- || Comienzo de diseño visor web y servidor que servirá de interfaz de introducción de datos del NIRS y que será usado como centro de datos del resto de componentes del proyecto.
- || Adaptación del cuaderno de campo para cumplir con la normativa establecida por el SIEX en su versión 2.0:
 - **Centralización de datos:** Los datos se encontraban dispersos o se manejan mediante herramientas no adecuadas para un entorno profesional (hojas de cálculo, documentos de texto, etc.). La centralización permitió mejorar la consistencia y accesibilidad.
 - **Acceso controlado y seguro:** Mediante la implementación de una API segura, se garantizó el acceso a los datos de manera controlada, permitiendo definir roles y permisos.
 - **Facilidad de despliegue:** Docker facilitó la creación de entornos replicables y facilita la implementación en distintos servidores sin importar las particularidades del sistema operativo.
 - **Mejora en la toma de decisiones:** La interfaz web permitió a los usuarios visualizar y gestionar datos, facilitando así la toma de decisiones informadas.

El trabajo inició con el diseño del visor web que serviría de interfaz de introducción de datos del NIRS y se llevan a cabo los ajustes necesarios en el cuaderno de campo para cumplir con la normativa actual.

1

. ARQUITECTURA PROPUESTA

La arquitectura del sistema se compuso de tres capas principales:

- **Capa de persistencia (Base de Datos):**
 - Se utiliza una base de datos relacional (MySQL) para garantizar la integridad de los datos y soportar consultas complejas.

- La base de datos está diseñada para soportar transacciones y garantizar la consistencia de los datos, implementando índices y relaciones entre tablas según sea necesario.
- La instalación de la base de datos se realiza en el servidor y se le da acceso a los dockers encargados de la gestión de los servicios (capa de API).
- **Capa de API (Backend):**
 - La API está desarrollada utilizando el framework Django Rest Framework (Python), permitiendo el manejo eficiente de solicitudes HTTP.
 - Se implementará autenticación JWT para garantizar un acceso seguro a los datos.
 - La API expone endpoints RESTful para operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar), permitiendo la comunicación entre la plataforma web u otros sistemas externos y la base de datos.
 - La API se despliega en un contenedor Docker, garantizando independencia del entorno de ejecución y facilidad de escalado.
- **Capa de presentación (Frontend):**
 - La interfaz web está desarrollada con React, proporcionando una experiencia de usuario fluida e interactiva.
 - La plataforma permite el registro y consulta de datos con control de acceso a dicha información.
 - La interfaz está diseñada para ser responsive, asegurando su uso en dispositivos móviles y de escritorio.
 - El frontend se despliega como un servicio independiente en Docker, facilitando su mantenimiento y actualizaciones.

2

. TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS

La elección de tecnologías se ha realizado en base a su robustez, rendimiento y facilidad de integración:

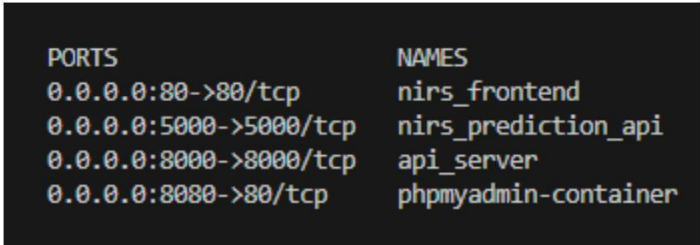
- **Base de Datos:** MySQL.

- **API Backend:** Django Rest Framework (Python).
- **Frontend:** React.
- **Contenedores:** Docker para el despliegue de servicios.
- **Autenticación:** JWT para garantizar la seguridad.
- **Proveedor de servicio:** Alwyzon para el despliegue de los servicio y almacenamiento de la información.

3

. CONFIGURACIÓN Y DESPLIEGUE DEL SISTEMA

Se hace uso de un servidor contratado en Alwyzon con sistema operativo CentOS Linux 7 (Core), procesador AMD EPYC 7543P 32-Core Processor y memoria 8GiB DIMM RAM. En dicha máquina se realiza el despliegue de 4 contenedores Docker de acuerdo a la siguiente imagen:



PORTS	NAMES
0.0.0.0:80->80/tcp	nirs_frontend
0.0.0.0:5000->5000/tcp	nirs_prediction_api
0.0.0.0:8000->8000/tcp	api_server
0.0.0.0:8080->80/tcp	phpmyadmin-container

La asignación de puertos y nombres de contenedor ha sido la siguiente:

- **nirs_frontend (puerto 80):**
 - Contenedor y puerto para el despliegue de la aplicación web habilitada para el usuario final.
- **nirs_prediction_api (puerto 5000):**
 - Contenedor y puerto para el despliegue del API desarrollada en el punto 4.2 de este documento (API para la predicción y detección de anomalías no supervisada).
- **api_server (puerto 8000):**
 - Contenedor y puerto para el despliegue del API desarrollada en este apartado del documento.

- **phpmyadmin-container (puerto 8080):**

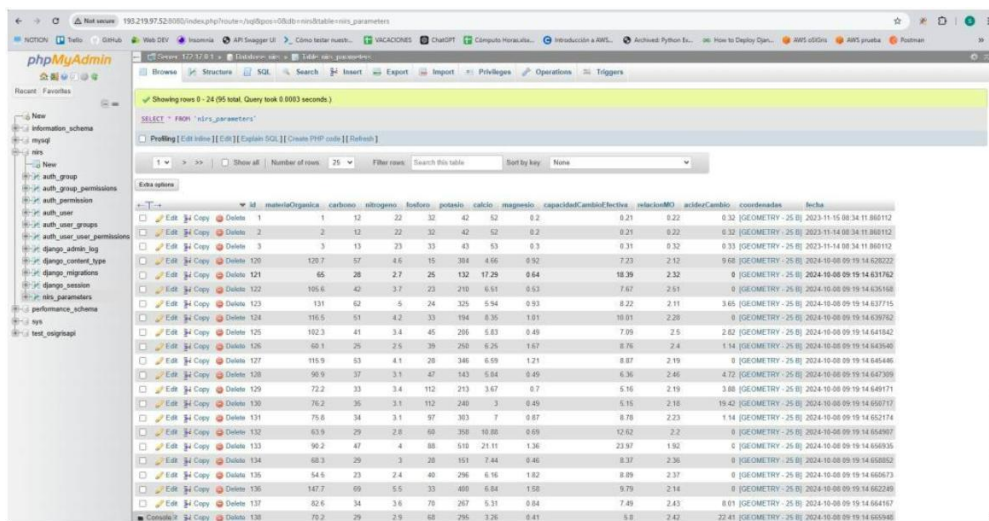
- Contenedor y puerto para el despliegue de la plataforma PhpMyAdmin para la gestión de información directamente sobre la base de datos habilitada para mantenimiento informático.

A mayores se realiza la instalación y despliegue de una base de datos MySQL en el puerto 3306 de este servidor. En el caso de la base de datos no se hace uso de contenedores Docker para asegurar la persistencia de la información antes reinicios del sistema.

A continuación detallaremos información sobre cada una de las capas de la arquitectura propuesta y la relacionaremos con su configuración y despliegue en el sistema:

- **Capa de persistencia (Base de Datos):**

- Mediante el contenedor docker *phpmyadmin-container* habilitado en el puerto *8080* tenemos acceso a una interfaz gráfica utilizada para mantenimiento informático, la cual nos permite visualizar y actuar directamente sobre la información alojada en la base de datos. A continuación se adjunta una imagen de una pantalla de dicha interfaz:



	#	materiaOrganica	carbonos	nitrogeno	fufurano	potasio	calcio	magnesio	capacidadAmidada	betaina	nitratoNH4	acidoCinamico	coordenadas	fecha
✓	1	12	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112	122	132
✓	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112	122	132
✓	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93	103	113	123	133
✓	120	120.7	57	4.6	15	304	4.66	9.92	7.23	2.12	9.68	0.00	2023-11-14 08:34:11	888112
✓	121	65	28	2.7	25	132	17.29	0.64	18.39	2.32	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	620222
✓	122	105.6	42	3.7	23	210	6.51	0.53	7.67	2.61	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	626102
✓	123	131	62	5	24	325	5.54	0.53	8.22	2.11	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	637715
✓	124	116.5	51	4.2	33	194	6.35	1.01	10.91	2.26	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	636762
✓	125	102.3	41	3.4	45	266	6.83	0.49	7.95	2.5	2.62	0.00	2024-10-08 09:19:14	643462
✓	126	60.1	25	2.5	39	250	6.25	1.67	8.76	2.4	1.14	0.00	2024-10-08 09:19:14	645466
✓	127	115.9	53	4.1	28	346	6.59	1.21	8.87	2.19	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	647309
✓	128	96.9	37	3.1	47	143	5.64	0.49	6.36	2.46	4.12	0.00	2024-10-08 09:19:14	647309
✓	129	72.2	33	3.4	112	213	3.67	0.7	5.16	2.19	3.68	0.00	2024-10-08 09:19:14	648171
✓	130	76.2	35	3.1	112	240	3	0.49	5.15	2.18	19.42	0.00	2024-10-08 09:19:14	650717
✓	131	75.6	34	3.1	97	303	7	0.87	8.78	2.23	1.14	0.00	2024-10-08 09:19:14	652174
✓	132	63.9	29	2.8	86	346	10.65	0.68	12.62	2.2	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	654687
✓	133	96.3	47	4	88	510	21.15	1.36	23.97	1.82	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	656935
✓	134	60.3	29	2	38	151	7.44	0.46	9.37	2.36	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	658862
✓	135	54.6	23	2.4	40	296	6.16	1.82	8.89	2.37	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	660673
✓	136	147.7	69	5.5	33	480	6.64	1.08	9.75	2.14	0	0.00	2024-10-08 09:19:14	662248
✓	137	82.6	34	3.6	79	287	5.31	0.84	7.49	2.43	8.61	0.00	2024-10-08 09:19:14	664167
✓	138	75.2	29	2.9	63	296	3.26	0.41	5.0	2.42	22.41	0.00	2024-10-08 09:19:14	665948

- En esta capa también se incluye el despliegue y desarrollo de una base de datos relacional MySQL donde se generan las tablas necesarias para el

control de acceso a la información y una tabla principal para el almacenamiento de la información recogida por el NIRS y necesaria por las aplicaciones de visualización y el API de recomendación. Para ello se genera un modelo de datos denominado *Parameters*, el cual incluye los siguientes campos:

Campo	Unidad	Tipo de dato	Descripción
Materia orgánica	g/kg	Decimal	Cantidad de materia orgánica en la muestra
Carbono	g/kg	Decimal	Contenido de carbono total
Nitrógeno	g/kg	Decimal	Nivel de nitrógeno presente
Fósforo	mg/kg	Decimal	Concentración de fósforo en la muestra
Potasio	mg/kg	Decimal	Contenido de potasio disponible
Calcio	cmol+/kg g	Decimal	Nivel de calcio intercambiable
Magnesio	cmol+/kg g	Decimal	Nivel de magnesio intercambiable
Capacidad de cambio efectiva	cmol+/kg g	Decimal	Medida de la capacidad de intercambio catiónico
Relación materia orgánica/carbono	g/kg	Decimal	Porcentaje de la relación entre materia orgánica y carbono
Saturación por acidez	%	Decimal	Porcentaje de saturación de acidez en el suelo
Coordenadas	N/A	Point	Ubicación geográfica (latitud y longitud) de la muestra

Fecha	N/A	Fecha	Fecha de registro de la muestra
-------	-----	-------	---------------------------------

- **Capa de API (Backend):**

- Mediante el contenedor docker *api_server* habilitado en el puerto 8000 se despliega el acceso al API desarrollada para la gestión de información de la base de datos. Hemos escogido Python, con su framework Django Rest Framework, para desarrollar estos servicios API REST y administrar el control de acceso de los usuarios a la información. Para el control de acceso de los usuarios hicimos uso del paquete *rest_framework_simplejwt.authentication.JWTAuthentication*, que nos permite crear los usuarios de acceso y asignar los permisos CRUD necesarios para cada usuario. Además, todos los servicios del API comprueban la validez y veracidad del token de acceso proporcionado antes de devolverle al usuario la información de la base de datos. Los servicios creados en el API son los siguientes:
- Lectura de parámetros (GET): Mediante este servicio accedemos a un listado paginado de 10 registros con todos los campos de medición explicados en la anterior tabla. También tenemos la opción de indicar un ID en la URL para obtener la información del registro, si existe, o un objeto vacío en caso de no existir.

read Interact

GET /nirs/parameters/{id}/

Path Parameters

The following parameters should be included in the URL path.

Parameter	Description
id required	A unique integer value identifying this parameters.

- Lectura de parámetros dentro de un polígono (POST): Mediante este servicio accedemos a los registros que están geolocalizados dentro de un polígono. Para ello

deberá indicarse en el cuerpo de la llamada un JSON con la información del polígono que representa la parcela y se obtendrá un listado paginado con todos los valores registrados en su interior.

- Actualización de parámetro (PUT): Mediante este servicio se realiza la actualización de los campos indicados en el cuerpo de la llamada. Para identificar el registro que se desea actualizar hay que indicar su ID en la URL

update

Interact

PUT /nirs/parameters/{id}/

Path Parameters

The following parameters should be included in the URL path.

Parameter	Description
id required	A unique integer value identifying this parameters.

Request Body

The request body should be a "application/json" encoded object, containing the following items.

Parameter	Description
materiaOrganica	
carbono	
nitrogeno	
fosforo	
potasio	
calcio	
magnesio	
capacidadCambioEfectiva	
relacionMO	
acidezCambio	
coordenadas	

- Borrado de parámetro (DELETE). Mediante este servicio se realiza el borrado completo de un registro. Para identificar el registro que se desea eliminar hay que indicar su ID en la URL.

delete

Interact

DELETE /nirs/parameters/{id}/

Path Parameters

The following parameters should be included in the URL path.

Parameter	Description
id required	A unique integer value identifying this parameters.

- Servicios de autenticación JWT:
 - Creación de token (POST): Este servicio genera un token de acceso a partir de las credenciales de usuario (nombre de usuario y contraseña). Si los valores de ambos campos son correctos, el servicio

responde devolviendo un token de acceso (*access token*) y un token de refresco (*refresh token*). El *access token* será necesario para hacer uso de todas las funcionalidades de este API y se incluirá como un campo en la cabecera de las llamadas a los servicios.. El *refresh token* se utiliza para generar un nuevo *access token* en caso de que nos caduque el mismo, mediante el servicio correspondiente.

- Verificación de token (POST): Este servicio verifica la validez del *access token* enviado.
- Refresco de token (POST): Este servicio genera un nuevo *access token* a partir de un *refresh token* válido.

token

create

[Interact](#)

POST /nirs/token/

Takes a set of user credentials and returns an access and refresh JSON web token pair to prove the authentication of those credentials.

Request Body

The request body should be a "application/json" encoded object, containing the following items.

Parameter	Description
username required	
password required	

refresh > create

[Interact](#)

POST /nirs/token/refresh/

Takes a refresh type JSON web token and returns an access type JSON web token if the refresh token is valid.

Request Body

The request body should be a "application/json" encoded object, containing the following items.

Parameter	Description
refresh required	

verify > create

[Interact](#)

POST /nirs/token/verify/

Takes a token and indicates if it is valid. This view provides no information about a token's fitness for a particular use.

Request Body

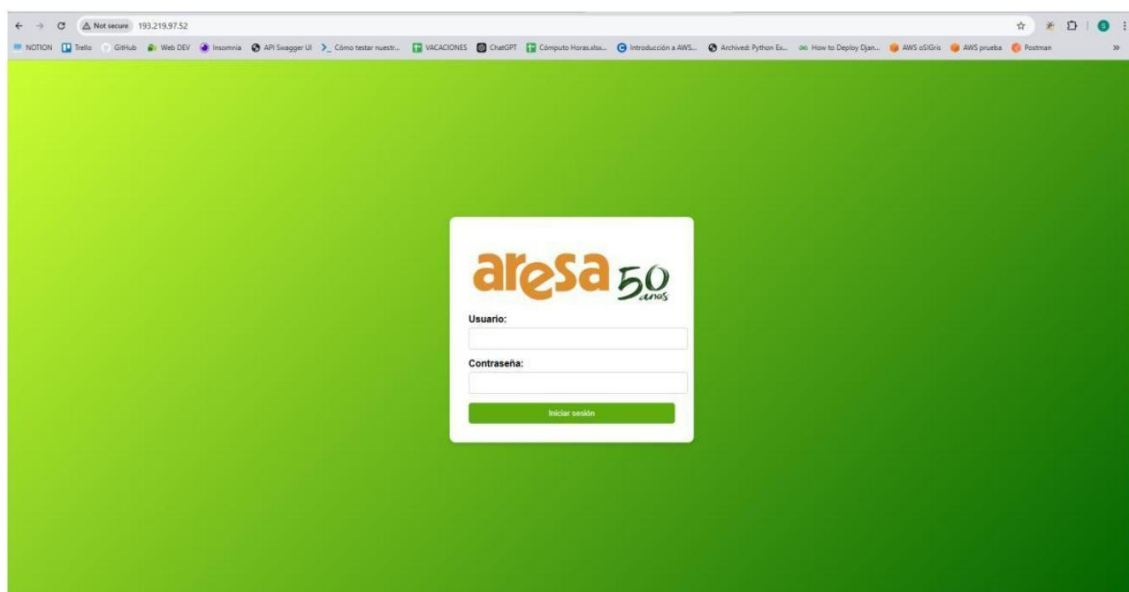
The request body should be a "application/json" encoded object, containing the following items.

Parameter	Description
token required	

- **Capa de presentación (Frontend):**

- Mediante el contenedor docker *nirs_frontend* habilitado en el puerto 80 se despliega la aplicación web para facilitarle al usuario el acceso y gestión de la información registrada en el sistema mediante una interfaz amigable. Para este apartado se ha escogido React, basado en JavaScript, como framework de desarrollo. La aplicación web cuenta con diversas ventanas que se detallarán a continuación:

- Una primera ventana de *login* mediante la que se controla el acceso a la información y se restringe el acceso a usuarios que tenga los permisos de lectura, escritura, actualización y eliminación adecuados.



- Una vez logueado correctamente en el sistema se llega a una pantalla de *visualización de datos* donde se muestra una tabla paginada con la información de todos los registros del sistema:

Tabla de datos

ID	Fecha	Materia orgánica (g/kg)	Carbono (g/kg)	Nitrógeno (g/kg)	Fósforo (mg/kg)	Potasio (mg/kg)	Calcio (cmol+/kg)	Magnesio (cmol+/kg)	Capacidad cambio efectiva (cmol+/kg)	Relación materia orgánica / carbono (%)	Saturación por acidez (%)	Latitud (°)	Longitud (°)	Acciones
157	8/10/2024	93.50	42.00	3.50	77.00	360.00	7.75	1.54	10.29	2.23	0.00	43.03640000	-8.91730000	
158	8/10/2024	164.20	90.00	5.70	5.00	287.00	1.31	1.10	7.63	1.82	57.67	43.03600000	-8.91850000	
159	8/10/2024	134.00	66.00	5.10	21.00	181.00	7.09	1.17	9.84	2.03	9.15	43.03600000	-8.91830000	
160	8/10/2024	146.70	75.00	6.40	36.00	250.00	8.76	2.53	12.27	1.96	1.63	43.03580000	-8.91800000	
161	8/10/2024	131.50	66.00	5.20	45.00	485.00	6.85	1.43	10.37	1.99	6.75	43.03610000	-8.91810000	
162	8/10/2024	152.10	79.00	5.60	9.00	118.00	7.63	1.97	10.24	1.93	1.95	43.03600000	-8.91790000	
163	8/10/2024	146.30	68.00	6.40	19.00	284.00	10.60	4.38	15.91	2.15	0.00	43.03620000	-8.91790000	
164	8/10/2024	102.30	52.00	5.00	43.00	214.00	6.39	1.19	8.70	1.97	5.75	43.03610000	-8.91770000	
165	8/10/2024	102.40	46.00	4.30	52.00	135.00	7.60	0.75	8.90	2.23	1.12	43.03630000	-8.91750000	
940	25/10/2024	120.70	57.00	4.60	15.00	304.00	4.66	0.92	7.23	2.12	9.68	-8.91650000	43.03650000	
941	25/10/2024	65.00	28.00	2.70	25.00	132.00	17.29	0.64	18.39	2.32	0.00	-8.91630000	43.03640000	
942	25/10/2024	105.60	42.00	3.70	23.00	210.00	6.51	0.53	7.67	2.51	0.00	-8.91610000	43.03620000	
943	25/10/2024	131.00	62.00	5.00	24.00	325.00	5.94	0.93	8.22	2.11	3.65	-8.91590000	43.03590000	
944	25/10/2024	116.50	51.00	4.20	33.00	194.00	8.35	1.01	10.01	2.28	0.00	-8.91580000	43.03570000	

Anterior Página 3 de 3 Siguiente

- Esta pantalla de visualización de datos permite realizar acciones de edición, borrado y borrado múltiple sobre información ya registrada en el sistema:

Tabla de datos

Editar fila 159

Materia orgánica (g/kg)

Carbono (g/kg)

Nitrógeno (g/kg)

Fósforo (mg/kg)

Potasio (mg/kg)

Calcio (cmol+/kg)

Magnesio (cmol+/kg)

Capacidad cambio efectiva (cmol+/kg)

Relación materia orgánica / carbono (%)

Saturación por acidez (%)

¿Estás seguro de que quieres eliminar?

Anterior Página 3 de 3 Siguiente

- También se puede realizar la carga masiva de información (subida de múltiples registros nuevos) mediante una plantilla en formato .csv que deberá ser debidamente cumplimentada:

5.00	287.00	1.31	1.10	7.63
21.00	181.00	7.09	1.17	9.84
36.00				
45.00				
9.00				
19.00				
43.00				
52.00				
15.00	304.00	4.66	0.92	7.23
25.00	132.00	17.29	0.64	18.39

Subir Archivo

Choose File

No file chosen

Descargar plantilla CSV

Cancelar

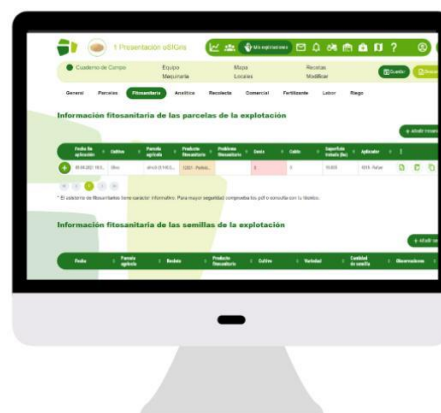
Aceptar

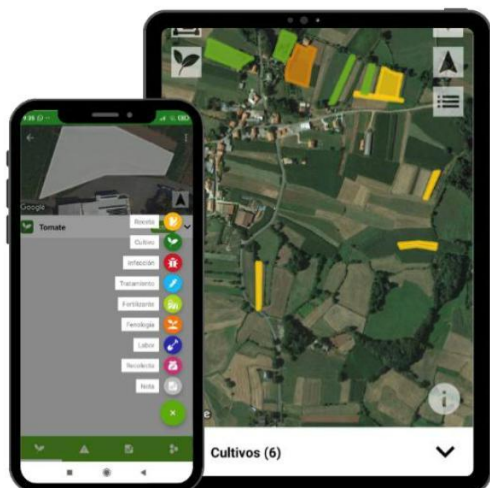
oSIGris permite al usuario gestionar sus cultivos o a sus agricultores. Centrándonos en 3 funciones principales, un cuaderno de campo digital que cumpla con las exigencias de las administraciones públicas, conexión en tiempo real entre agricultor y técnico y el asistente de fitosanitarios y fertilizantes, además de la posibilidad de introducir cualquier información relativa al campo como fertilizantes, riego, labores, etc...

En la oficina y en el campo

WEB

Espacio destinado especialmente para técnicos. En la web se puede revisar la información de todos los asesorados o cooperativistas y realizar modificaciones en tiempo real.





APP

Espacio destinado para uso en el campo. En la app se puede introducir toda la información para la gestión de la explotación.

FERTILIZANTES Y PLANES DE ABONADO

Este proyecto ha puesto el foco en los fertilizantes y especialmente en los planes de abonado. Para poder integrar la información de las recomendaciones nutricionales en el cuaderno de campo se ha generado una tabla de planes de abonado tal y como puede verse en la siguiente imagen:

Información de los planes de abonado + Añadir plan de abonado

Fecha de registro	Nuevo cultivo	Alias del plan de abonado	Parcela	Parcela agrícola	Objetivo de recolecta (kg/ha)	Cultivo previo	Necesidades nutricionales	Generado con herramienta	Anotaciones
02-02-2024 17...	Melocotonero		fuenta, trios	fuenta (15:17:0...	100	Acebo	10 kg/ha UF N, ...	✓	

« ‹ 1 › »

- El color rojo indica campo obligatorio o erróneo.
- El color azul indica fila duplicada.
- El color azul cielo indica que la incidencia ha sido revisada.

En dicha tabla se puede introducir toda la información necesaria para el plan de abonado, destacando los campos de cultivos, parcelas y necesidades nutricionales.

Por otro lado, una vez se ha generado un plan de abonado se podrá relacionar dicho plan con los tratamientos fertilizantes aplicados sobre las parcelas:

Información de los fertilizantes aplicados

[+ Añadir fertilizante](#)

Fecha inicio	Fecha fin	Cultivo	Parcela agrícola	Tipo de fertilizante propio	Tipo de fertilizante	Dosis	Caldo	Plan de abonado
+ 02-02-2024 17:22...		Maiz (Sin Va...	real (15:17:0:0:...		F0000309/202...	100 kg/ha	0	Maiz (100 k...

«
<
1
>
»

- ■ El color rojo indica campo obligatorio o erróneo.
- ■ El color azul indica fila duplicada.
- ■ El color azul cielo indica que la incidencia ha sido revisada.

PT 3.3 - Desarrollo de un proceso automatizado para la conexión con los dispositivos de mediciones en tiempo real de diferentes parámetros.

PARTICIPAN: Aresa/Cecoagro/OSIGRIS

Se inicio este PT con el establecimiento de las bases técnicas, se realizó el diseño de conexiones del sistema y se realizó el despliegue y configuración de la infraestructura informática necesaria para llevar a cabo el proyecto. Se siguieron los siguientes pasos para conseguir estos objetivos:

- 1. Se establecen los protocolos de comunicación y se realiza el diseño de las conexiones entre los distintos componentes del proyecto final para optimizar el funcionamiento y que se puedan satisfacer las necesidades de cada uno de esos componentes.
- 2. Se establece la estructura de la información y los campos necesarios que se deberán aportar en la información intercambiada entre el NIRS y el servidor de datos para un correcto funcionamiento.
- 3. Se realiza el despliegue de la infraestructura necesaria para soportar el almacenamiento y gestión de información del NIRS. Se seleccionan las tecnologías que se van a usar en este proyecto y se configura la infraestructura acorde a ello.

Este proyecto busca desarrollar un proceso de conexión y acceso a las mediciones del dispositivo NIRS y a las recomendaciones nutricionales para las parcelas empleando dispositivos móviles como interfaz principal de usuario. La solución incluirá una arquitectura modular y escalable que permita integrar dispositivos de múltiples fabricantes con sistemas operativos Android e iOS.

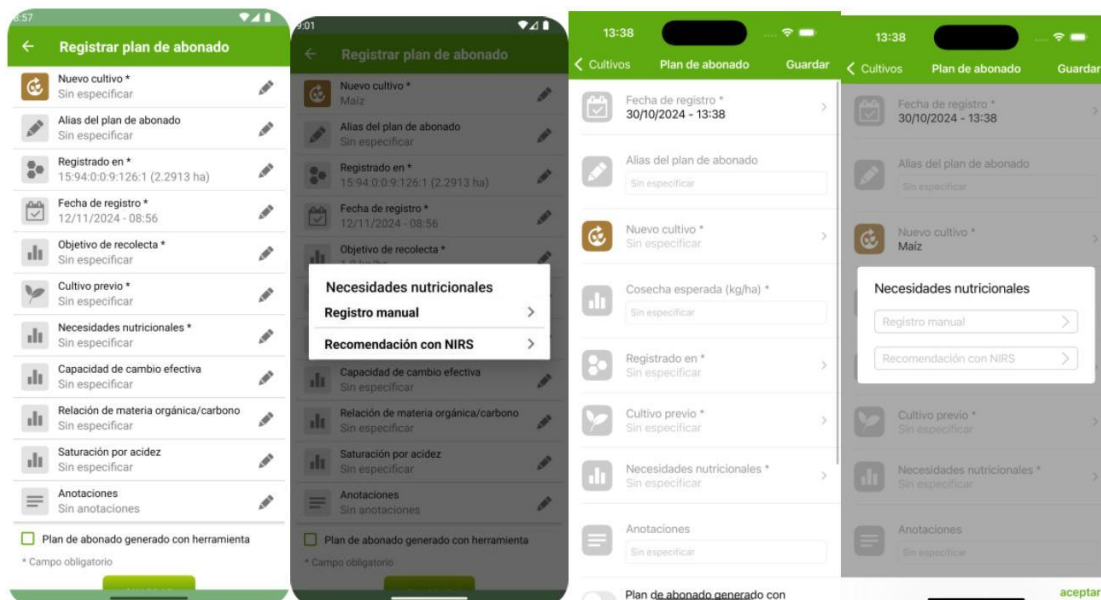
El acceso a la información se realizó mediante dispositivos móviles, tanto Android como iOS, haciendo uso de la aplicación desarrollada en el punto anterior de esta memoria. Las aplicaciones cuentan con diversas pantallas diseñadas y desarrolladas específicamente para este cometido y que se detallarán a continuación:

- El acceso a la información de las medidas del NIRS y las recomendaciones nutricionales para la parcela se realizó a través de la pantalla de creación de plan de abonado, concretamente mediante el campo de *necesidades nutricionales*.

Una vez hayamos cubierto la información referente a *nuevo cultivo*, *fecha de registro*, *registrado en* y *objetivo de recolecta* se podrá acceder al apartado de *recomendación con NIRS* mediante el campo de *necesidades nutricionales*:

Android

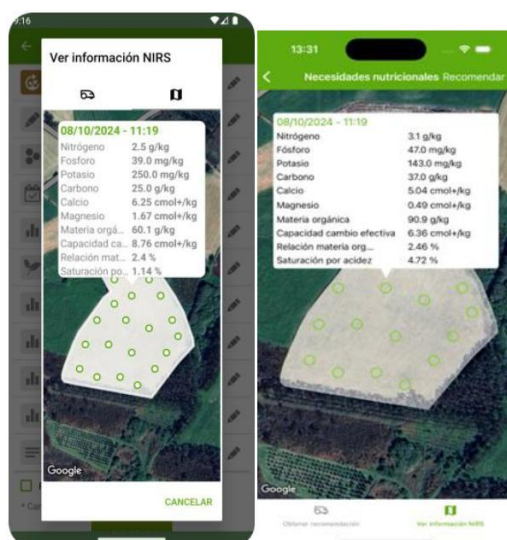
iOS



- Al seleccionar la opción de *recomendación con NIRS* accederemos a una pantalla con un submenú para acceder a dos funcionalidades diferentes:
 - El submenú para *ver información NIRS*: Muestra un mapa con geolocalización de los puntos donde se ha realizado la toma de medidas mediante NIRS en la parcela. Además, al pulsar sobre los diferentes puntos se mostrarán los valores obtenidos por el NIRS en dichos puntos.

Android

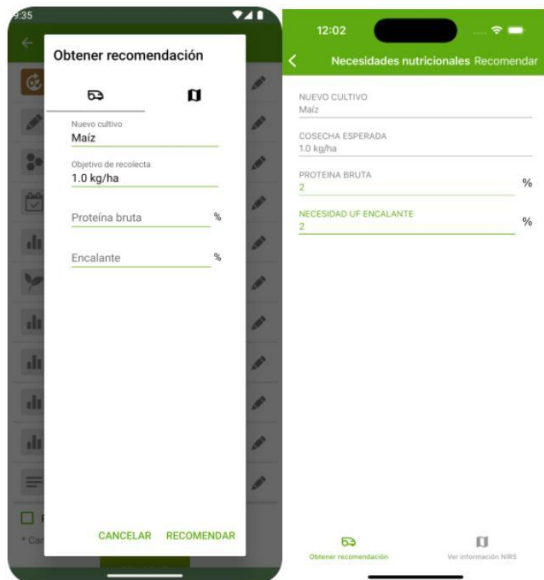
iOS



- El submenú para *obtener recomendación*: Muestra una serie de campos que tendremos que rellenar para obtener una recomendación nutricional para nuestra parcela.

Android

iOS



The image displays two mobile app screens side-by-side. The left screen, labeled 'Android', shows a form titled 'Obtener recomendación' with fields for 'Nuevo cultivo' (Maíz), 'Objetivo de recolecta' (1.0 kg/ha), 'Proteína bruta' (%), and 'Encalante' (%). At the bottom are 'CANCELAR' and 'RECOMENDAR' buttons. The right screen, labeled 'iOS', shows a screen titled 'Necesidades nutricionales' with a 'Recomendar' button. It lists 'NUEVO CULTIVO' (Maíz), 'COSECHA ESPERADA' (1.0 kg/ha), 'PROTEÍNA BRUTA' (2 %), and 'NECESIDAD UF ENCALANTE' (2 %). At the bottom are 'Obtener recomendación' and 'Ver información NIRS' buttons.

Una vez cumplimentado el formulario correctamente podremos pulsar sobre la opción *Recomendar* para establecer una conexión con el servicio de recomendación nutricional, obtener los valores correspondientes y volcarlos a nuestra actividad de registro del plan de abonado.

Android

15:58

← Registrar plan de abonado

Nuevo cultivo *
Maíz

Recomendación nutricional

Necesidad UF nitrógeno
1.6 kg/ha

Necesidad UF fósforo
-

Necesidad UF potasio
-71.52 kg/ha

Necesidad UF magnesio
3.6 kg/ha

Necesidad UF materia orgánica
-

Necesidad UF encalante
100.0

Saturación por acidez
700.0 %

CANCELAR ACEPTAR

Anotaciones
Sin anotaciones

☐ Plan de abonado generado con herramienta

10:03

← Registrar plan de abonado

Nuevo cultivo *
Maíz

Alias del plan de abonado
Sin especificar

Registrado en *
15:94:0:0:9:126:1 (2.2913 ha)

Fecha de registro *
12/11/2024 - 08:56

Objetivo de recolecta *
1.0 kg/ha

Cultivo previo *
Sin especificar

Necesidades nutricionales *
1.6 kg/ha UF N, 3.6 kg/ha UF Mg, 100.0 UF encalante

Capacidad de cambio efectiva
Sin especificar

Relación de materia orgánica/carbono
Sin especificar

Saturación por acidez
700.0 %

Anotaciones
Sin anotaciones

☐ Plan de abonado generado con herramienta

* Campo obligatorio

iOS

13:21

← Necesidades nutricionales Recomendar

Recomendación nutricional

NECESIDAD UF NITRÓGENO
1.6 kg/ha

NECESIDAD UF FÓSFORO
-

NECESIDAD UF POTASIO
-71.52 kg/ha

NECESIDAD UF MAGNESIO
3.6 kg/ha

NECESIDAD UF MATERIA ORGÁNICA
-

NECESIDAD UF ENCALANTE
100.0

SATURACIÓN POR ACIDEZ
700.0 %

CANCELAR ACEPTAR

Obtener recomendación Ver información NIRS

13:21

← Cultivos Plan de abonado Guardar

Registrado en *
Sin especificar

Cultivo previo *
Sin especificar

Necesidades nutricionales *
1.6kg/ha UF N
-71.52kg/ha UF K2O
1.6kg/ha UF Mg
1.6UF encalante

Anotaciones
Sin especificar

☐ Plan de abonado generado con herramienta

Capacidad cambio efectiva (cmol+/Kg)
Sin especificar

Relación materia org./carbono (%)
Sin especificar

Acidez del carbono (pH)

PT4.- ESTUDIO DEL DATO DISPONIBLE, ANALÍTICA DE ALGORITMOS DE PREDICCIÓN, REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE. DESARROLLO DEL SERVICIO DE SERVICIO DE PREDICCIÓN Y DETECCIÓN. INTEGRACIONES Y VALIDACIONES.

PT 4.1 - Estudio de los datos disponibles y análisis de los algoritmos de Predicción y Detección de Anomalías No Supervisada: Estudio de los datos a ingerir en el sistema y revisión del estado del arte para el diseño de la propuesta del Decision Support System (DSS) basado en ML para detectar anomalías en los datos monitoreados.

PARTICIPA: GRADIANT

La detección de defectos y anomalías¹ persigue el análisis no supervisado y automático de un conjunto o flujo de datos a fin de detectar cuanto antes desviaciones significativas con respecto a su distribución de probabilidad habitual. Además del acierto en la detección de estos *outliers*, la detección de anomalías basada en técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático presenta otros retos técnicos como, por ejemplo, el coste computacional del algoritmo, la facilidad para el correcto ajuste de sus hiper parámetros o su interpretabilidad, especialmente cuando se trata de conjuntos de datos grandes en espacios multivariantes de alta dimensión.

La búsqueda de anomalías resulta un problema especialmente complicado en espacios de alta dimensión. Este fenómeno se conoce como curse of dimensionality² (maldición de la dimensionalidad) y surge al tratar de encontrar puntos diferentes al resto trabajando con un número elevado de características.

Existen múltiples aproximaciones en la literatura científica reciente relacionada con esta temática atendiendo a diferentes factores y clasificaciones, como la naturaleza de los

¹ Charu C Aggarwal. Outlier analysis. In Data mining, 75–79. Springer, 2015.

² Altman, N., & Krzywinski, M. (2018). The curse (s) of dimensionality. Nat Methods, 15(6), 399-400.

algoritmos o la de los propios datos de entrada, entre otros. La mayoría de los métodos de detección de anomalías no supervisados construyen una métrica que cuantifica el nivel de anomalía de un punto, de forma que cuanto mayor sea su valor, más anómala es la muestra.

La primera tarea abordada en este apartado, consistente en la elaboración de un estado del arte, proporciona una revisión de las más recientes e importantes propuestas para la detección de anomalías (algoritmos basados en probabilidad, proximidad, *ensembles*, *autoencoders* y redes neuronales, etc.).

Una vez completado este estudio, se procedió a la identificación de los parámetros que se obtendrán a través de las lecturas del NIRS para concretar la elección del modelo.

De esta tarea, a través del trabajo con el resto de los colaboradores, se extrajo el listado incluido a continuación:

Parámetros	Abreviatura/Unidades
Materia Orgánica	MO, g/kg materia seca 105 oC (MS)
Carbono total	Ct, g/kg MS
Nitrógeno total	Nt, g/kg MS
Fósforo soluble en bicarbonato sódico (Olsen)	P, mg/kg MS
Potasio, extracción acetato amónico 1N pH:7	K, mg/kg MS
Calcio, extracción acetato amónico 1N pH:7	Ca, cmol+/kg MS
Magnesio, extracción acetato amónico 1N pH:7	Mg, cmol+/kg MS
Capacidad de cambio efectiva	CCE, cmol+/kg MS

Relación MO/C(%)	MO/C= 1,72xC(%)
Acidez de Cambio	Al, %
Necesidades encalado	Encalante, kg/ha

Una vez acotados estos parámetros, era necesario definir las fórmulas de cálculo para las recomendaciones en base a cada uno de los mismos. Se solicitó colaboración al CIAM y Aresa, que proporcionaron las siguientes reglas para el cálculo:

Para el cultivo de maíz, siendo PE la Producción Esperada (T/Ha), PB el % Proteína Bruta y ValorMedio el valor correspondiente en cada intervalo.

Parámetros	Abreviatura/Uds	Nivel	ppm(mg/Kg)	Fórmula corrección (kg/Ha)
Materia Orgánica	MO, g/kg materia seca 105 oC (MS) en suelos franco-arenosos	Muy baja	0-10000	15000-20000
		Baja	11000-20000	10000-15000
		Media	21000-40000	5000-10000
		Alta	41000-80000	2000-4000
		Muy alta	80000	0
Carbono total	Ct, g/kg MS	NO SE PROPORCIONARÁ RECOMENDACIÓN		
Nitrógeno total	Nt, g/kg MS			$\frac{\text{ppm} \times 10}{6,25} * \text{ppm}$
Fósforo soluble en bicarbonato	P, mg/kg MS	Muy Bajo	0-5	$(\text{ppm} * 5,9) + 30 - (\text{ppm} * 1,5)$
		Bajo	6-15	
		Medio	16-25	

sódico (Olsen)		Alto	26-45	
		Muy Alto	>45	0
Potasio, extracción acetato amónico 1N pH:7	K, mg/kg MS	Muy Bajo	0-60	$\frac{(\text{Potasio} * 14) + 110 - (\text{Potasio} * 0,611)}{10}$
		Bajo	61-120	
		Medio	121-240	
		Alto	241-400	
		Muy Alto	> 400	0
Calcio, extracción acetato amónico N1 pH:7	Ca, cmol+/kg MS	NO SE PROPORCIONARÁ RECOMENDACIÓN		
Magnesio, extracción acetato amónico 1N pH:7	Mg, cmol+/kg MS	Muy bajo	0,00-0,10 => 450	$\frac{(\text{Potasio} * 3,6) + \text{Potasio} * 6}{10}$
			0,11-0,19 => 370	
		Bajo	0,20-0,30 => 300	
			0,31-0,39 => 240	
		Medio	0,40-0,50 => 170	
			0,51-0,59 => 100	

		Óptimo	0,60-0,70 => 70	
			0,70-2,6 => 0	
		Muy alto	> 2,6	0
Capacidad de cambio efectiva	CCE, cmol+/kg MS	NO SE PROPORCIONARÁ RECOMENDACIÓN		
Relación MO(%) / C(%)	MO(%) = 1,72 X C(%)	NO SE PROPORCIONARÁ RECOMENDACIÓN		
Acidez de Cambio	% Al (Aluminio en el complejo de cambio)	Muy Ácido	> =60	4500
		Ácido	41-60	3500
		Medio	21-40	2100
		Poco Ácido	10-20	1400
		Muy Poco Ácido	5-10	700
		Óptimo	0	0

Para el cultivo de pradera, siendo PE la Producción Esperada (T/Ha) y PB el % Proteína Bruta.

Parámetros	Abreviatura/Uds	Nivel	ppm(mg/Kg)	Fórmula corrección (kg/Ha)
		Muy baja	0-10000	15000-20000

Materia Orgánica	MO, g/kg materia seca 105 oC (MS) en suelos franco-arenosos	Baja	11000-20000	10000-15000
		Media	21000-40000	5000-10000
		Alta	41000-80000	2000-4000
		Muy alta	80000	0
Carbono total	Ct, g/kg MS	NO SE PROPORCIONARÁ RECOMENDACIÓN		
Nitrógeno total	Nt, g/kg MS			퐁퐁 * 16
Fósforo soluble en bicarbonato sódico (Olsen)	P, mg/kg MS	Muy Bajo	0-5	(퐁퐁 * 10) + 퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁
		Bajo	6-15	
		Medio	16-25	
		Alto	26-45	
		Muy Alto	>45	0
Potasio, extracción acetato amónico 1N pH:7	K, mg/kg MS	Muy Bajo	0-60	(퐁퐁 * 15) + 퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁
		Bajo	61-120	
		Medio	121-240	
		Alto	241-400	
		Muy Alto	> 400	0
Calcio, extracción acetato amónico N1 pH:7	Ca, cmol+/kg MS	NO SE PROPORCIONARÁ RECOMENDACIÓN		
		Muy bajo	0,00-0,10 => 450	(퐁퐁 * 3,5) + 퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁퐁6퐁

Magnesio, extracción acetato amónico 1N pH:7	Mg, cmol+/kg MS		0,11-0,19 => 370	
		Bajo	0,20-0,30 => 300	
			0,31-0,39 => 240	
		Medio	0,40-0,50 => 170	
			0,51-0,59 => 100	
		Óptimo	0,60-0,70 => 70	
			0,70-2,6 => 0	
		Muy alto	> 2,6	0
Capacidad de cambio efectiva	CCE, cmol+/kg MS	NO SE PROPORCIONARÁ RECOMENDACIÓN		
Relación MO(%) / C(%)	MO(%) = 1,72 X C(%)	NO SE PROPORCIONARÁ RECOMENDACIÓN		
Acidez de Cambio	% Al (Aluminio en el complejo de cambio)	Muy Ácido	>= 60	4500
		Ácido	41-60	3500
		Medio	21-40	2100
		Poco Ácido	10-20	1400
		Muy Poco Ácido	5-10	700
		Óptimo	0	0

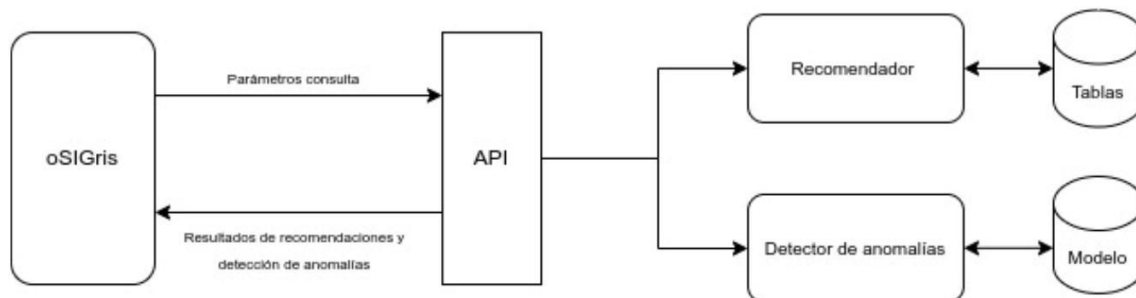
Y en cuanto al cálculo del encalado, común para ambos cultivos, se calcula tal que:

Siendo VNE el Valor Neutralizante del Encalante que se va a emplear, un dato que introducirá el usuario dependiendo del caso.

PT 4.2 - Desarrollo del Servicio de Predicción y Detección de Anomalías No Supervisado: Durante esta tarea se desarrollará el servicio de software para la detección de anomalías no supervisado. La implementación (en lenguaje python) incluye contenerización del servicio, implementación de Restful API, programación de endpoints y funcionalidades para detección de valores atípicos desde el framework PyOD, desarrollo de funciones de validación de datos.

GRADIANT

Como punto inicial de esta tarea, se procedió a la definición de la propuesta de arquitectura, constando la misma de los siguientes elementos:



También se estableció una definición de las tecnologías a emplear en cada uno de los componentes, adecuándose a la funcionalidad de los mismos.

Estas relaciones se resumen tal y como siguen:

COMPONENTE	FUNCIONALIDAD	TECNOLOGÍAS A UTILIZAR
API	Interacción entre oSIGris y algoritmos	OpenAPI ³ y FastAPI ⁴
Recomendador	Retornar parámetros de recomendación de abonado según las características del cultivo	Algoritmo en Python según tablas proporcionadas
Detector de anomalías	Identificar posibles descalibraciones en el NIRS o mediciones erróneas	PyTorch ⁵ para el desarrollo de un autoencoder (tipo de red neuronal)
Almacenamiento	Guardado de la información proporcionada en las tablas de recomendación así como del modelo autoencoder	

Por último se procedió al desarrollo del código necesario para conformar cada uno de los componentes. Se procede a detallar a continuación las particularidades de cada uno.

API

A través del endpoint */new_recommendation/* se lanza un proceso conformado por los siguientes pasos:

1. Petición de token a la API de oSIGris

³ OpenAPI (<https://www.openapis.org/>)

⁴ FastAPI (<https://fastapi.tiangolo.com/>)

⁵ PyTorch (<https://pytorch.org/>)

2. Solicitud de lecturas comprendidas en el polígono delimitado por las coordenadas recibidas de la API de oSIGris
3. Inicio de un proceso paralelo para el entrenamiento del Autoencoder
4. Cálculo de la prescripción o recomendación de abonado
5. Envío de la respuesta a la API de oSIGris

Recomendador de abonado

La lógica de funcionamiento de este algoritmo se basa en realizar el cálculo de la recomendación para cada uno de los parámetros, en base al cultivo definido, empleando las conversiones de unidades necesarias así como las fórmulas de cálculo descritas en el apartado PT4.1

Dado el caso de uso, en el que se pueden disponer de múltiples lecturas para una misma parcela pero se desea obtener una única recomendación por parámetro, se decidió elaborar el cálculo en base a la media de las muestras disponibles en cada caso usando como referencia temporal una fecha modificable (actualmente los últimos 3 años).

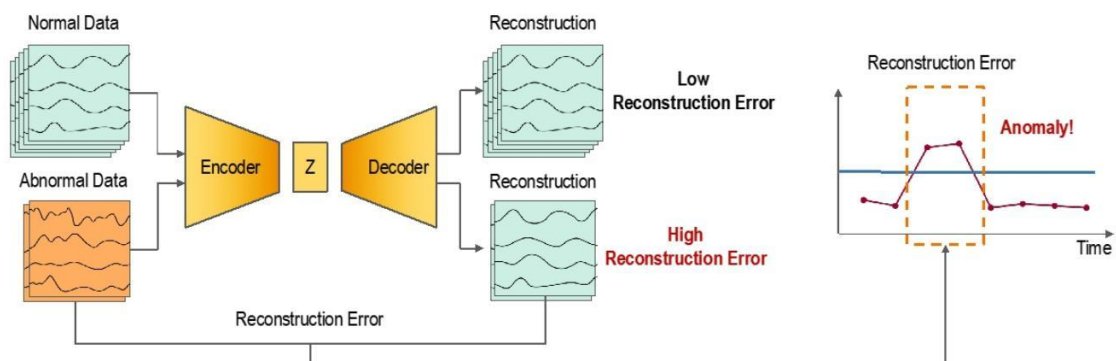
Para poder dar una idea al usuario de la adecuación de dicha recomendación, se aporta también en la respuesta del sistema un cálculo de la desviación dentro del conjunto de cada uno de los parámetros.

Detector anomalías

Dada la necesidad de detectar desviaciones y defectos en un conjunto de datos de manera no supervisada, se optó por la implementación de un autoencoder.

Este tipo de modelos basan su funcionamiento en la codificación de datos de entrada para simplificar la búsqueda de patrones, empleando esa misma codificación para generar los datos de salida. De esa forma, a través de la comparación de los valores de salida y de entrada, se calcula la diferencia entre ambos y se establecen umbrales para la detección de anomalías.

A continuación, se incluye un esquema extraído de un artículo sobre metodologías para detección de fraude⁶ que ilustra el funcionamiento a través de un ejemplo:



En este tipo de implementaciones se suele entrenar previamente el modelo con un conjunto de datos históricos y posteriormente se utiliza dicha configuración para realizar las predicciones.

Sin embargo, debido a las diferencias existentes entre parcelas, y a la ausencia de datos históricos en el momento de entrada en funcionamiento de la plataforma, se optó por lo siguiente:

- Utilizar todos los datos para entrenar en caso de que sean inferiores a la referencia temporal empleada para la recomendación. Es importante destacar que este criterio puede generar predicciones erróneas por emplear los mismos datos para entrenar y predecir, pero se acordó implementarlo igualmente al no existir posibilidad de disponer de otros datos.
- Si existen datos superiores a 3 años, emplear solo esos para entrenar.

Almacenamiento

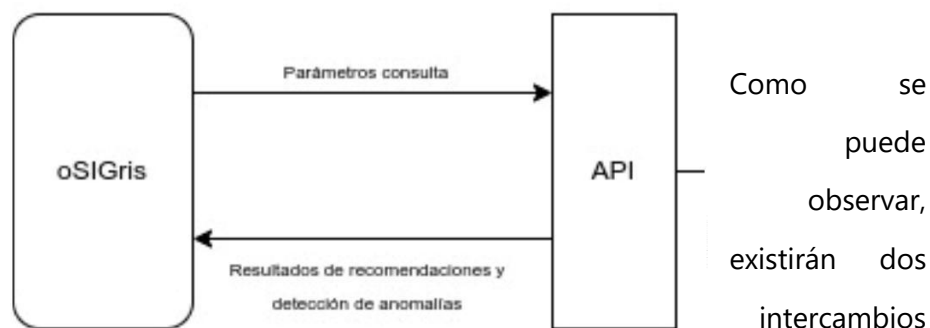
Como la solución se paquetizó en un Docker y se desplegó en los servidores de oSIgris, esa parte está siendo gestionada por ellos.

⁶ <https://blog.gopenai.com/unsupervised-fraud-detection-algorithms-detecting-the-unknown-9075b4447c68>

PT 4.3 - Integración de componentes y validación antes de la operación: En esta tarea, todos los componentes desarrollados serán integrados y configurados dentro del proyecto. Durante esta tarea se llevará a cabo la verificación y validación técnica del DSS desarrollado en la tarea anterior. Los errores y fallos se detectarán y corregirán durante este procedimiento. Luego de esta validación, el DSS operará de manera autónoma durante un cierto período de tiempo para recopilar datos e información valiosa para ser analizados.

GRADIANT

Como se describió brevemente en el punto anterior, la solución contará con una API REST que permitirá el intercambio de información entre la plataforma oSIGris y el conjunto del sistema recomendador. Se adjunta a continuación una imagen detalle de los componentes que entran en juego en este objetivo, extraída del esquema global anteriormente mencionado.



básicos de información entre ambas partes:

1. **Parámetros de consulta** (desde la plataforma oSIGris a la API, para poder ser utilizados por el recomendador).
2. **Resultados** tanto del recomendador como de la detección de anomalías (en sentido inverso).

Ambos tipos de datos serán formateados con una estructura JSON (<https://www.json.org/json-es.html>), un estándar ampliamente utilizado en el

intercambio de información. El contenido de cada uno de ellos estará compuesto por:

1. Información necesaria para el cálculo de la recomendación, introducida por el usuario en la plataforma, estando compuesta por los siguientes parámetros:
 - Id tipo de cultivo, pudiendo ser estos valores maíz (4) o pradera (62, 63).
 - Producción esperada (kg/Ha).
 - Proteína bruta (%).
 - Valor neutralizante del encalante.
 - Coordenadas que delimitan la geometría de la parcela a estudiar.
2. Resultados proporcionados por sendos algoritmos contenidos en la plataforma, constituidos por:
 - Recomendación para cada parámetro acorde a la tabla de cálculo incluida en el apartado PT4.1.
 - Desviaciones para cada parámetro en las muestras presentes dentro de la parcela de estudio y empleadas para el cálculo de la media.
 - Cada una de las lecturas proporcionadas para el cálculo y un campo denominado '*anomaly*' que indica el resultado de la detección de anomalías en esa muestra.

Es por ello que la estructura, ya en el formato JSON previamente mencionado, será similar a la siguiente para los **parámetros de consulta**:

```
{
  "idTipoCultivo":int,
  "produccionEsperada": float,
  "proteinaBruta":floag,
  "encalado": float,
  "geometria":{
    "type":"Polygon",
    "coordinates":[
      [
        [
          X,
          Y
        ],
        [
          ...
        ],
      ]
    ]
  }
}
```

Por otro lado, la estructura de los **resultados del recomendador y detector de anomalías** en formato JSON será similar a:

```
{
  "recomendaciones": {
    "materiaOrganica": float,
```

```
"carbono": float,  
  
"nitrogeno": float,  
  
"fosforo": float,  
  
"potasio": float,  
  
"calcio": float,  
  
"magnesio": float,  
  
"capacidadCambioEfectiva": float,  
  
"relacionMO": float,  
  
"acidezCambio": float,  
  
"encalado": float  
  
},  
  
"desviaciones": {  
  
"materiaOrganica": float,  
  
"carbono": float,  
  
"nitrogeno": float,  
  
"fosforo": float,  
  
"potasio": float,  
  
"calcio": float,  
  
"magnesio": float,  
  
"capacidadCambioEfectiva": float,  
  
"relacionMO": float,  
  
"acidezCambio": float
```

```
},  
  
"parametros_nirs": [  
  
  {  
  
    "materiaOrganica": float,  
  
    "carbono": float,  
  
    "nitrogeno": float,  
  
    "fosforo": float,  
  
    "potasio": float,  
  
    "calcio": float,  
  
    "magnesio": float,  
  
    "capacidadCambioEfectiva": float,  
  
    "relacionMO": float,  
  
    "acidezCambio": float,  
  
    "anomaly": bool  
  
  },  
  
  {  
  
    ...  
  
  }  
  
]  
  
}
```

Cuando ya estaba la estructura de la API y la integración entre ambas desarrollada, el CIAM determinó que algunos parámetros (consultar tablas de cálculo en el apartado PT4.1) no iban a disponer finalmente de recomendación.

Es por ello que, aunque aquí aparezcan reflejados, oSIGris los omitirá de cara al envío de información al usuario.

PT5.- CREACIÓN DEL SET DE MUESTRAS DE CALIBRACIÓN, ANÁLISIS DE LOS ESPECTROS, ANÁLISIS DE MUESTRAS DE CALIBRACIÓN, DESARROLLO DE ALGORITMOS, VALIDACIONES EXTERNAS, ACTUALIZACIONES PROGRESIVAS DE LAS ECUACIONES.

PARTICIPA: CIAM

PT 5.1 - Creación del set de muestras de calibración. es necesario representar la variabilidad espacial y temporal de la fertilidad de los suelos por lo que es necesario disponer de un lote suficientemente elevado de muestras que representen los diferentes niveles de fertilidad (EN TORNO A 400 MUESTRAS).

La selección de las parcelas objeto de análisis se basó en la experiencia de ARESA y CUSOVIAME de forma que los parámetros de fertilidad del suelo fueran potencialmente representativos de la variabilidad encontrada teniendo en cuenta los históricos de fertilidad de las parcelas.

Procedentes de las dos empresas, el CIAM recibió un total de 290 muestras de perfiles y 145 muestras globales.

PT 5.2 - Creación De La Librería Espectral. Estudiar La Variabilidad Asociada A La Presentación De Las Muestras Y El Uso De Diferentes Equipos Nirs.

Utilizando los cilindros que recibía el CIAM (identificadas como muestras frescas inalteradas localizadas) la información espectral fue recogida por capas de 0-6 cm, de 6-12 cm, de 12-18 cm. Una vez realizadas las medidas espectroscópicas el suelo de cada cilindro se desmenuzaba y homogenizaba, y se volvían a recoger nuevos espectros (identificadas como muestras frescas alteradas localizadas). Posteriormente las muestras se secaban al aire (máximo a 40 °C, muestras secas) y se tamizaban a 2 mm (muestras secas+tamizadas), y se volvían a recoger los espectros. Para cada muestra se recogían varias réplicas de los espectros (tres réplicas por capa en los perfiles y cuatro en las muestras homogenizadas). El instrumento utilizado fue un Labspec 4Si equipado con sonda alimentaria S/N 203 que toma medidas de reflectancia en el rango de 350 a 2500

nm (Visible+NIR) con una resolución espectral de 3-10 nm y el software utilizado para la adquisición de los espectros fue el Indico Pro-6.5 (ASD. USA). En la **Figura 1** se muestra el proceso seguido en el CIAM una vez recibidas las muestras. En la **Figura 2** se muestra el equipo portátil utilizado: Labspec 4Si -S/N 28248 equipado con sonda alimentaria S/N 203.

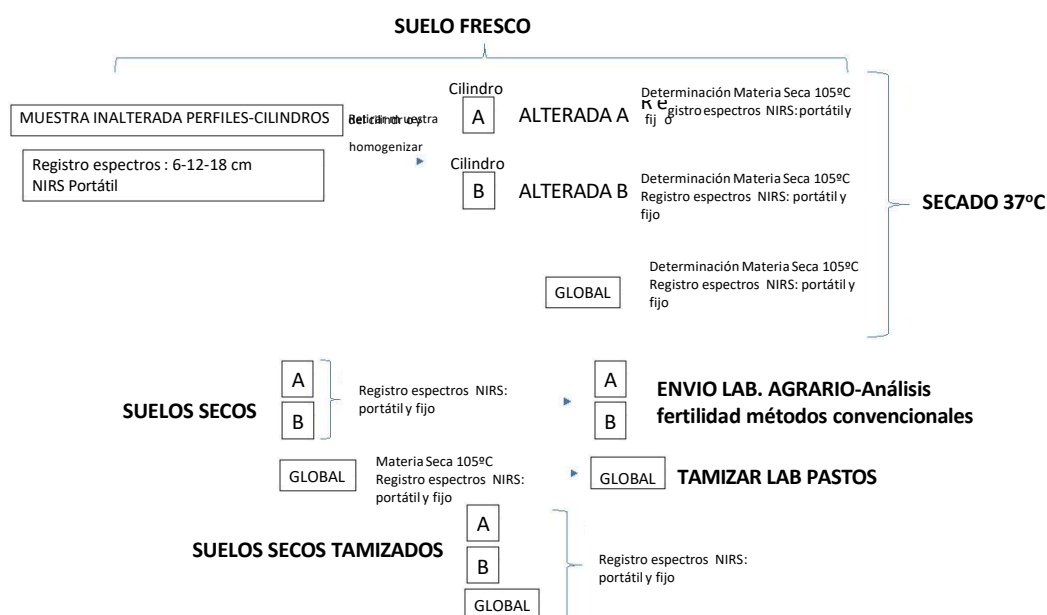


Figura 1. Esquema donde se muestra el procesado de muestras recibidas en el CIAM.



Figura 2. Equipo portátil NIRS utilizado: Labspec 4Si equipado con sonda alimentaria S/N 203

En la **Figura 3** se muestra una representación de algunos espectros recogidos.

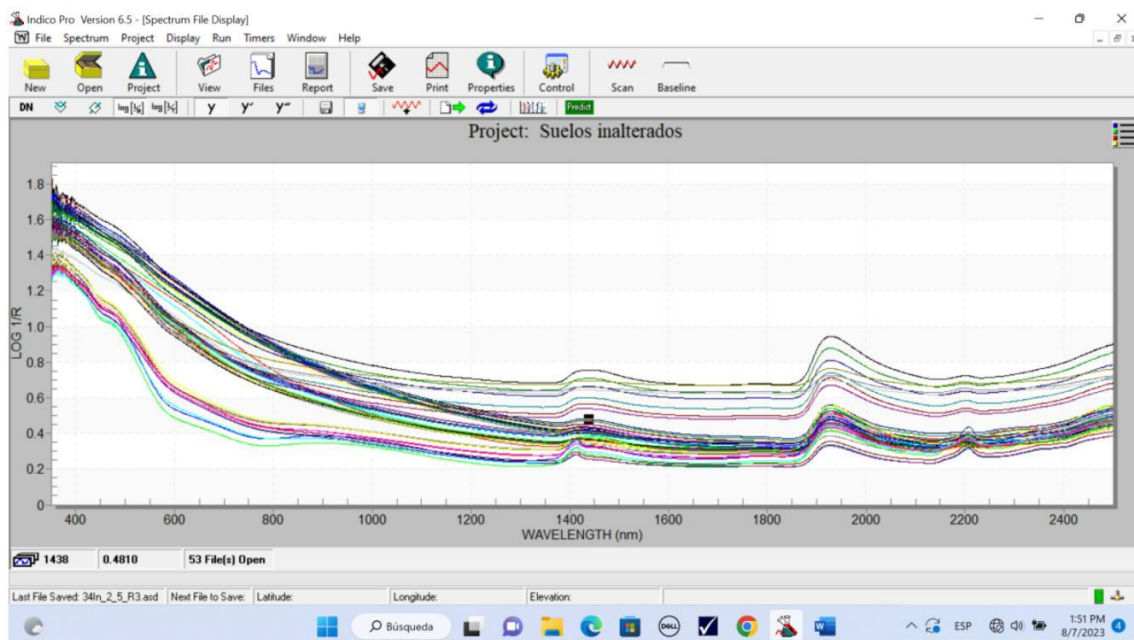


Figura 3. Representación en el Indico Pro de algunos espectros.

PT 5.3 -. Análisis de los espectros, tratamiento quimiométrico y selección de muestras de calibración.

Para el análisis quimiométrico se utilizó el software Unscrambler X. Los modelos de calibración fueron desarrollados utilizando análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR); un método común para obtener modelos de regresión con la información espectral y los valores analíticos de referencia. En primer lugar, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA). Este análisis reduce los datos y construye combinaciones lineales (componentes principales) de las variables originales que explican una gran parte de la variabilidad original. El análisis PCA permitió estudiar la estructura y variabilidad espectral de la población y detectar muestras anómalas, siendo identificadas las muestras atípicas (outliers espectrales). Aquellos espectros anómalos

fueron eliminados, repitiendo el proceso de detección y eliminación de anomalías espectrales hasta conseguir que todas las muestras representaban un colectivo más homogéneo.

Previamente a realizar las regresiones PLSR las longitudes de onda extremas fueron eliminadas de los espectros por el ruido y el rango de longitudes de onda utilizado en la calibración reducido a 450-2400 nm. Así mismo, tampoco fueron considerados los rangos donde se producía el cambio de detectores, entre 982-1035 nm y entre 1773-1823 nm. Para reducir la influencia del tamaño de partícula, humedad y variación del paso óptico en el espectro de reflectancia, varios pre-tratamientos espectrales fueron testados: Standard Normal Variate (SNV), De-trend (D), o ambos (SNV+D), y transformaciones de primera y segunda derivada. Por tanto, los tratamientos matemáticos evaluados fueron los siguientes: 0,0,0; 1,5,5; 2,10,5, donde el primer dígito expresa el orden de la derivada (0= no se aplicaba derivada, 1= primera derivada, 2= segunda derivada), el segundo dígito indica el tamaño del segmento sobre el cual se realiza la derivación (intervalo expresado en nanómetros), y el tercero el tamaño de los intervalos, expresados en nanómetros, utilizados para el cálculo de suavización de la derivada.

PT 5.4 -. Análisis de muestras de calibración por métodos de referencia en los laboratorios de ciam y con la colaboración del laboratorio de lafiga

El colectivo de muestras de suelos procedente de los cilindros (perfiles), fue utilizado como fichero de calibración. Después de la eliminación de muestras outliers espectrales se consideraron finalmente 269 muestras que fueron analizadas por los métodos de referencia en el Laboratorio Agrario y Fitopatológico de Galicia (LAFIGA). Los valores de referencia para los parámetros objeto de análisis: materia orgánica (MO), carbono total (Ct), nitrógeno total (Nt), relación C/N, fósforo (P) y potasio (K). calcio (Ca), magnesio (Mg), acidez de cambio (AC), capacidad de cambio efectiva (CCE), saturación por acidez (SA) y pH se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Características descriptivas de los parámetros del colectivo de muestras utilizadas en el desarrollo de los modelos de predicción.

Parámetros	Parámetro	Unidades	MEDIA	DESV.TÍPICA	MAX	MIN
Materia Orgánica	MO	g/kg MS*	89.36	41.74	223.70	25.90
Carbono total	Ct	g/kg MS	42.81	23.08	127.61	9.41
Nitrógeno total	Nt	g/kg MS	3.74	1.64	10.00	1.04
Relación C/N	Rel C/N		11.03	1.94	18.48	3.89
pH en agua a 20 °C EXT. 1:2.5	pH		5.80	0.60	7.80	4.50
Conductividad eléctrica EXT. 1:5	CE	dS/m a 25 °C	0.07	0.05	0.41	0.02
Fósforo soluble en bicarbonato sódico (Olsen)	P	mg/kg MS	33.84	30.42	179.00	0.00
Potasio, extracción acetato amónico 1N pH:7	Kppm	mg/kg MS	180.48	122.04	693.00	29.00
Potasio, extracción acetato amónico 1 N pH 7	Kcmol	cmol+/kg MS	0.46	0.31	1.77	0.07
Calcio, extracción acetato amónico 1N pH:7	Ca	cmol+/kg MS	5.85	4.40	32.31	0.20
Magnesio, extracción acetato amónico 1N pH:7	Mg	cmol+/kg MS	0.89	0.56	3.71	0.06
Sodio, extracción acetato amónico 1 N pH 7	Na	cmol+/kg MS	0.10	0.08	0.48	0.01
Acidez de Cambio, extracción cloruro potásico 1 M	AC	cmol+/kg MS	1.18	1.53	8.20	0.00
Capacidad de cambio efectiva	CCE	cmol+/kg MS	8.47	4.12	34.81	2.85
Saturación por acidez	SA	g/100 g MS	19.00	23.69	89.90	0.00

*MS: Materia seca a 105°C

PT 5.5 - Desarrollo de ecuaciones de calibración

Para el desarrollo de ecuaciones se utilizó el software Unscrambler X (versión 10.4.1). El número de factores PLS testado fue fijado en 10 y el número óptimo determinado por validación cruzada. Con la intención de obtener poblaciones de muestras con una distribución uniforme muestras con altos valores analíticos para el P (superiores a 70 ppm) y K (superiores a 400) fueron descartadas de la calibración. Durante el proceso de desarrollo de las calibraciones los outliers químicos con valores del estadístico T superiores a 2,5 eran eliminados. Para cada variable también se estudió el rango óptimo espectral considerado en la calibración: la región Visible+NIR (VNIR) o sólo la NIR.

Los modelos de calibración se seleccionaron en base a los menores valores del error estándar de calibración (SEC) y de validación cruzada (SECV) y a los mayores valores del coeficiente de determinación para la calibración (R^2) y validación cruzada (1-VR). Los valores de los respectivos coeficientes de determinación se tomaron como indicadores de la precisión de los modelos de calibración. De todas las ecuaciones desarrolladas para la predicción de los parámetros estudiados en la **Tabla 2** figuran los mejores modelos obtenidos para cada parámetro, en base a los criterios indicados anteriormente.

Los modelos de predicción obtenidos a partir de la segunda derivada permitieron obtener estimaciones más precisas y exactas para la estimación de los parámetros de N, K y AC, mientras que para el C, Rel C/N, P, Ca, Mg, CCE, SA y pH se obtuvieron con la primera derivada. En el caso de la MO se obtuvo con el tratamiento de espectros sin derivar.

El número de muestras eliminadas como outliers químicos ($T > 2,5$) osciló entre 2,7 y 20,1% del total de muestras iniciales de la colección en el desarrollo de las ecuaciones de predicción, estando estos porcentajes por debajo o en el límite del valor del 20% recomendado.

Tabla 2. Estadísticos obtenidos para las calibraciones.

Parámetro	Región	TM	Scatter	T	Min	Max	Med	SD	N	ouliers ($T > 2,5$)	N eqa	%out	SEC	R ² cal
MO	VIR+NIR	0,0,0	D	8	25.90	186.70	82.82	34.74	264	27	237	10.2	11.58	0.87
C	VIR+NIR	1,5,5	SNV	8	9.41	102.23	40.06	19.72	264	17	247	6.4	6.85	0.88
N	VIR+NIR	2,10,5	SNV	9	1.04	7.97	3.68	1.55	264	7	257	2.7	0.72	0.78
Rel C/N	VIR+NIR	1,5,5	SNV	8	7.07	15.53	10.89	1.58	264	14	250	5.3	0.80	0.75
P Olsen	VIR+NIR	1,5,5	SNV+D	10	2.00	69.00	25.76	16.01	264	48	216	18.2	11.19	0.51
K	VIR+NIR	2,10,5	SNV	8	29.00	395.00	141.03	69.88	264	39	225	14.8	54.42	0.39
Ca	VIR+NIR	1,5,5	SNV	8	0.20	14.74	5.27	3.25	264	13	251	4.9	2.39	0.46
Mg	VIR+NIR	1,5,5	SNV	10	0.06	2.29	0.79	0.42	264	27	237	10.2	0.26	0.62
AC	VIR+NIR	2,10,5	SNV+D	8	0.00	4.30	0.74	0.84	264	40	224	15.2	0.56	0.56
CCE	VIR+NIR	1,5,5	SNV+D	10	2.85	13.81	7.53	2.50	264	28	236	10.6	1.61	0.58
SA	VIR+NIR	1,5,5	SNV	8	0	71.26	10.20	13.06	264	53	211	20.1	8.72	0.52
pH	VIR+NIR	1,5,5	SNV	10	4.5	7.20	5.78	0.55	264	13	251	4.9	0.36	0.55

Considerando el criterio de Shenk y Westerhaus (1996, **Tabla 3**), valores del coeficiente de determinación (R^2) en calibración superiores a 0,90 proporcionan un ajuste excelente, entre 0,70 y 0,89 la calidad del ajuste es buena, entre 0,50 y 0,69 se consigue una buena separación entre valores bajos, medios y altos, entre 0,49 y 0,30 permiten una correcta separación entre valores bajos y altos, y entre 0,29 y 0,05 sería mejor que no analizar.

Tabla 3. Criterio de clasificación de las calibraciones.

Calibraciones	R ²
Excelente ajuste	$\geq 0,90$
Buen ajuste	0,70-0,89
Buena separación entre valores bajos, medios y altos	0,50-0,69
Correcta separación entre valores bajos y altos	0.30-0.49
Mejor que no analizar	0.05-0.29

Los coeficientes de determinación (Tabla 4) en el proceso de calibración fueron superiores a 0,70 para las ecuaciones de MO, C, N y relación C/N, indicando un buen ajuste. Para el resto de parámetros permiten una predicción cualitativa en rangos.

Tabla 4. Clasificación de las calibraciones obtenidas.

Parámetro	R ²
MO	Buen ajuste
C	Buen ajuste
N	Buen ajuste
Rel C/N	Buen ajuste
P Olsen	Buena separación entre valores bajos, medios y altos
K	Correcta separación entre valores bajos y altos
Ca	Correcta separación entre valores bajos y altos
Mg	Buena separación entre valores bajos, medios y altos
AC	Buena separación entre valores bajos, medios y altos
CCE	Buena separación entre valores bajos, medios y altos
SA	Buena separación entre valores bajos, medios y altos
pH	Buena separación entre valores bajos, medios y altos

PT 5.6 -. Validación de las ecuaciones

En la **Tabla 5** aparecen los estadísticos obtenidos en el proceso de validación cruzada de las calibraciones. La fiabilidad de las ecuaciones se evaluó usando los estadísticos RER y RPD. RER, es la relación entre el rango de valores de referencia y el error estándar de predicción en validación cruzada; y RPD la relación entre la desviación estándar de los valores de referencia y el error estándar de predicción en validación cruzada. RPD < 2 presentan baja capacidad predictiva y no son de utilidad; si el valor de RPD está entre 2,0 y 2,5 la predicción se considera mediocre; para valores de RPD entre 2,5 y 3,0 la predicción es de calidad aceptable y para los modelos con valor de RPD > 3,0 la predicción se considera buena. La equivalencia con el estadístico RER aparece en la **Tabla 6**.

Tabla 5. Estadísticos de validación cruzada de las ecuaciones obtenidas.

Parámetro	SECV	1-VR	RER	RPD
MO	13.63	0.85	11.8	2.5
C	7.66	0.85	12.1	2.6
N	0.82	0.72	8.5	1.9
Rel C/N	0.87	0.71	9.8	1.8
P Olsen	12.99	0.35	5.2	1.2
K	61.12	0.24	6.0	1.1
Ca	2.67	0.33	5.4	1.2
Mg	0.29	0.53	7.7	1.5
AC	0.63	0.45	6.8	1.3
CCE	1.81	0.47	6.0	1.4
SA	9.86	0.39	7.2	1.3
pH	0.40	0.45	6.8	1.4

Tabla 6. Valores de referencia de los estadísticos RER (ratio entre el rango de los valores referencia y el error estándar de predicción) y RPD (ratio entre la desviación estándar de los valores referencia y el error estándar de predicción) considerados para la interpretación de las calibraciones obtenidas.

RER	RPD	Predicciones
> 12	>3	Buena
8-12	2,5-3,0	Calidad aceptable
4-8	2,0-2,5	Mediocre: distingue entre valores altos-medios-bajos
<4	<2	Baja capacidad predictiva

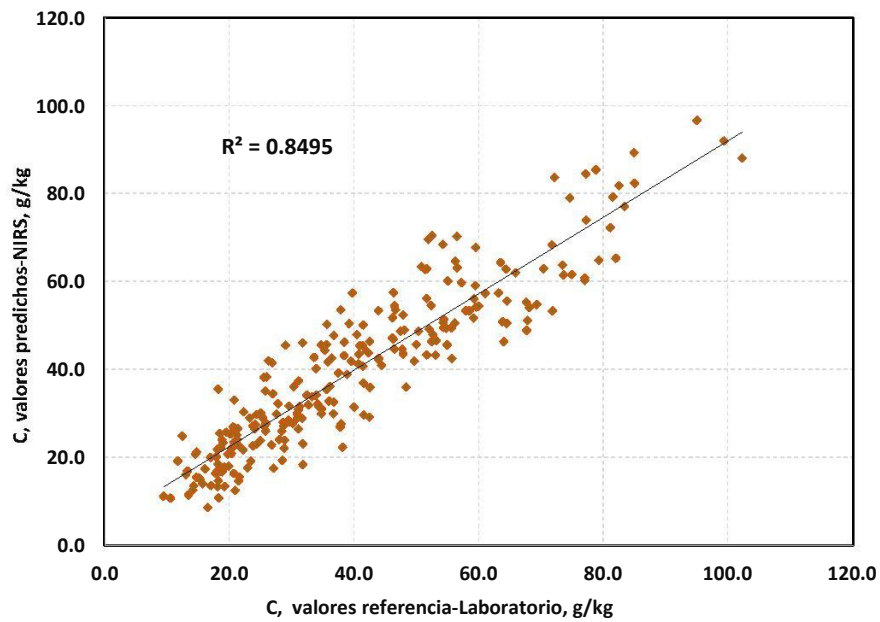
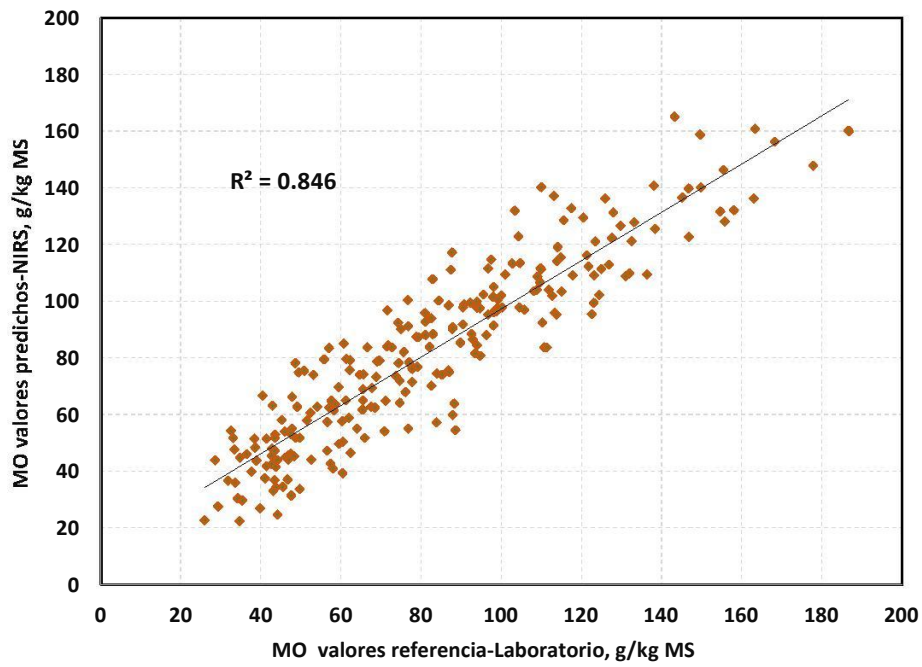
Al analizar la calidad predictiva de las ecuaciones en base a los valores RER y RPD en validación cruzada (**Tabla 7**), resultan de calidad aceptable para MO y C permitiendo para estas ecuaciones una predicción cuantitativa, mediocre para el N y relación C/N

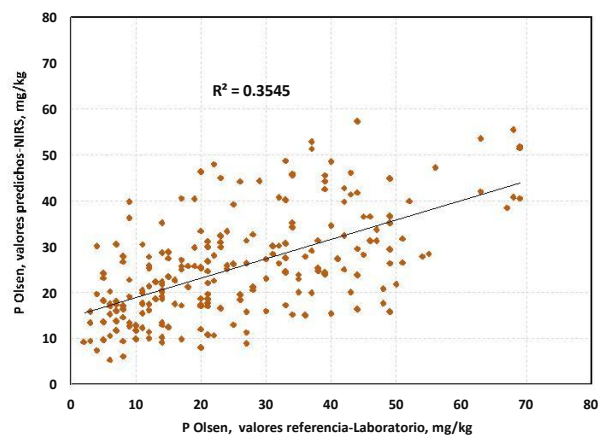
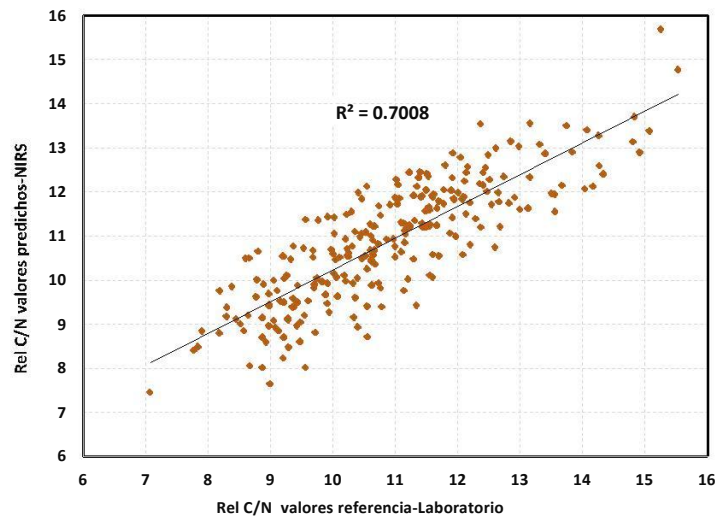
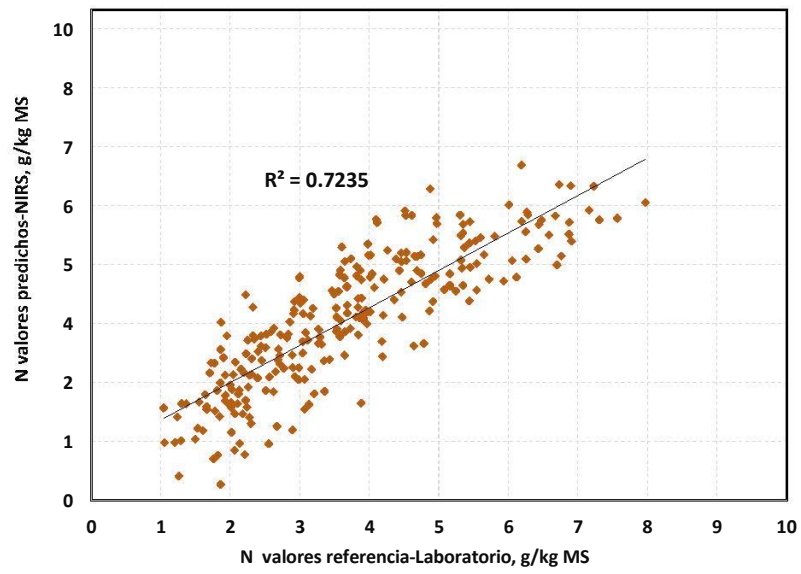
permitiendo una clasificación de valores altos, medios y bajos para estos parámetros, y con baja capacidad predictiva para el resto de parámetros. Por tanto, las ecuaciones obtenidas para los parámetros de MO y C son de utilidad para ser aplicadas en el análisis de colecciones de muestras con similares características que las de la colección de calibración utilizada en este trabajo y para los restantes parámetros, debido a la escasa robustez, se tendrá que seguir trabajando en la ampliación de la colección con nuevas muestras para incrementar su variabilidad.

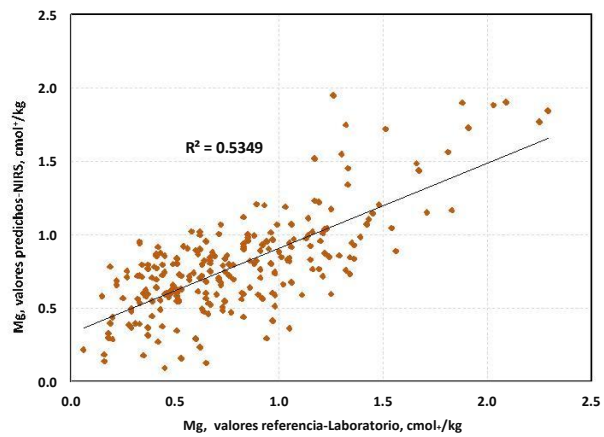
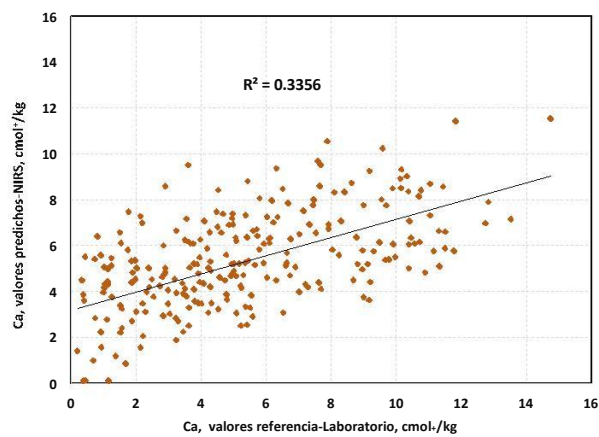
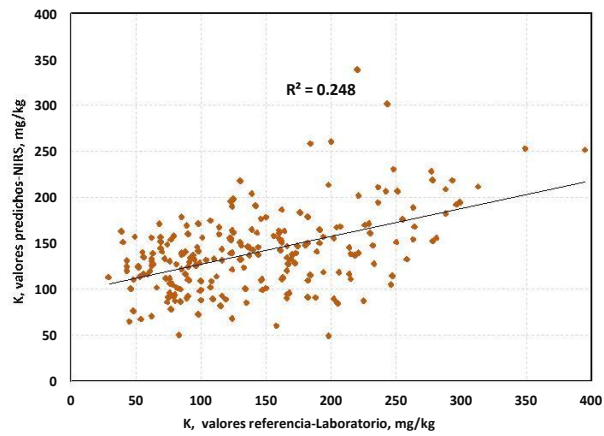
Tabla 7. Fiabilidad de las predicciones teniendo en cuenta los parámetros RER y RPD.

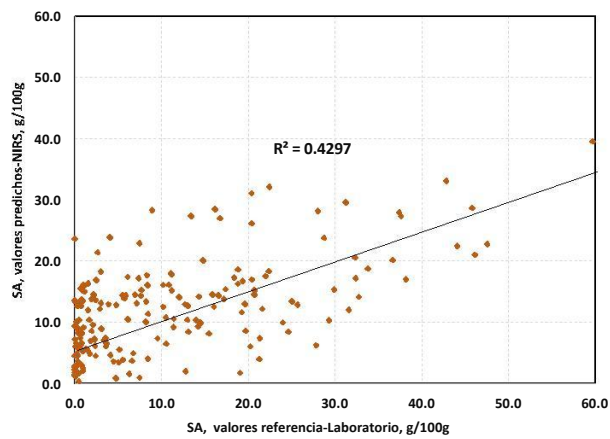
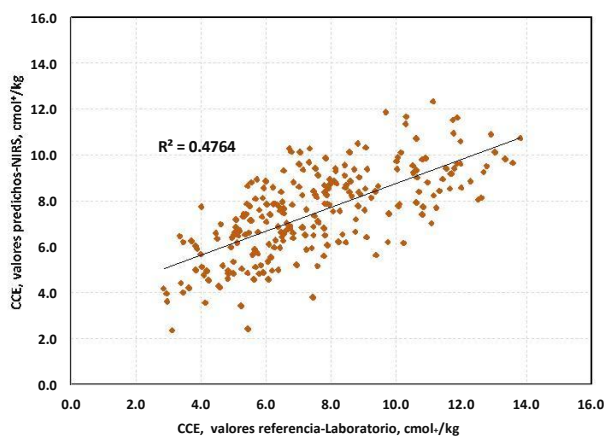
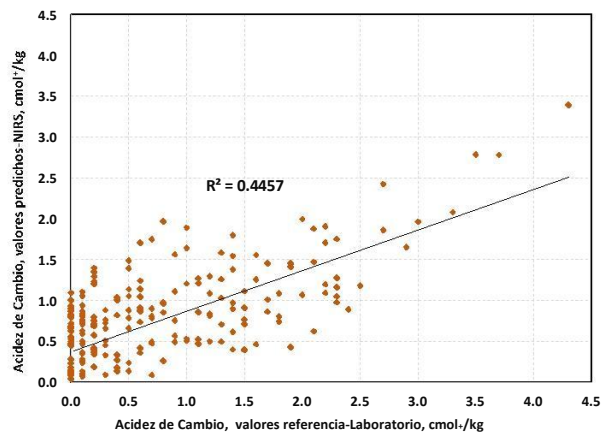
Parámetro	RER	RPD
MO	Calidad aceptable	Calidad aceptable
C	Buena	Calidad aceptable
N	Calidad aceptable	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos
Rel C/N	Calidad aceptable	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos
P Olsen	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos	Baja capacidad predictiva
K	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos	Baja capacidad predictiva
Ca	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos	Baja capacidad predictiva
Mg	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos	Baja capacidad predictiva
AC	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos	Baja capacidad predictiva
CCE	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos	Baja capacidad predictiva
SA	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos	Baja capacidad predictiva
pH	Permite distinguir entre valores altos-medios-bajos	Baja capacidad predictiva

En la **Figura 4** se muestra la representación gráfica de los valores de referencia frente a valores predichos para los doce parámetros considerados: materia orgánica (MO), carbono total (C), nitrógeno total (N), Relación C/N, fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), acidez de cambio (AC), capacidad de cambio efectiva (CCE), saturación por acidez (SA) y pH









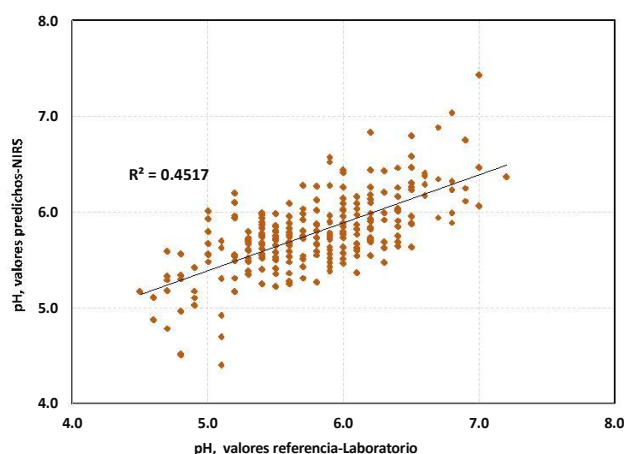


Figura 4. Relaciones entre los valores de análisis por métodos de referencia de validación cruzada y valores predichos por NIRS.

Conclusiones

En la matriz de suelo fresco, aplicable a la medida de la fertilidad directa (in-situ) de los suelos, las ecuaciones obtenidas para los parámetros de materia orgánica y carbono total resultan de utilidad para ser aplicadas en el análisis de muestras con similares características a las de la colección de calibración utilizada en este trabajo. Para mejorar la robustez de las predicciones de los restantes parámetros sería necesario seguir ampliando la variabilidad, incorporando nuevas muestras a la colección de calibración.

PT 5.7 -. Actualización progresiva de ecuaciones con nuevas muestras no representadas en el grupo de calibración inicial para conseguir mejores ecuaciones

El periodo limitado de ejecución del proyecto y ciertos retrasos en la recogida de muestras no han permitido llevar a cabo varias etapas de actualización de las ecuaciones. Con el objetivo de incluir en el trabajo un número mínimo aceptable de muestras el desarrollo de las calibraciones se inició en el mes de julio de la última anualidad del proyecto con aquellas muestras que estaban analizadas por los métodos de referencia (LAFIGA).

PT6.- TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO EN MATERIA DE INNOVACIÓN. DIFUSIÓN DE RESULTADOS. ESTRATEGIA KPI'S.

PT 6.1 - "Indicadores clave para el rendimiento de la innovación. Porcentajes y tasas en cuanto a innovación. Grados de innovación alcanzados en base a la ejecución del proyecto. Determinación del grado de innovación. Metodología: Cálculo de indicadores ".

PARTICIPAN: ARESA / MEDRAR

La implementación de los indicadores relacionados con la innovación alcanzados durante el proyecto permite evaluar el impacto de este, y también posiciona a #NIRS2CUSTOM como un modelo en la incorporación de tecnologías avanzadas en la agricultura de precisión. Basándonos en las mejores prácticas metodológicas y en estudios previos (Zhao et al., 2021; Malley et al., 2004), se han establecido métricas que permiten cuantificar la adopción y los beneficios generados por la integración de la tecnología NIRS y la inteligencia artificial (IA).

1. Adopción de Tecnología NIRS en Operaciones Agrícolas

Se plantea como hipótesis que el uso de la tecnología NIRS para el análisis químico del suelo en tiempo real reemplazará progresivamente los métodos tradicionales de laboratorio, gracias a la rapidez, accesibilidad y menor coste operativo. Aunque los resultados finales de adopción aún están pendientes de ser evaluados en un entorno comercial más amplio, se prevé que la facilidad de uso y la precisión de las predicciones favorezcan la aceptación de esta innovación en al menos un 70% de las explotaciones agrícolas participantes durante los primeros años de implementación.

2. Crecimiento Proyectado en la Adopción Tecnológica

La tasa de crecimiento anual esperada se fundamenta en modelos predictivos derivados de tendencias de adopción tecnológica similares en el sector agroalimentario (P&S Market Research, 2023). La combinación del cuaderno digital con recomendaciones "ad

hoc” y la analítica en tiempo real garantiza un crecimiento sostenido, estimado en un 10% anual, a medida que más explotaciones integran esta solución en sus procesos.

3. Impacto de la IA en la Gestión Agronómica

La integración de IA en el cuaderno de campo digital ha sido diseñada para convertirse en un estándar en el 100% de las explotaciones agrícolas del grupo Aresa. Basado en el marco SUOD (Zhao et al., 2021), el sistema proporciona recomendaciones personalizadas y detección temprana de anomalías, facilitando una toma de decisiones más precisa. Este enfoque, validado en pruebas piloto, ha mostrado un incremento del 30% en la eficiencia del uso de fertilizantes en las explotaciones analizadas.

4. Reducción del Impacto Ambiental

El análisis cuantitativo realizado durante esta anualidad nos llevaría a una reducción proyectada del 25% en la contaminación del suelo y el agua derivada del uso excesivo de fertilizantes, gracias a la incorporación de la analítica de suelos en tiempo real y las recomendaciones optimizadas por IA. Estos resultados están alineados con los objetivos planteados en la Directiva 91/676/CEE sobre la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias, y destacan la relevancia del proyecto en el contexto de sostenibilidad medioambiental.

Conclusión

Los resultados obtenidos en esta anualidad reafirman la viabilidad técnica, económica y ambiental de #NIRS2CUSTOM como una solución disruptiva en la agricultura de precisión. La incorporación de tecnología NIRS y de inteligencia artificial no solo optimiza las prácticas agrícolas, sino que también establece un nuevo estándar en la sostenibilidad del sector, demostrando cómo la innovación puede traducirse en beneficios tangibles para productores y el medio ambiente. Estos indicadores serán fundamentales para evaluar el impacto del proyecto a largo plazo y servirán como referencia para futuras investigaciones en este ámbito.

Referencias Bibliográficas

Malley, D. F., & Martin, P. D. (2003). *The use of near-infrared spectroscopy for soil analysis. Tools for nutrient and pollutant management: Application to agriculture and environmental quality.*

Zhao, Y., et al. (2021). *SUOD: Accelerating Large-Scale Unsupervised Heterogeneous Outlier Detection. Proceedings of Machine Learning and Systems, 3.*

P&S Market Research. (2023). *Global Connected Logistics Market Size, Share, Development, Growth, and Demand Forecast to 2023.*

PT 6.2 - Creación, planificación y gestión de los medios de distribución de los resultados del proyecto, fijar objetivos, estrategia de difusión efectiva, plan de comunicación integral del proyecto de innovación.

|| Vídeo resumen de 2min: <https://www.nirs2custom.com/resultados>

|| Web con blog y entrevistas: <https://www.nirs2custom.com/>

<https://www.nirs2custom.com/2023/04/11/conocemos-a-carlota-lopez-adjunta-de-direccion-en-aresa/>

<https://www.nirs2custom.com/2023/10/24/entrevista-bruno-fernandez-responsable-tecnico-de-la-linea-de-machine-learning-y-optimizacion/>

<https://www.nirs2custom.com/2023/10/31/entrevista-a-jose-senande-ceo-de-osigris/>

<https://www.nirs2custom.com/2023/12/14/presentacion-de-resultados/>

<https://www.nirs2custom.com/2024/01/15/entrevista-dolores-baez-investigadora-del-ciam/>

|| RSS: <https://www.linkedin.com/company/nirs2custom/>

https://www.linkedin.com/posts/nirs2custom_nirs2custom-lugo-resultados-activity-7128669184862924800-oWzB/?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

https://www.linkedin.com/posts/nirs2custom_nirs2custom-cooperativacusoviam-agacal-activity-7152966618799562752-Rkb0?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

https://www.linkedin.com/posts/nirs2custom_presentaci%C3%B3n-de-resultados-activity-7140971279607648256-0E_A?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

https://www.linkedin.com/posts/nirs2custom_entrevista-a-jose-senande-ceo-de-osigris-activity-7125054316628832258-P5y3?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

https://www.linkedin.com/posts/nirs2custom_entrevista-dolores-b%C3%A1ez-investigadora-del-activity-7155482175444770817-8JCt?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

https://www.linkedin.com/posts/nirs2custom_nirs2custom-el-proyecto-para-analizar-el-activity-7148261990875009024-JNvp?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

https://www.linkedin.com/posts/nirs2custom_nirs2custom-cooperativacusoviame-agacal-activity-7254858220127551489-8Y5N?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

<https://aresa-agricola.com/nirs2custom-levar-o-laboratorio-ao-campo/>

<https://vacapinta.com/es/empresa/nirs2custom-llevar-el-laboratorio-al-campo.html>

https://www.linkedin.com/posts/revista-vaca-pinta_nirs2custom-llevar-el-laboratorio-al-campo-activity-7272663466362970113-VCxW?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

|| Prensa:

<https://innova.campogalego.gal/es/agricultura-es/nirs2custom-el-proyecto-para-analizar-el-suelo-en-tiempo-real-y-abonar-unicamente-lo-necesario.html>

<https://innova.campogalego.gal/agricultura/investigadores-galegos-desenvolven-unha-ferramenta-dixital-de-analitica-de-solos-en-tempo-real-con-tecnoloxia-nirs.html>

<https://innova.campogalego.gal/es/agricultura-es/nirs2custom-el-proyecto-para-analizar-el-suelo-en-tiempo-real-y-abonar-unicamente-lo-necesario.html>

<https://innova.campogalego.gal/es/agricultura-es/nirs2custom-el-proyecto-para-analizar-el-suelo-en-tiempo-real-y-abonar-unicamente-lo-necesario.html>





Nirs2Custom

GRUPO OPERATIVO DE INNOVACIÓN

#NIRS2CUSTOM

Investigación para el desarrollo innovador de un prototipo equipado con la técnica NIRS para analizar la composición química del suelo en tiempo real, asociado a un cuaderno de campo digital dotado de una capa de Inteligencia Artificial con predicción para la fertilización personalizada de los cultivos.



Inteligencia Artificial

Sobre la base de datos actualizaremos una capa de inteligencia artificial, un servicio software basado en ML (Machine Learning) para detectar automáticamente desviaciones significativas que el uso de un determinado fertilizante tiene en el comportamiento normal de un terreno.



Cuaderno de Campo

Todos los datos recogidos se incluirán en una base de datos global en la nube conectada mediante API al programa de gestión de explotaciones, y directamente al cuaderno de campo digital de Aresa.



NIRS

Desarrollo de un prototipo para la toma de datos en tiempo real basado en la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) que es un método rápido y no destructivo para la predicción de multitud de parámetros en muestras de diversos orígenes, aplicado en este caso al suelo.



















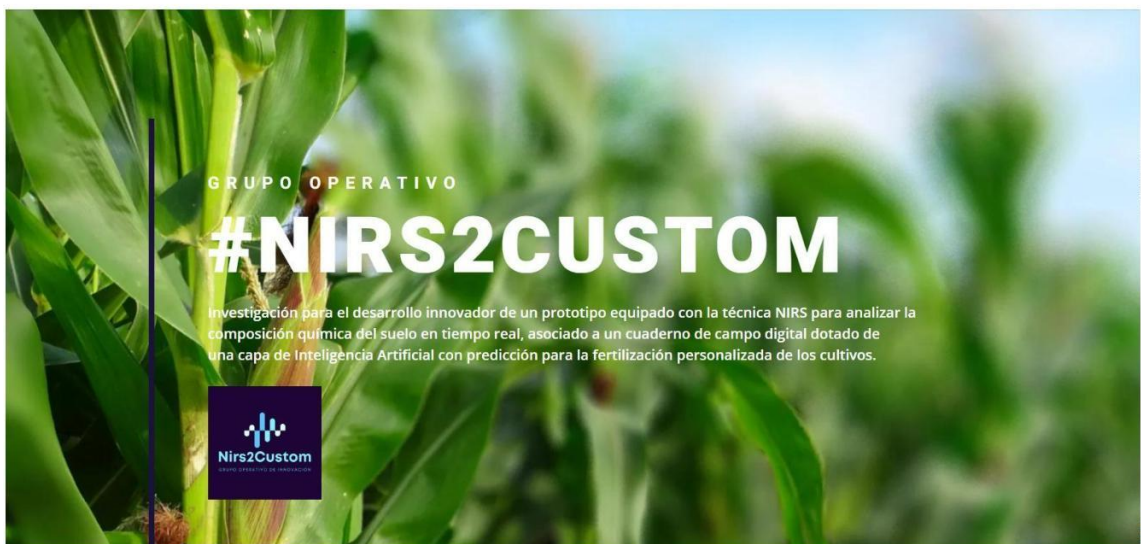












Entrevista Dolores Báez, Investigadora del CIAM

Hoy hablamos con Dolores Báez, Investigadora en el Centro Investigación Agrarias Mabegondo (Agencia Galega da Calidade Alimentaria). ¿Para las personas que no conocen el CIAM, ¿podrías indicar a qué se dedica y en qué consiste el modelo de negocio? Dentro de la...



PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Aunque durante el proyecto #NIRS2CUSTOM se realizan reuniones mensuales para el seguimiento del avance técnico del proyecto, en el día de ayer se reunió todo el equipo para realizar una evaluación de los resultados obtenidos hasta la fecha. En esta ocasión especial...



Entrevista a Jose Senande, CEO de OSIGRIS

Para las personas que no conocen OSIGRIS, ¿podrías indicar a qué se dedica y en qué consiste el modelo de negocio? (A qué sector pertenecéis, qué hacéis en el día a día, a qué cliente os dirigís, cuáles son vuestros proyectos más importantes, etc) Osigris es una...



EMAIL

hola@nirs2custom.com



RRSS





 Inicio  Mi red  Empleos  Mensajes  Noti



NIRS2CUSTOM

Investigación para el desarrollo innovador de un prototipo equipado con la técnica NIRS.
Agricultura, ganadería, ingeniería forestal · Lugo, España · 39 seguidores · 11-50 empleados

[✉ Enviar mensaje](#) [✓ Siguiendo](#) [⋮](#)

[Inicio](#) [Acerca de](#) [Publicaciones](#) [Empleos](#) [Personas](#)

Resumen

Investigación para el desarrollo innovador de un prototipo equipado con la técnica NIRS para analizar la composición química del suelo en tiempo real, asociado a un cuaderno de campo digital dotado de una capa de Inteligencia Artificial con predicción para la fertilización personalizada de los cultivos. El ... ver más

[Mostrar todos los detalles →](#)

Publicaciones de la página

**NIRS2CUSTOM**
39 seguidores
1 mes · 

**NIRS2CUSTOM**
39 seguidores
10 meses · Editado · 

DEMODAY





44833506C CARLOTA
LOPEZ (R: B27015304)

Firmado digitalmente por 44833506C
CARLOTA LOPEZ (R: B27015304)
Fecha: 2024.12.13 12:13:40 +01'00'