

Desarrollo e Implementación de un Sistema de Monitoreo Agrícola Basado en Micromódulos: Un Enfoque Integrado para la Gestión de Plantaciones

RESUMEN: En el ámbito de la agricultura moderna, la detección temprana y precisa de enfermedades en los cultivos es vital para la prevención de pérdidas significativas. Tradicionalmente, este proceso ha dependido de la inspección visual por expertos, lo cual es costoso y a menudo impracticable a gran escala.

Ante la necesidad de tecnologías avanzadas en el monitoreo agrícola, persisten limitaciones en su aplicabilidad universal y su falta de extensibilidad. En este artículo se introduce un sistema informático que se apoya en una arquitectura de micromódulos para el monitoreo de plantaciones a través de muestreos en campo, utilizando dispositivos móviles.

La solución propuesta permite la integración de nuevos parámetros de monitoreo conforme surjan necesidades futuras. Adicionalmente, se detalla el diseño y la implementación de un sistema de monitoreo agrícola integral, que incluye una base de datos central en MySQL para almacenar datos relevantes de los cultivos, un backend en Spring Boot para la comunicación entre la base de datos y la interfaz de usuario, y una aplicación móvil desarrollada en Android Studio para la interacción directa con los usuarios. La metodología incluye el diseño del sistema, desarrollo de software y pruebas de funcionalidad. Como caso de estudio se aborda el monitoreo de cultivos de tabaco.

PALABRAS CLAVE: Micromódulos, Monitoreo Agrícola, Extensibilidad, Dispositivos Móviles, Agricultura de Precisión.



Colaboración

Ana Cecilia Galván García; María Guadalupe Sánchez Cervantes; Ansel Yoan Rodríguez González, Tecnológico Nacional de México Campus de Tijuana

Fecha de recepción: 11 de marzo 2024

Fecha de aceptación: 19 de junio de 2024

ABSTRACT: In the field of modern agriculture, early and accurate detection of diseases in crops is crucial for preventing significant losses. Traditionally, this process has relied on visual inspection by experts, which is costly and often impractical on a large scale. Faced with the need for advanced technologies in agricultural monitoring, limitations persist in their universal applicability and lack of extensibility. In this article, a computer system is introduced that relies on a Micro-modules architecture for plantation monitoring through field sampling, using mobile devices. The proposed solution allows the integration of new monitoring parameters as future needs arise. Additionally, the design and implementation of a comprehensive agricultural monitoring system are detailed, including a central MySQL database to store relevant crop data, a Spring Boot backend for communication between the database and the user interface, and a developed mobile application in Android Studio for direct interaction with users. The methodology includes system design, software development, and functionality testing

The monitoring of tobacco crops is addressed. as a case study.

KEYWORDS: Micro-module, Agricultural Monitoring, Extensibility, Mobile Devices, Precision Agriculture.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, el monitoreo de la salud de los cultivos es una actividad crucial que puede significar la diferencia entre una cosecha exitosa y una fallida [1]. Aunque actualmente existen diversas aplicaciones y sistemas tecnológicos que ofrecen métricas y detección de plagas, estos suelen ser limitados en su alcance y flexibilidad. Por ejemplo, la mayoría de los sistemas de detección de enfermedades se basan en sensores individuales y a menudo carecen de la integración de múltiples fuentes de información, lo que dificulta una evaluación integral del estado de salud de los cultivos [2].

En muchos casos, las soluciones existentes están diseñadas para medir variables específicas, lo que impide un monitoreo integral de diferentes parámetros de la salud de los cultivos. Por ejemplo, los sistemas actuales de monitoreo agrícola frecuentemente dependen de sensores individuales que solo capturan datos limitados, como temperatura o humedad, sin integrar múltiples fuentes de información necesarias para una evaluación completa de la salud del cultivo [3]. Además, la extensibilidad de estos sistemas suele ser otra limitación, lo que hace difícil adaptarlos a necesidades futuras o específicas del campo agrícola [4].

Uno de los problemas que enfrentan los agricultores es que detectan las enfermedades de sus plantaciones mediante la inspección visual [5]. Este tipo de trabajo requiere el monitoreo continuo de expertos, lo cual muchas veces resulta bastante caro para muchos agricultores [6].

Con la finalidad de promover la identificación temprana de plagas y niveles de daño de cultivos, se han propuesto una gran diversidad de sistemas de software que generalmente se especializan en un tipo de plantación. Además, estos sistemas generalmente emplean tecnología de vanguardia fija que puede resultar costosa en su implementación [7].

El objetivo de este artículo es diseñar y desarrollar un sistema basado en micromódulos que permita la integración de nuevos parámetros de monitoreo según las necesidades. Este sistema busca ofrecer una solución adaptable y extensible para superar las limitaciones de los enfoques actuales en el monitoreo de la salud de los cultivos.

Este sistema informático permite monitorear plantaciones agrícolas a través de muestras de campo obtenidas por una aplicación móvil.

Dichas muestras de campo permitirán una visualización global del estado de salud de cultivos, y permitirá dar un seguimiento de su evolución. Se plantea el uso de una arquitectura de software basada en micromódulos que permitan sensor u obtener diferentes parámetros de interés para diversos cultivos. Los beneficiarios de este sistema son agricultores y técnicos agrícolas, quienes buscan mejorar la eficiencia y precisión en el monitoreo de sus cultivos.

Existen parámetros cruciales para evaluar la salud de las plantaciones agrícolas como la temperatura, humedad, índice de vegetación, nivel de nitrógeno, entre otros. Dada la importancia del tabaco en la industria agrícola, en este artículo se contempla abordar como caso de estudio el monitoreo de plagas y enfermedades en este a partir de fotografías de sus hojas.

Los beneficiarios de este sistema son agricultores y técnicos agrícolas, quienes buscan mejorar la eficiencia y precisión en el monitoreo de sus cultivos. Al proporcionar una herramienta eficaz y adaptable, el sistema ayuda a optimizar la gestión agrícola, promoviendo una mayor productividad y sostenibilidad en las prácticas agrícolas.

Problemática

El monitoreo de la salud de las plantaciones agrícolas es una tarea fundamental para garantizar una producción exitosa y evitar pérdidas significativas. Sin embargo, los agricultores enfrentan varios desafíos al intentar implementar un monitoreo efectivo.

La problemática abordada en este artículo es la necesidad de un sistema de monitoreo agrícola flexible y extensible que pueda adaptarse a diversos cultivos y condiciones. Actualmente, los agricultores enfrentan múltiples desafíos en el monitoreo de la salud de sus plantaciones, incluyendo la dependencia de inspecciones visuales costosas, la limitación de las soluciones existentes para medir solo variables específicas, la falta de extensibilidad y adaptabilidad de muchos sistemas, y los altos costos de implementación de tecnologías avanzadas. Estos desafíos limitan la capacidad de los agricultores para realizar un monitoreo integral y eficaz de sus cultivos, afectando la productividad y sostenibilidad de sus prácticas agrícolas.

Trabajos relacionados

En el campo del procesamiento de imágenes aplicado a la agricultura, se han realizado varios estudios como el enfocado en el cultivo de *Begonia semperflorens*, comúnmente conocida como flor de azúcar [8]. En dicho estudio se implementó un sistema que utiliza drones para capturar imágenes y técnicas de visión por computadora para detectar daños causados por plagas.

También se ha utilizado tecnología de imágenes digitales para identificar zonas de diferentes condiciones, como estrés hídrico o salud vegetal, ofreciendo un monitoreo eficiente y una evaluación general del estado de las plantas y su ubicación, particularmente para analizar el rendimiento agrícola del Municipio Ciénaga - Magdalena Becerra [9].

Otro estudio [10] se centra en la detección de enfermedades comunes en cultivos de papa como Alternariosis (*Alternaria solani*), Tizón Tardío (*Phytophthora infestans*) y Virosis (PVS) usando procesamiento de imágenes. También determina la fase en la que se encuentra la Alternariosis en el cultivo.

En [11] se aborda el diagnóstico de enfermedades y plagas en arándanos mediante algoritmos de aprendizaje automático y profundo. Se recolectaron imá-

genes de hojas de arándano para entrenar modelos como SVM, ANN, Random Forest y CNN, aplicando filtros para mejorar las imágenes. Los resultados destacan una precisión del 84% del modelo de aprendizaje profundo, ofreciendo una solución innovadora para el monitoreo y mejora de la salud de las plantaciones de arándanos.

En [12] se presenta un método de clasificación que distingue entre frutas crudas, maduras y medio maduras. Se extrajeron características de color y textura, seleccionando las más relevantes mediante PCA (Principal Component Analysis). Se utilizó una red neuronal artificial con algoritmo de retropropagación para clasificar las imágenes. Probado con 240 imágenes locales, el método alcanzó un 98.3% de precisión, aplicable no solo a palmas sino también a otras frutas.

En [13] se desarrollan modelos alométricos para determinar no destructivamente el volumen de frutas de aguacate en cinco variedades. Utilizando relaciones significativas entre diámetro, longitud y volumen, se establecieron modelos con más del 90% de precisión. Estos modelos facilitan estimaciones fiables de volumen y rendimiento, no importantes para evaluar la calidad y decidir el momento óptimo de cosecha, apoyando así la comercialización y estudios fisiológicos, y contribuyendo al sector hortícola y las prácticas agroforestales en Etiopía.

En [14] se busca mejorar la agricultura en India mediante un sistema integrado que monitorea en tiempo real el suelo e irriga a través de una aplicación móvil. Utilizando ESP32, se recopila datos de luz, condiciones del suelo y nutrientes, transmitiéndolos a Google Firebase y una app Android. Usuarios autenticados acceden y registran datos, facilitando decisiones informadas para el cultivo según las condiciones del suelo.

Por su parte en [15] se presenta una aplicación basada en web desarrollada con PHP, Java y MongoDB, aborda deficiencias en la comunicación de la Agricultura Inteligente. Empleando la metodología del Ciclo de Vida del Desarrollo de Software, capacita a los agricultores para controlar dispositivos de monitoreo de forma remota, brindando información agrícola en tiempo real. Las pruebas y la retroalimentación de los agricultores confirman su impacto positivo en las actividades agrícolas, mejorando potencialmente la eficiencia en la era digital.

Otros autores presentan la Aplicación móvil PestDetector [16], la cual fue desarrollada para dispositivos con sistema operativo Android y se enfoca en la detección de daños en hojas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y por moho azul (*Peronospora tabacina* Adam). La aplicación móvil utiliza un clasificador basado en Redes Neurales Artificiales. A través de

esta aplicación se pueden tomar las fotografías de las hojas de tabaco, solicitar el análisis de las imágenes y mostrar los resultados. Muestra una escala de evaluación visual de la hoja de tabaco de tres niveles de daño, desde la etapa sana a la etapa con daños avanzados.

Una debilidad de la aplicación es no integrar los resultados y centrarse solamente la clasificación de cada hoja por separado, lo cual restringe el su uso práctico.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en las instalaciones del TecNM/ Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, en Ciudad Guzmán, Jalisco, México, y en la Unidad de Transferencia Tecnológica Tepic del CICESE en Tepic, Nayarit, México.

Los dispositivos móviles utilizados para las pruebas de campo fueron proporcionados por el Tecnológico Nacional de México. Los datos de las plantaciones de tabaco, utilizados como caso de estudio, fueron recolectados en plantaciones locales de Jalisco.

Métodos y técnicas

El sistema de monitoreo agrícola se desarrolló utilizando una arquitectura de micromódulos. La metodología se dividió en varias etapas:

A) Recolección de Requisitos

Se realizaron entrevistas y encuestas a agricultores y técnicos agrícolas para identificar los parámetros clave de monitoreo y las funcionalidades necesarias en el sistema.

B) Diseño del Sistema

Se diseñó una arquitectura basada en micromódulos, permitiendo la flexibilidad y la extensibilidad del sistema. Se definieron los módulos necesarios para asegurar su funcionalidad, diseñando una arquitectura de software que considera el uso de múltiples dispositivos móviles para realizar muestreos en campo de parámetros de interés. Los micromódulos desarrollados incluyen:

1. Micromódulo para definir el polígono perimetral de plantaciones: este módulo permite a los usuarios delinear los límites de sus plantaciones mediante la captura de coordenadas GPS.

2. Micromódulo para crear mapas de muestreos: transforma los datos de muestreos realizados en representaciones de mapas de calor, facilitando la identificación de patrones o áreas que requieren atención especial.

3. Micromódulo para el análisis de imágenes: procesa imágenes de las hojas de tabaco utilizando un

modelo de clasificación para detectar plagas y enfermedades.

C) Desarrollo de Software

El desarrollo de software se llevó a cabo en varias fases: 1. Backend: utilizando Spring Boot, se desarrolló un backend compuesto por micro-módulos, cada uno dedicado a una funcionalidad específica. Esta estructura modular facilita el desarrollo y mantenimiento del sistema.

2. Base de Datos: se estableció una base de datos central en MySQL, compuesta por diversas tablas que almacenan datos de usuarios, detalles de las plantaciones, delimitaciones geográficas, tipos de muestra, datos de muestreo y análisis de imágenes.

3. Aplicación Móvil: desarrollada en Android Studio, la aplicación móvil permite la captura y visualización de datos en campo. La aplicación incluye módulos para el registro y seguimiento de plantaciones, muestreos y gestión de usuarios.

D) Implementación y Pruebas

Se llevaron a cabo diversas pruebas para validar la funcionalidad y fiabilidad del sistema. Estas pruebas incluyeron:

1. Inserción y Definición de Nuevas Plantaciones: se verificó de la capacidad del sistema para permitir la inserción de nuevas plantaciones mediante la definición de polígonos perimetrales utilizando coordenadas GPS.

2. Actualización de Puntos GPS en Plantaciones Existentes: se evaluó la funcionalidad de eliminación e inserción de nuevos puntos GPS y su correcta actualización en la base de datos.

3. Captura de Nuevos Muestreos: se comprobó la eficacia del sistema en la captura y asignación correcta de nuevos muestreos a plantaciones específicas, asegurando que los datos se almacenen correctamente y se asocien a la plantación adecuada.

4. Captura de imágenes georreferenciadas de las hojas de tabaco: se permitió integrar estas imágenes en la base de datos para su análisis y seguimiento.

Solución propuesta

El sistema de monitoreo de plantaciones agrícolas busca integrar diversas funcionalidades para facilitar la gestión y seguimiento de plantaciones agrícolas utilizando tecnología móvil. A continuación, se describen las principales funcionalidades del sistema.

Definición de Polígonos Perimetrales de Plantaciones. Mediante un micromódulo específico, el sistema permite a los usuarios definir y modificar los límites de

sus plantaciones. Esto se realiza a través de la captura de coordenadas GPS que delimitan el perímetro de las plantaciones, lo que facilita la visualización y la gestión de cada área de cultivo.

Creación de Mapas de Muestreo. Se implementa un módulo que transforma los muestreos realizados en representaciones de mapas de calor. Esto proporciona una visualización de los datos recogidos, facilitando la identificación de patrones o áreas que requieren atención especial.

Creación de Muestreos. Mediante este micromódulo los usuarios podrán registrar y organizar muestreos dentro de las plantaciones definidas. Podrán ingresar datos detallados de cada muestreo, como la fecha, hora y el tipo de muestra. Esto se realiza a través de la captura de la muestra y coordenadas GPS. Además, esta funcionalidad facilita la asignación de tareas de muestreo a equipos en campo y la recolección sistemática de muestras para su posterior análisis.

Medición y Procesamiento de Parámetros Específicos. Se dispone de micromódulos dedicados a la medición de variables relevantes para el cultivo. El sistema procesa esta información para ofrecer una visión detallada del estado actual de la plantación.

Como caso de estudio se aborda la detección de enfermedades a partir de fotografías de hojas de tabaco.

Visualización de la Evolución de Muestreos. Un módulo diseñado para el seguimiento de la evolución temporal de los muestreos que permite a los usuarios comparar datos a lo largo del tiempo, facilitando la detección de tendencias y el impacto de las intervenciones realizadas en la plantación.

La arquitectura del sistema está pensada para ser flexible y permitir su adaptación a diversas variedades de cultivos y condiciones, también la adición de nuevos módulos según se identifiquen más necesidades.

Todos los micromódulos y componentes del sistema se integran de manera que funcionen coordinadamente. Esto asegura que la recopilación de datos, su análisis y la visualización de información sean parte de un proceso unificado que provee una herramienta comprensiva para el monitoreo y la toma de decisiones en la gestión agrícola.

En la siguiente sección del artículo, se detalla la arquitectura del sistema. Esta se compone por varios elementos fundamentales que operan de manera colaborativa para ofrecer una solución integral (Figura 1).

Arquitectura del sistema

El sistema se estructura en dos segmentos principa-

les: uno operando en el dispositivo móvil y otro en un servidor externo.

La base de datos MySQL centraliza la información de las plantaciones, mientras que un servidor Spring Boot facilita las interacciones entre la base de datos y los clientes, procesando solicitudes y entregando respuestas.

En la interfaz cliente, la aplicación móvil permite realizar muestreos y contiene un micromódulo específico para el monitoreo de hojas de tabaco. Equipada con SQLite, la aplicación Android mantiene una base de datos local para el trabajo en campo sin conexión, sincronizándose posteriormente con el servidor central. Un controlador central asegura la comunicación eficaz entre la aplicación y los micromódulos, facilitando el manejo de múltiples solicitudes y la adición o modificación de funcionalidades cuando sea necesario.

La arquitectura del sistema destaca por su escalabilidad y flexibilidad, gracias a su diseño basado en micromódulos y el uso de tecnologías como Spring Boot y MySQL. Los micromódulos permiten una fácil adaptación y expansión del sistema, añadiendo funcionalidades sin afectar su operatividad general. Spring Boot facilita el desarrollo y despliegue de servicios independientes, adaptándose rápidamente a cambios y mejoras. La base de datos MySQL centraliza la gestión de datos, apoyando el crecimiento en volumen de datos gracias a su eficiencia y capacidad de replicación.

Base de Datos

Se ha establecido una base de datos en MySQL que servirá como repositorio centralizado para todos los parámetros de salud de los cultivos, incluidas las imágenes y métricas relevantes (Figura 2).

La base de datos está compuesta por distintas tablas, cada una representando un aspecto clave de la aplicación.

La tabla de 'usuarios' gestiona las credenciales y perfiles, mientras que la tabla 'plantación' guarda los detalles específicos de cada cultivo. La tabla 'Delimitación' permite definir los límites geográficos de las plantaciones. Las tablas 'tipo de muestra' y 'muestreo' clasifican y registran los análisis realizados y especificaciones del muestreo. La tabla 'Semántica' proporciona un espacio para descripciones y categorías detalladas de las muestras, y la tabla 'muestra' junto con la tabla 'dato' se encargan de almacenar los datos recolectados en varios formatos.

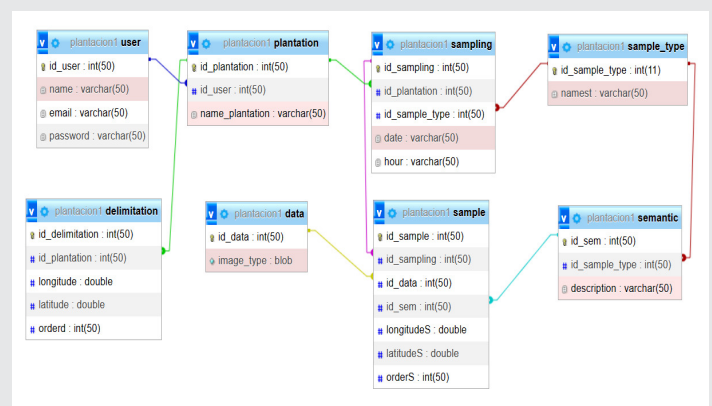


Figura 2. Diagrama de entidad-relación de la Base de Datos. Fuente: Elaboración propia.

Backend

Utilizando Spring Boot, se ha desarrollado el backend que actuará como intermediario entre la base de datos y la aplicación móvil. El backend está compuesto por micro-módulo, lo que sugiere que cada servicio o funcionalidad está encapsulado de manera independiente, permitiendo un desarrollo y mantenimiento más modular. Cada uno de estos micro-servicios puede estar dedicado a una tarea específica.

La Figura 3, se muestra un micro-módulo dedicado a la gestión de usuarios (llamado (UsuarioService)). Esta estructura permite que las partes del sistema se desarrollen de forma independiente y se desplieguen o escalen según sea necesario. El resto del sistema sigue el mismo esquema, se tienen otros servicios con controladores y DAOs (Data Access Object) específicos para cada aspecto del dominio de la aplicación, como las plantaciones, muestreo, muestra, dato, delimitación, tipo de muestra y semántica.

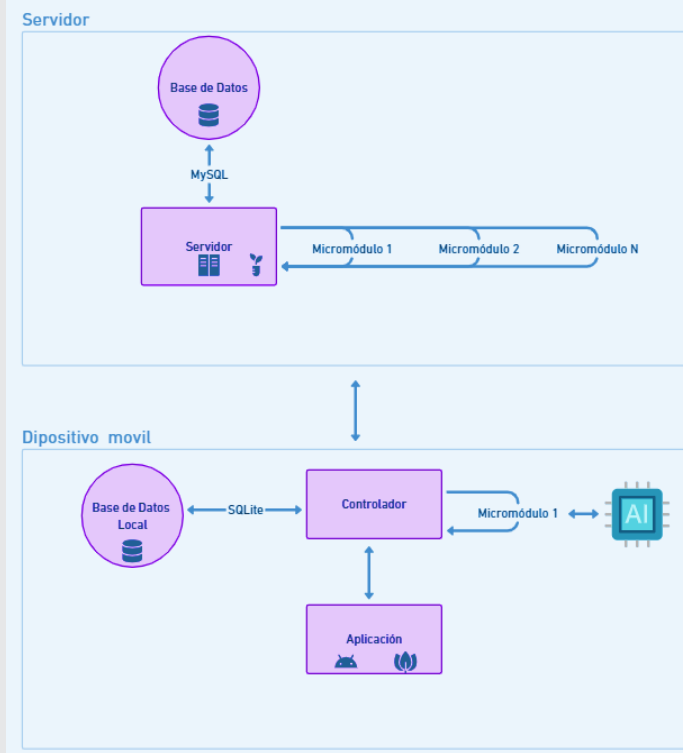


Figura 1. Arquitectura del Sistema. Fuente: Elaboración propia.

nada, asegurándose de que los datos se almacenarán correctamente en la base de datos y se asociaron a la plantación adecuada.

Resultado. La inserción de nuevos muestreos se realizó sin inconvenientes, y se confirmó que la información se registraba de manera precisa en la base de datos, asociada a la plantación correcta.

Captura de imágenes georreferenciadas de las hojas de tabaco

Objetivo de la Prueba. El objetivo de esta prueba es validar la funcionalidad del sistema para capturar imágenes georreferenciadas de las hojas de tabaco y asegurarse de que estas imágenes se integren correctamente en la base de datos para su posterior análisis y seguimiento. Esto permitirá una evaluación detallada y precisa del estado de salud de los cultivos de tabaco.

Descripción de la Prueba. Se utilizaron dispositivos móviles equipados con cámaras y GPS para capturar imágenes de las hojas de tabaco en diferentes puntos de la plantación.

Las imágenes capturadas incluyeron datos de georreferenciación para asegurar que cada imagen estuviera vinculada a una ubicación específica dentro de la plantación.

Las imágenes georreferenciadas se subieron a la aplicación móvil y se almacenaron en la base de datos central.

Se verificó que los metadatos de cada imagen (como la ubicación GPS, la fecha y la hora) se guardaran correctamente junto con las imágenes en la base de datos.

Resultado. La prueba fue exitosa, demostrando que el sistema es capaz de capturar, almacenar y analizar imágenes georreferenciadas de las hojas de tabaco de manera eficiente.

Estas pruebas fueron cruciales para garantizar la fiabilidad del sistema de monitoreo de plantaciones agrícolas, asegurando que las funcionalidades desarrolladas cumplen con los requisitos y expectativas de este trabajo. La etapa de implementación, que incluye el desarrollo del código, la realización de pruebas internas y la creación de documentación técnica, ha sido completada con éxito. A continuación, el sistema se someterá a la fase de implantación, donde se desplegará en un entorno de producción y se realizará una evaluación exhaustiva en condiciones operativas reales.

CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló un sistema informático de monitoreo de plantaciones a través de muestreos

de campo con dispositivos móviles, considerando la flexibilidad y extensibilidad del mismo.

El alcance del artículo se encuentra en la sección en la sección de Material y Métodos, incluye el diseño del sistema, la implementación de una base de datos central, un backend para la comunicación entre la base de datos y la interfaz de usuario, y una aplicación móvil para la interacción directa con los usuarios. Se detallan las metodologías utilizadas para el desarrollo y validación del sistema, así como los resultados obtenidos durante las pruebas de campo.

- Se diseñó e implementó la arquitectura del sistema, así como la base de datos y los micromódulos para acceder a los mismos.
- También se diseñó e implementó una aplicación móvil que es el punto de contacto con el usuario.
- Se implementó el control de usuarios, la definición de polígonos perimetrales de plantaciones, así como la creación de muestreos.

El desarrollo de las funciones restantes se encuentra en proceso

El sistema se encuentra actualmente en un TRL 4, lo que indica que ha sido validado en un entorno de laboratorio. Los resultados obtenidos hasta ahora indican que el sistema es funcional y eficaz para el monitoreo agrícola.

Dada la flexibilidad y extensibilidad de la arquitectura del sistema propuesto, a medida que el sistema de monitoreo de plantaciones agrícolas continúa evolucionando, como trabajo futuro anticipamos la incorporación de una amplia gama de funcionalidades y módulos de muestreo.

Entre las expansiones planeadas, destacan módulos especializados en el muestreo de parámetros adicionales que impactan directamente en la calidad y rendimiento de las cosechas. Por ejemplo, el desarrollo de módulos enfocados en la calidad de frutos rojos, evaluando aspectos como la textura, color y dulzura, que son indicativos de su madurez y calidad para el consumo.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por el apoyo mediante beca de posgrado CONAHCyT número 826504.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Scatoni, I., Mondino, P., Leoni, C., Nuñez, S., Bentancourt, C., and Mujica, M. A. (2003). *Guía de monitoreo de plagas y enfermedades para cultivos frutícolas*. PREDEG-GTZ, Montevideo, Uruguay.

- [2] Selvaraj, M. et al. (2020). *Innovative Digital Technologies to Monitor and Control Pest and Disease Threats in Root, Tuber, and Banana (RT&B) Cropping Systems: Progress and Prospects*. Springer-Link.
- [3] Ahmad, M. et al. (2022). *New trends in detection of harmful insects and pests in modern agriculture using artificial neural networks*. *Front. Plant Sci.*
- [4] Bu, F., & Wang, X. (2019). *A smart agriculture IoT system based on deep reinforcement learning*. *Future Generation Computer Systems*, 99, 500–507.
- [5] Avila-George, H., Valdez-Morones, T., Espinosa, H., Acevedo, B., and Castro, W. (2018). *Using artificial neural networks for detecting damage on tobacco leaves caused by blue mold*.
- [6] Singh, V. and Misra, A. K. (2017). *Detection of plant leaf diseases using image segmentation and soft computing techniques*. 4.
- [7] Gallinucci, E., Golfarelli, M., and Rizzi, S. (2019). *A Hybrid Architecture for Tactical and Strategic Precision Agriculture*, pages 13–23.
- [8] Cáceres Flórez, C. A., Amaya Hurtado, D., and Ramos Sandoval, O. L. (2015). *Procesamiento de imágenes para reconocimiento de daños causados por plagas en el cultivo de begonia semperflorens (flor de azúcar)*. *Acta Agronómica*.
- [9] Becerra Sánchez, C. E., Lozano Marroquín, D. F., et al. (2021). *Análisis del rendimiento agrícola para el municipio de ciénaga magdalena, mediante imágenes digitales*.
- [10] CUMBRES, R. (2020). *Detección de enfermedades en cultivos de papa usando procesamiento de imágenes*.
- [11] Sullca, C., Molina, C., Rodríguez, C., and Fernández, T. (2019a). *Detección de enfermedades y plagas en las hojas de arándanos utilizando técnicas de visión artificial*. *Perspectiv@s*, 15(15):32–39.
- [12] Septiarini, A., Sunyoto, A., Hamdani, H., Kasim, A. A., Utaminigrum, F., and Hatta, H. R. (2021). *Machine vision for the maturity classification of oil palm fresh fruit bunches based on color and texture features*. *Scientia Horticulturae*, 286:110245.
- [13] Mokria, M., Gebrekirstos, A., Said, H., Hadgu, K., Hagazi, N., Dubale, W., and Brauning, A. (2022). *Volume estimation models for avocado fruit*. *Plosone*, 17(2): e0263564.
- [14] Rahul, B., Vatsav, G. R. S., Supreeth, M. R. D., and Vinay, N. (2021). *Monitoring the soil parameters using IoT and android based application for smart agriculture*. Technical report, EasyChair.
- [15] Supriyanto, S. and Rohmat, R. (2023). *Plant monitoring using a web-view-based android application as a realization of the implementation of the smart agriculture concept*. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 19(2).
- [16] Valdez-Morones, T., Pérez-Espinosa, H., Avila-George, H., Oblitas, J., & Castro, W. *Aplicación móvil para la detección de daños en hojas de tabaco (Nicotiana tabacum L.) por moho azul (Peronospora tabacina Adam) An Android App for detecting damage on tobacco (Nicotiana tabacum L.) leaves caused by blue mold*.