



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

BIODEGRADACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE PET CON BACTERIAS

BIODEGRADATION OF PET MICROPLASTICS BY BACTERIA

Alberto De Jesús Cayetano

Tecnológico Nacional de México IT de Acapulco México

Yareli Cortés Bárcenas

Tecnológico Nacional de México IT de Acapulco México

Miriam Martínez Arroyo

Tecnológico Nacional de México IT de Acapulco México

José Antonio Montero Valverde

Tecnológico Nacional de México IT de Acapulco México

Propuesta de sistema web para el análisis de salud en cultivos de agave mediante imágenes satelitales multiespectrales.

Alberto De Jesús Cayetano¹

MM22320018@acapulco.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México IT de
Acapulco México

Yareli Cortés Bárcenas

MM22320006@acapulco.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México IT de
Acapulco México

Miriam Martínez Arroyo

miriam.ma@acapulco.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México IT de
Acapulco México

José Antonio Montero Valverde

jose.mv@acapulco.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México IT de
Acapulco México

RESUMEN

Este artículo presenta el diseño y desarrollo de un sistema web para el monitoreo de la salud en cultivos de agave mediante el uso de imágenes satelitales multiespectrales obtenidas a través de la API Sentinel-Hub. Se abordan las dos primeras fases de la metodología en cascada: análisis y diseño. Por medio de este tipo de imágenes es posible obtener valores numéricos de cada una de sus bandas espectrales, que son utilizadas para el cálculo de diversos índices de vegetación. El sistema permite calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para estimar la salud del cultivo y visualizar los resultados en una interfaz gráfica intuitiva. Esta herramienta busca optimizar la toma de decisiones agrícolas, mejorar el rendimiento y contribuir a la sostenibilidad de la producción de agave.

Palabras clave: agricultura de precisión, NDVI, teledetección, Sentinel-Hub

¹ Autor principal

Correspondencia: MM22320018@acapulco.tecnm.mx

Proposal for a web system for health analysis in agave crops using multispectral satellite images.

ABSTRACT

This article presents the design and development of a web system for monitoring the health of agave crops using multispectral satellite images obtained through the Sentinel-Hub API. The first two phases of the waterfall methodology—analysis and design—are addressed. Through this type of imagery, it is possible to obtain numerical values for each spectral band, which are used to calculate various vegetation indices. The system calculates the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to estimate crop health and displays the results in an intuitive graphical interface. This tool aims to optimize agricultural decision-making, improve yield, and contribute to the sustainability of agave production.

Keywords: precision agriculture, NDVI, remote sensing, Sentinel-Hub

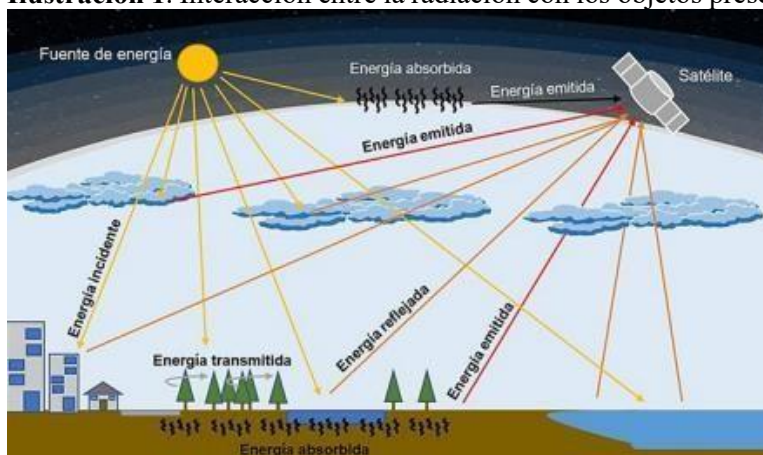
*Artículo recibido 10 septiembre 2025
Aceptado para publicación: 15 octubre 2025*



INTRODUCCIÓN

La agricultura enfrenta pérdidas significativas debido a plagas y enfermedades, que representan entre el 10% y el 28% de la producción global (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023). Las técnicas de teledetección, que consisten en obtener información de la superficie de la tierra mediante satélites o drones que haciendo uso de sensores captan la radiación electromagnética reflejada por la superficie terrestre (ilustración 1) obteniendo datos e imágenes (López, C., 2019), es posible obtener información valiosa sobre el estado de salud de los cultivos.

Ilustración 1. Interacción entre la radiación con los objetos presentes en la Tierra.



Quespaz Rosero, C. A. (2022)

Integrar técnicas de teledetección en sistemas sistema web permite a los agricultores el monitoreo frecuente y remoto de los cultivos, ayudándolos a identificar áreas críticas y tomar decisiones informadas, debido a que es posible proporcionar información sobre las zonas específicas en las que el cultivo presenta una salud deficiente.

Para conocer el estado de salud de un cultivo existe un índice de vegetación específico, el NDVI, que se calcula por medio de la fórmula que se muestra en la ilustración 2, utilizando los valores de las bandas espectrales roja e infrarrojo cercano (Rubio, 2020).

Ilustración 2. Fórmula para el cálculo de NDVI

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

Los valores obtenidos a través del NDVI se normalizan con el fin de obtener resultados de -1 a 1 con el fin de establecer rangos que representen el estado de salud del cultivo de manera más clara considerando que

-1 representa cultivos muertos u objetos inanimados y 1 cultivos sanos. (Quespaz Rosero, C. A. 2022)

Para la implementación del sistema se consideraron las coordenadas de un cultivo de agave (ilustración 3) perteneciente al vivero “Orquídea” en el municipio de Tixtla, Guerrero. El cual fue visitado con el fin de tomar las coordenadas específicas requeridas para la obtención de las imágenes multiespectrales de la zona mediante la API Sentinel-Hub.

Ilustración 3. Ubicación de cultivo de agave.



Objetivo General

Desarrollar un sistema web para el monitoreo de salud en cultivos de agave mediante imágenes satelitales multiespectrales obtenidas de la API Sentinel-Hub.

Objetivos Específicos

1. Diseñar y desarrollar una interfaz web intuitiva y fácil de usar para la visualización y análisis de datos satelitales.
2. Desarrollar un módulo de conexión con la API de Sentinel-Hub para la adquisición de imágenes satelitales multiespectrales.
3. Desarrollar un algoritmo para el procesamiento de imágenes satelitales.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del sistema web se optó por la metodología en cascada, debido a que los requisitos del proyecto se encuentran claramente definidos desde el inicio, lo que reduce la probabilidad de cambios durante el proceso de implementación. Este enfoque resulta adecuado para proyectos con

objetivos específicos y bien delimitados, ya que permite una planificación estructurada y secuencial de las actividades.

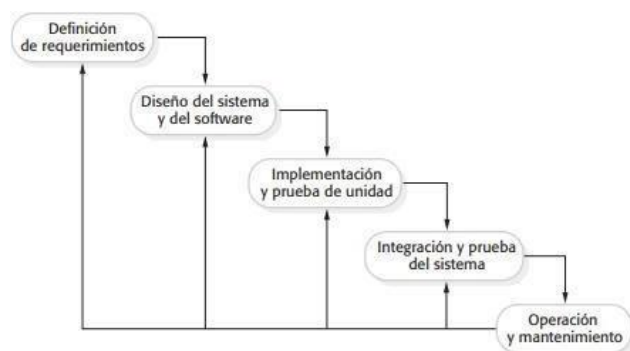
La metodología en cascada se caracteriza por su enfoque lineal, donde cada fase debe completarse antes de iniciar la siguiente. En este proyecto se contemplaron las dos primeras etapas: definición de requerimientos y diseño del sistema y del software.

Durante la primera fase se identificaron los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema mediante entrevistas y consultas con usuarios potenciales. Los requerimientos funcionales incluyen servicios que el sistema debe proporcionar, como la autenticación de usuarios, la gestión de cuentas y la visualización de resultados del análisis NDVI. Por otro lado, los requerimientos no funcionales abarcan aspectos como la seguridad, la compatibilidad con navegadores y la eficiencia en el procesamiento de imágenes satelitales.

Posteriormente, en la fase de diseño se definió la arquitectura global del sistema, estableciendo los componentes principales y sus interacciones. Se elaboraron diagramas UML para representar casos de uso y componentes, así como el modelo relacional de la base de datos, que contempla tablas para usuarios, roles e historial de análisis. Además, se seleccionaron las tecnologías más adecuadas para el desarrollo.

Este enfoque metodológico garantiza un desarrollo ordenado y coherente, permitiendo validar cada etapa antes de avanzar a la siguiente, lo que contribuye a la calidad y funcionalidad del sistema propuesto (Somerville, 2011).

Ilustración 4. Metodología de cascada (Somerville, 2011).



DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

La definición de requerimientos es una etapa fundamental en el desarrollo de sistemas, ya que establece las bases sobre las cuales se construirá la solución tecnológica. Para este proyecto, se realizó un análisis detallado que incluyó entrevistas con usuarios potenciales y revisión de las necesidades operativas del vivero seleccionado. Este proceso permitió identificar tanto los requerimientos funcionales, que describen las acciones que el sistema debe realizar, como los requerimientos no funcionales, que establecen condiciones de calidad y desempeño.

Los requerimientos funcionales incluyen la autenticación segura mediante credenciales, la gestión de usuarios con roles diferenciados, la conexión con la API Sentinel-Hub para la obtención de imágenes multiespectrales y el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), considerado uno de los indicadores más utilizados para evaluar la salud de los cultivos (Rouse et al., 1974; Huete, 1988). Asimismo, se contempla la visualización gráfica de los resultados y la consulta del historial de análisis.

Por otro lado, los requerimientos no funcionales abarcan aspectos como la interfaz intuitiva, la compatibilidad con navegadores web en sus versiones más recientes, el procesamiento eficiente de imágenes con tiempos de respuesta inferiores a 30 segundos y la seguridad en el manejo de datos, siguiendo las recomendaciones para sistemas críticos en entornos agrícolas (FAO, 2021; Somerville, 2011).

La correcta definición de estos requerimientos garantiza que el sistema cumpla con las expectativas del usuario y se ajuste a los objetivos del proyecto, evitando desviaciones durante las fases posteriores del desarrollo (Somerville, 2011).

Objetivo del Sistema

El objetivo principal del sistema es proporcionar a los agricultores una herramienta tecnológica que permita monitorear de manera remota y precisa la salud de los cultivos de agave mediante el análisis de imágenes satelitales multiespectrales. A través del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el sistema busca ofrecer información confiable y visualmente interpretativa que facilite la toma de decisiones oportunas para mejorar el rendimiento y la sostenibilidad de la producción.



Este objetivo se fundamenta en la necesidad de incorporar tecnologías de teledetección en la agricultura de precisión, optimizando los procesos de diagnóstico y reduciendo las pérdidas ocasionadas por plagas y enfermedades (FAO, 2021; Rouse et al., 1974). Además, se pretende que la plataforma sea intuitiva, segura y compatible con los principales navegadores web, garantizando su accesibilidad para diferentes perfiles de usuario (Somerville, 2011).

Características del Sistema

Tabla 1. Característica del sistema: Roles.

ID Requerimiento	C-001
Nombre del requerimiento	Roles
Descripción	El sistema debe tener 2 roles principales.
Prioridad	Alta
Dependencias	Ninguna
Responsable de realizar pruebas	Alberto De Jesús / Yareli Cortés
Criterio de éxito	El sistema permite crear 2 tipos de usuario distintos uno con rol de administrador el cual debe permitir gestionar usuarios y uno con rol de usuario normal ambos deben realizar consultas por fecha sobre el estado de salud del cultivo y visualizar resultados gráficamente.

Requerimientos No Funcionales

Tabla 2. Requerimiento no funcional “intuitiva”.

ID Requerimiento	RNF-001
Nombre del requerimiento	Interfaz intuitiva
Descripción	El sistema debe contar con una interfaz intuitiva, con el fin de ser utilizada por cualquier tipo de usuario
Prioridad	Alta

Tabla 3. Requerimiento no funcional “compatibilidad con navegadores web”.

ID Requerimiento	RNF-002
Nombre del requerimiento	Compatibilidad con navegadores web
Descripción	El sistema debe ser compatible con los principales navegadores web en sus versiones más recientes.
Prioridad	Alta

Tabla 4. Requerimiento no funcional “Carga y procesamiento de imágenes”.

ID Requerimiento	RNF-003
Nombre del requerimiento	Carga y procesamiento de imágenes.
Descripción	La aplicación debe cargar y procesar las imágenes satelitales multiespectrales en un tiempo máximo de 30 segundos por solicitud de imagen.
Prioridad	Alta

Tabla 5. Requerimiento no funcional “Seguridad del sistema”.

ID Requerimiento	RNF-004
Nombre del requerimiento	Seguridad del sistema
Descripción	El sistema debe garantizar la seguridad de la información de los usuarios y su privacidad
Prioridad	Alta

Requerimientos Funcionales

Tabla 6. Requerimiento funcional “Login”.

ID Requerimiento	RF-001
Nombre del requerimiento	Login
Descripción	La aplicación debe permitir al usuario iniciar sesión mediante usuario y contraseña.
Prioridad	Alta
Dependencias	Ninguna
Responsable de realizar pruebas	Alberto De Jesús
Criterio de éxito	Se permite correctamente al usuario iniciar sesión en el sistema y recuperar sus datos de inicio de sesión.

Tabla 7. Requerimiento funcional “Página principal”.

ID Requerimiento	RF-002
Nombre del requerimiento	Página principal
Descripción	El sistema debe mostrar al usuario la pantalla principal del sistema con información de las funciones que se realizan y un menú para acceder a ellas
Prioridad	Alta
Dependencias	Login
Responsable de realizar pruebas	Alberto De Jesús
Criterio de éxito	Se muestra correctamente la pantalla principal del sistema con información de las funciones que se realizan y un menú para acceder a ellas

Tabla 9. Requerimiento funcional “Gestión de usuarios”.

ID Requerimiento	RF-003
Nombre del requerimiento	Gestión de la cuenta
Descripción	El sistema debe mostrar al usuario información de su cuenta, permitir cerrar su sesión y modificar su contraseña.
Prioridad	Alta
Dependencias	Página principal
Responsable de realizar pruebas	Alberto De Jesús
Criterio de éxito	Se muestra la información de la cuenta del usuario y permite cerrar sesión y modificar su contraseña correctamente.

Tabla 8. Requerimiento funcional". "Gestión de la cuenta

ID Requerimiento	RF-004
Nombre del requerimiento	Gestión de usuarios
Descripción	El sistema debe permitir al administrador gestionar usuarios.
Prioridad	Alta
Dependencias	Página principal, Login
Responsable de realizar pruebas	Alberto De Jesús
Criterio de éxito	El sistema permite al usuario administrador: agregar, modificar y eliminar usuarios correctamente.

Tabla 10. Requerimiento funcional "análisis de salud de cultivos".

ID Requerimiento	RF-005
Nombre del requerimiento	Análisis de salud de cultivos
Descripción	El sistema debe permitir al usuario acceder al resultado del análisis de salud del cultivo obtenido mediante el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y visualizarlo de manera gráfica.
Prioridad	Alta
Dependencias	Página principal, Login
Responsable de realizar pruebas	Alberto De Jesús
Criterio de éxito	El sistema permite correctamente al usuario visualizar resultado del análisis de salud del cultivo obtenido mediante el cálculo del NDVI de manera gráfica.

Tabla 11. Requerimiento funcional “Establecer coordenadas del cultivo”.

ID Requerimiento	RF-004
Nombre del requerimiento	Establecer coordenadas del cultivo
Descripción	El sistema debe permitir a los usuarios establecer las coordenadas del cultivo de interés.
Prioridad	Alta
Dependencias	Análisis de salud de cultivos
Responsable de realizar pruebas	Alberto De Jesús
Criterio de éxito	El sistema permite al usuario administrador: agregar, modificar y eliminar usuarios correctamente.

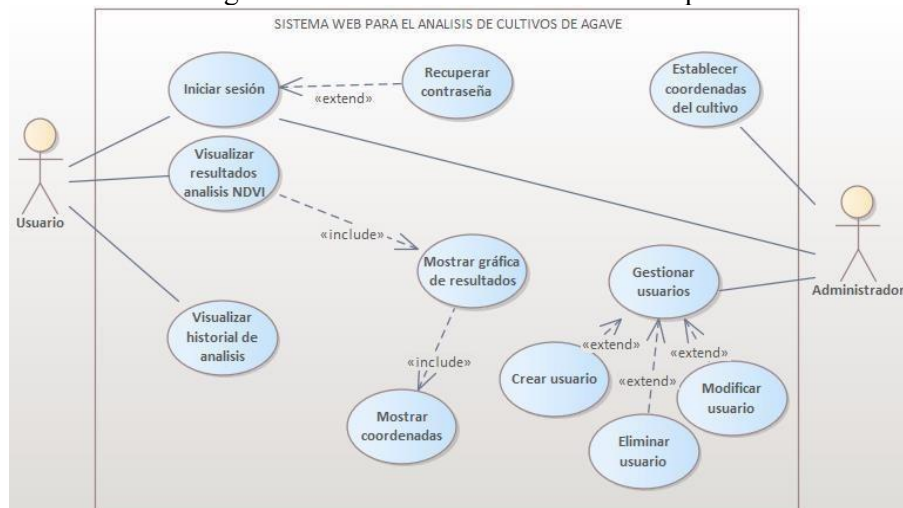
Tabla 12. Requerimiento funcional “Visualizar historial de análisis”.

ID Requerimiento	RF-004
Nombre del requerimiento	Visualizar historial de análisis
Descripción	El sistema debe permitir a los usuarios consultar un historial de análisis de cultivos realizados previamente.
Prioridad	Alta
Dependencias	Página principal, Análisis de salud de cultivos
Responsable de realizar pruebas	Alberto De Jesús
Criterio de éxito	El sistema permite al usuario administrador: agregar, modificar y eliminar usuarios correctamente.

DIAGRAMA DE CASOS DE USO

Una vez definidos los requerimientos del sistema e identificados los principales actores se desarrolló el siguiente diagrama de casos de uso (ilustración 5), con el fin de representar las interacciones de los distintos tipos de usuario con las funcionalidades del sistema.

Ilustración 5. Diagrama de casos de uso del sistema web para el análisis de cultivos de agave.



DISEÑO DEL SISTEMA Y DEL SOFTWARE

El diseño del sistema constituye una fase esencial para garantizar la correcta implementación de los requerimientos definidos. En esta etapa se establece la arquitectura global, identificando los componentes principales y sus interacciones. El sistema propuesto se compone de tres elementos fundamentales: la interfaz web, el módulo de procesamiento de imágenes y el sistema gestor de base de datos (SGBD). Esta estructura permite la integración eficiente entre la API Sentinel-Hub, encargada de proveer imágenes satelitales multiespectrales, y la aplicación web que procesa y visualiza los resultados (European Space Agency [ESA], 2022).

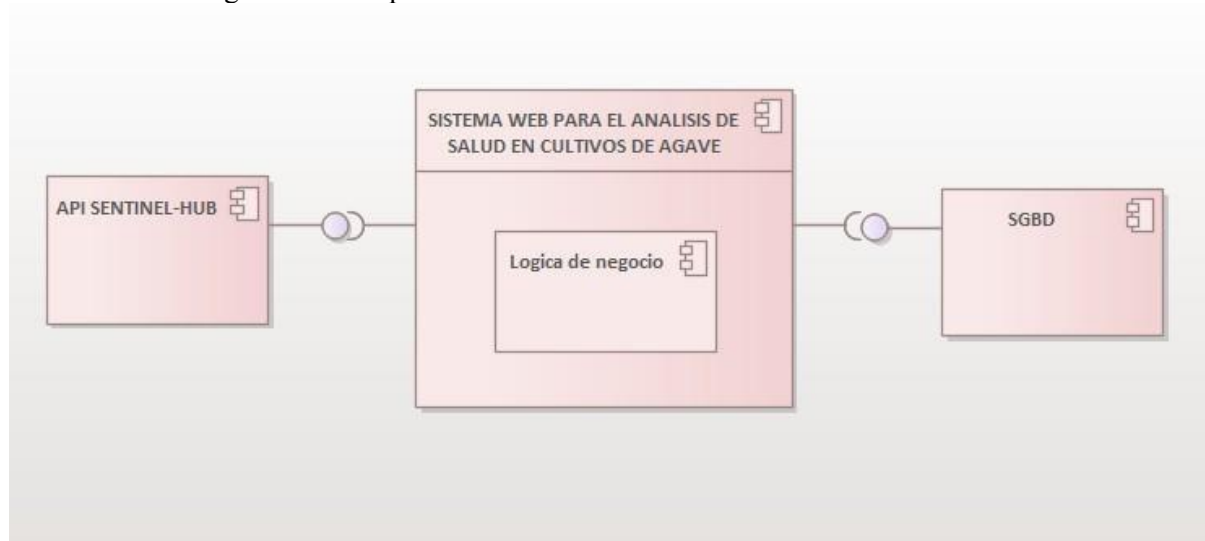
Para representar la arquitectura del sistema se elaboraron diagramas UML, incluyendo el diagrama de componentes, que muestra la relación entre los módulos y las interfaces necesarias para su funcionamiento.

Asimismo, se diseñó el modelo relacional de la base de datos, compuesto por tablas para usuarios, roles e historial de análisis, lo que asegura la gestión adecuada de credenciales y registros de monitoreo.

Diagrama de componentes UML

Para representar la arquitectura del sistema se elaboraron diagramas UML, incluyendo el diagrama de componentes (ilustración 6), que muestra la relación entre los módulos y las interfaces necesarias para su funcionamiento.

Ilustración 6. Diagrama de componentes del sistema.



En el diagrama anterior se representan los 3 componentes principales del sistema y las interfaces necesarias para que interactúen entre sí, por medio de la interfaz que provee la API Sentinel-Hub es posible obtener imágenes satelitales multiespectrales para procesarlas en el componente principal del sistema que es la aplicación web y finalmente el componente que refiere al sistema gestor de base de datos (SGBD) cuya principal función es proveer la interfaz necesaria para que la aplicación interactué con la base de datos.

Modelo Relacional de la Base de Datos

Ilustración 7. Modelo relacional de la base de datos del sistema.



Asimismo, se diseñó el modelo relacional de la base de datos, compuesto por tablas para usuarios, roles e historial de análisis, lo que asegura la gestión adecuada de credenciales y registros de

monitoreo. Los principales objetivos de integrar una base de datos al sistema son:

- **Gestión de usuarios:** permitir registrar las credenciales de inicio de sesión de los usuarios además de identificar su rol ya que como se estableció en la etapa de definición de requerimientos, el sistema debe contar con 2 tipos de usuario.
- **Historial de análisis:** permitir registrar y consultar información sobre análisis de salud en el cultivo realizados previamente.

Diseño de la Arquitectura de Software

En cuanto a las tecnologías seleccionadas, se optó por el framework Dash, debido a su capacidad para trabajar con datos geoespaciales y su integración con lenguajes como Python y JavaScript.

Para el procesamiento de imágenes se emplearon librerías especializadas como Rasterio, que permite la lectura de datos multiespectrales, NumPy para la aplicación de operaciones matemáticas sobre matrices y Matplotlib para la generación de visualizaciones gráficas (Zhang & Kovacs, 2012; Gómez et al., 2016).

Ilustración 8. Tecnologías para el desarrollo del sistema.



Este diseño asegura una arquitectura modular, escalable y orientada a la eficiencia, cumpliendo con los principios de ingeniería de software recomendados para sistemas críticos en entornos agrícolas (Somerville, 2011).

Diseño de Interfaces de Usuario

Tomando como base a los requerimientos y características de los sistemas definidos anteriormente, se realizó el diseño de las interfaces de usuario, en donde se contempla las distintas vistas disponibles según el tipo de usuario, priorizando un diseño amigable e intuitivo con el fin de que cualquier tipo de usuario pueda hacer uso del sistema.

Ilustración 8. Interfaz de inicio de sesión



← → ↻ www.analisisNDVI.com ☆ M



Email
Value

Password
Value

Sign In

[Forgot password?](#)

Ilustración 9. Interfaz de recuperación de contraseña



← → ↻ www.url.com ☆ M



Email
Value

Cancel Reset Password

Ilustración 8. Interfaz de modificación de contraseña.



A screenshot of a web browser showing a password modification form. The browser's address bar displays "www.url.com". The page features a logo at the top center consisting of a stylized tree with green dots for leaves and the text "CEIBAAS" below it. The form is centered and contains two input fields: "Old Password" and "New Password", both with placeholder text "Value". Below these fields is a black button with the text "Change Password".

Ilustración 9. Vista de página principal (Admin)



Ilustración 10. Vista de página principal (User)



Ilustración 11. Vista del modulo de gestión de usuarios.

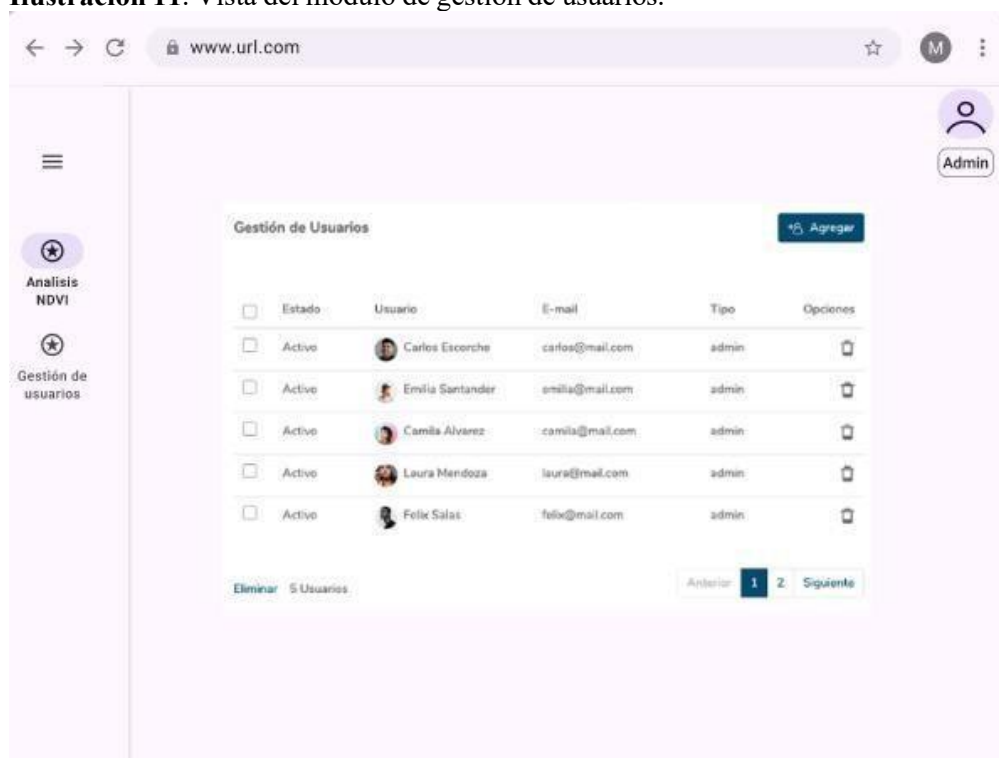


Ilustración 12. Vista del módulo de análisis NDVI.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

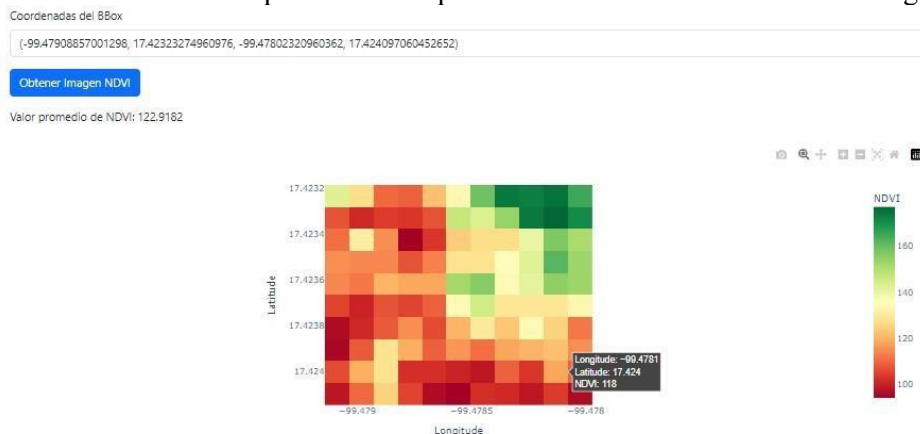
Como parte de la validación del diseño, se desarrolló un prototipo funcional que integra los componentes críticos del sistema: la conexión con la API Sentinel-Hub, el procesamiento de imágenes multiespectrales y la visualización gráfica del NDVI. El prototipo se probó utilizando coordenadas de un cultivo de agave localizado en el municipio de Tixtla, Guerrero.

Ilustración 13. Coordenadas de cultivo de agave perteneciente al vivero “Orquídea”.



Los resultados obtenidos muestran una representación visual mediante una cuadrícula de colores, donde el verde indica áreas con buena salud y el rojo señala zonas críticas. Esta visualización permite al agricultor identificar de manera precisa las áreas que requieren atención, optimizando la toma de decisiones para mejorar el rendimiento del cultivo.

Ilustración 14. Prototipo del sistema para el análisis de salud en cultivos de agave



El tiempo promedio de procesamiento por imagen fue inferior a 30 segundos, cumpliendo con los requerimientos no funcionales establecidos. Además, la interfaz diseñada resultó intuitiva y funcional, lo que facilita su uso por diferentes perfiles de usuario (Somerville, 2011; ESA, 2022).

CONCLUSIONES

La implementación de técnicas de teledetección en sistemas web representa una herramienta eficaz para la agricultura de precisión. El uso del NDVI permite monitorear la salud del cultivo de manera remota, reduciendo riesgos asociados a plagas y enfermedades y contribuyendo a la sostenibilidad de la producción (FAO, 2021; Rouse et al., 1974).

Si bien el NDVI ofrece información valiosa sobre el estado general del cultivo, no identifica las causas específicas de las afectaciones. Por ello, se recomienda como trabajo futuro la integración de otros índices de vegetación, la incorporación de algoritmos predictivos basados en inteligencia artificial y la realización de pruebas en campo para validar los resultados obtenidos (Huete, 1988; Gómez et al., 2016).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- European Space Agency (ESA). (2022). Sentinel Hub API documentation. Recuperado de <https://www.sentinel-hub.com>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). Remote sensing for crop monitoring. FAO Publications.
- FAO. (2019). Digital technologies in agriculture and rural areas. FAO Publications.
- FAO. (2020). Impact of climate change on crop health. FAO Reports.

- Gómez, C., White, J. C., & Wulder, M. A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Jones, H. G. (2013). *Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology*. Cambridge University Press.
- López, C. (2019). *Fundamentos básicos para la teledetección ambiental*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20684.44161>
- Quespaz Rosero, C. A. (2022). *Aplicación de índices de vegetación en agricultura de precisión*.
- Rubio, J. (2020). Índices espectrales para la estimación de la salud vegetal. *Revista de Agricultura Digital*, 12(3), 45–58.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 351, 309.
- Sentinel Hub. (2023). API for satellite image processing. Recuperado de <https://docs.sentinel-hub.com>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). El cambio climático y las plagas agrícolas. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-cambio-climatico-favorecera-el-desarrollo-de-plagas>
- Somerville, I. (2011). *Ingeniería de software* (9ª ed.). Pearson Education.
- Zhang, Q., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>

