

DISEÑO DE SISTEMA DE TRAZABILIDAD INTERNA CON MONITOREO PARA EL CULTIVO DE STEVIA MORITA II

Vejar-Cortés Miguel-Angel, Ruiz-Tadeo Ana-Claudia, García-Díaz Noel, Sandoval-Carrillo Sara, Verduzco-Ramírez Jesús-Alberto, Jardines-González Arturo-Iván, García-Virgen Juan

Tecnológico Nacional de México campus Colima División de Estudios de Posgrado e Investigación
Av. Tecnológico No.1 Villa de Álvarez, Col. C.P. 28976 Villa de Álvarez, colonia Liberación
Tel.+523123126393

g2346017@colima.tecnm.mx, aruiz@colima.tecnm.mx, ngarcia@colima.tecnm.mx,
sary@ucol.mx, averduzco@colima.tecnm.mx, arturo.jardines@colima.tecnm.mx,
jgarcia@colima.tecnm.mx

RESUMEN

La producción de Stevia en México alcanzó un valor de más de \$22 millones de pesos en 2022. Se ha utilizado como un edulcorante natural y como medicina. Para garantizar la seguridad del producto final, es crucial que se produzca de manera segura. Sin un registro detallado en la cadena de suministro, se generará una falla crítica en la trazabilidad, comprometiendo la capacidad de garantizar la seguridad e inocuidad del producto. Se presenta un diseño de un sistema web que permite la trazabilidad interna y el monitoreo del cultivo de Stevia Morita II. Para obtener retroalimentación continua, se utiliza una metodología espiral. Los resultados incluyen el diseño y evaluación de las interfaces de un sistema web para el monitoreo de los cultivos, aplicando las buenas prácticas agrícolas y con ello garantizar la inocuidad.

Palabras Clave: Cultivo de Stevia, Inocuidad, Monitoreo, Sistema, Trazabilidad.

ABSTRACT

The production of Stevia in Mexico reached a value of over \$22 million pesos in 2022. It has been used as a natural sweetener and as medicine. To ensure the safety of the final product, it is crucial to produce it safely. Without a detailed record in the supply chain, a critical traceability failure will occur, compromising the ability to ensure the product's safety and integrity. This article presents the design of a web system that allows for internal traceability and monitoring of the Stevia Morita II crop. A spiral methodology is used to obtain continuous feedback. The results include the design and evaluation of the interfaces of a web system for crop monitoring, applying good agricultural practices to ensure safety.

Keywords: Monitoring, Safety, Stevia Cultivation, System, Traceability.

1. INTRODUCCIÓN

La trazabilidad en la gestión de alimentos se refiere a la capacidad de seguir el recorrido de un producto desde su producción hasta su distribución, garantizando transparencia en su origen, cantidad y movimiento a lo largo de la cadena de suministro [1]. Esto es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y permitir una respuesta eficiente ante los problemas de productos contaminados en el mercado. En este artículo se presenta un diseño de sistema de trazabilidad interna con monitoreo para la

implementación de un software que integra los requerimientos de un agricultor de Stevia, en particular con la inocuidad y seguridad del cultivo.

1.1. Trazabilidad Interna

El término "trazabilidad interna" se refiere a todos los procesos que realiza el productor y permite conocer la ruta del producto desde su siembra a la cosecha dentro de la granja [2]. Desde que se reciben las materias primas hasta la salida de las instalaciones. La implementación efectiva de un sistema de trazabilidad requiere del seguimiento de un manual de buenas prácticas que guía cada etapa del proceso. La trazabilidad interna es fundamental para asegurar la inocuidad del cultivo de Stevia.

1.2. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas

En el 2002, el Gobierno de México publicó el Manual de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), el cual es un conjunto de pautas para promover prácticas seguras y sostenibles en la agricultura [3]. Está diseñado para mejorar la calidad y seguridad de los productos agrícolas, proteger el medio ambiente y la salud humana. Aborda temas como la gestión del suelo, el uso de productos químicos, la gestión del agua y la conservación de la biodiversidad, fomentando la trazabilidad de los procesos agrícolas para promover una agricultura más responsable y ética [3]. Este manual permite definir los datos que se deben registrar en cada una de las actividades durante el proceso de cultivo.

1.3. Monitoreo

El monitoreo se refiere al proceso de supervisar, observar y recopilar información sobre un sistema, proceso o actividad específica. El objetivo del monitoreo es obtener datos en tiempo real o de manera periódica para identificar problemas, evaluar el rendimiento o la toma de decisiones informadas [4, 5]. En este artículo las variables de interés a monitorear son temperatura, humedad y humedad relativa, para obtener un registro histórico y con ello tener elementos para la toma de decisiones, lo anterior es relevante en el proceso de trazabilidad otorgando una herramienta al productor impactando así en la siembra y cosecha del cultivo.

1.4. Stevia

Durante el año 2022, en México se registró un incremento en la recolección anual de Stevia valorada en \$22 millones de pesos [6] a comparación con la registrada en el 2020 con un valor de \$17 millones de pesos [7]. La Stevia, o Stevia Rebaudiana (Bert.) Bertoni, es una planta originaria de Sudamérica, específicamente de la región tropical de Paraguay. Su relevancia surge por sus aplicaciones como un remedio natural o edulcorante no calórico, destacado por su notable dulzura, siendo de 250 a 300 veces más intensa que la sacarosa. Con más de 240 especies originarias de México, Centroamérica y Sudamérica [8, 9], la Stevia ha sido objeto de atención especial desde que su autor Toyosigue Morita introdujo por primera vez la Stevia Morita II en Japón. Esta variedad presenta un ciclo de cultivo intermedio, oscilando entre 100 y 130 días [8, 9]. En la Stevia, los esquejes son porciones de planta utilizadas para su reproducción vegetativa, lo que permite conservar las características de la planta madre en términos de productividad y calidad. La propagación por semillas no es recomendable debido a su bajo índice de germinación, que es del 5% o menos, por lo cual se prefieren los esquejes para asegurar una reproducción más efectiva y viable del cultivo [9]. Los grados Brix en la Stevia miden la concentración de sólidos solubles, principalmente azúcares y compuestos dulces como esteviósidos y rebaudiósidos, presentes en el jugo de la planta [9]. Es un indicador de la calidad y dulzor del cultivo, utilizado para evaluar el contenido de edulcorantes naturales en las hojas de la Stevia. La Stevia ocupa ciertas condiciones para asegurar su crecimiento óptimo, como se muestra en la Tabla 1, un listado de los rangos que deben tener dichos parámetros [4, 8].

Variable\Rango	Bajo	Deseable	Alto
Temperatura (°C)	< 18	18 - 30	> 30
Humedad (%)	< 60	60 - 80	> 80
Humedad relativa (%)	< 40	40 - 80	> 80

Tabla. 1. Rangos de condiciones deseadas para Stevia Morita II.

1.5. Producción de Stevia en Colima

En Colima, actualmente se produce la Stevia, específicamente la variante Morita II, en el "Rancho Tajeli" (Fig. 1), una empresa ubicada en Colima, México (19°14'38.5"N 103°39'33.3"W).



Fig. 1. Instalaciones de Rancho Tajeli (Vista Satelital)

Desde el 2021 hasta la fecha, han producido más de 500kg de Stevia. Actualmente, tienen aproximadamente 650m² de cultivo en desarrollo y disponen de un terreno adicional de 17,000m², que podría utilizarse para aumentar la producción. Para optimizar la producción, es importante contar con una herramienta como la que se propone en el artículo, la cual abona a cubrir las necesidades de la trazabilidad y el monitoreo.

1.6. Trabajos relacionados

Existen diversos sistemas de trazabilidad y monitoreo diseñados con objetivos similares a los de este documento, utilizando tecnologías perfeccionadas a lo largo del tiempo. En [10], se desarrolló un sistema para la cadena de suministro de frutas y hortalizas, registrando movimientos de productores, cooperativas y distribuidores mediante códigos de barras, QR y RFID, gestionados a través de una plataforma web. Aunque usa IoT, solo se enfoca en el registro de movimientos sin monitoreo. En [11], se presentó un sistema de trazabilidad para frutas y verduras, utilizando QR y una base de datos MySQL, también con IoT y similar limitación en monitoreo. El sistema en [12] cubre toda la cadena de suministro del arroz, desde proveedores hasta minoristas, empleando QR y una aplicación móvil para registrar y seguir lotes, pero solo registra movimientos. En [4], se diseñó un sistema de monitoreo de calidad del suelo (temperatura, pH, humedad) usando ESP32 con LoRaWAN y una topología estrella; solo registra datos sin asociarlos a actividades. Finalmente, [5] describe una red de sensores para monitorear metano en plantas de tratamiento de agua, usando ESP32 con Redes Mesh y MQTT; su enfoque también es solo el registro de datos sin relación con actividades. Los trabajos mencionados aportan una base sólida sobre las características y componentes de los sistemas de trazabilidad y monitoreo. Sin embargo, los sistemas de trazabilidad en [10, 11, 12] se limitan a registrar movimientos sin monitorear las condiciones durante los procesos, mientras que [4, 5] se centran en el monitoreo de condiciones, pero sin asociarlas a actividades específicas. Solo uno de estos estudios aborda el cultivo de Stevia, pero no incluye la trazabilidad de esquejes, lo que señala una oportunidad significativa para desarrollar sistemas que automaticen y monitoreen todo el proceso de cultivo. Por ello, se propone un diseño de sistema web de trazabilidad interna para el cultivo de Stevia Morita II, abarcando desde la siembra hasta la cosecha, e integrando la gestión de recursos, inventarios y planificación de futuros cultivos para una gestión más eficiente.

1.7. Herramientas de desarrollo

En esta sección se indican las herramientas que se aplicaron para el diseño de este trabajo siendo Figma, Draw.io y las que se utilizaran para la codificación e implementación del sistema siendo Laravel, Php, MySQL, LoRaWAN, Tarjeta ESP32.

1.7.1 Laravel y PHP

Laravel es un framework de código abierto basado en PHP, diseñado para desarrollar aplicaciones web con una sintaxis elegante y una estructura intuitiva [13]. Debido a las características

de PHP, como la gestión de rutas, middleware y ORM (Eloquent), que simplifican la creación de aplicaciones robustas. PHP es el lenguaje de programación subyacente de Laravel, reconocido por su flexibilidad y compatibilidad con diferentes sistemas operativos y servidores web [13, 14]. En este proyecto, PHP y Laravel se combinan para gestionar la lógica de la aplicación y la comunicación con la base de datos MySQL, optimizando el desarrollo y la eficiencia.

1.7.2 MySQL

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacionales ampliamente utilizado por su facilidad de uso y su compatibilidad con PHP. Ofrece una alta escalabilidad, confiabilidad y rendimiento, junto con una amplia gama de funciones y capacidades avanzadas para el manejo eficiente de grandes conjuntos de datos [13, 15]. Esta será utilizada para el almacenamiento de datos del sistema.

1.7.3 Herramientas de diseño

El diseño del sistema se documenta mediante modelos conceptuales, diagramas de casos de uso, estructura de navegación, y diagramas de base de datos, todos fundamentales para la Ingeniería de Software. Los diagramas de casos de uso identifican las interacciones del usuario con el sistema, mientras que los modelos conceptuales describen las relaciones clave entre los componentes del sistema. La estructura de navegación detalla cómo los usuarios interactúan con las distintas secciones del sistema, y el diagrama de base de datos ilustra la organización y gestión de la información almacenada. Estos diagramas se crearon utilizando Draw.io, una herramienta en línea que facilita la creación de diagramas técnicos [16]. Adicionalmente, el diseño de interfaces del sistema fue elaborado en Figma, permitiendo la creación de prototipos interactivos que mejoran la experiencia de usuario [17].

1.7.4 Tarjeta ESP32

La ESP32 es un microcontrolador económico y versátil, ideal para IoT, con conectividad Wi-Fi y Bluetooth. Se utiliza en el sistema de monitoreo por su capacidad para gestionar protocolos inalámbricos y conectar sensores con facilidad, garantizando un flujo de datos eficiente y seguro.

1.7.5 LoRaWAN

LoRaWAN es un protocolo de comunicación de bajo consumo, diseñado para transmitir datos a largas distancias usando la modulación LoRa. En este proyecto, se utiliza con una topología tipo estrella y opera eficientemente con un alcance adaptado a 200 metros entre nodos en entornos de cultivo, cubriendo el área del lugar de interés (Fig. 1). El protocolo de comunicación del sistema de monitoreo utiliza paquetes de datos con una estructura compacta que incluye el identificador del nodo, contraseña encriptada, sello de tiempo, y los datos de los sensores, como temperatura, humedad, pH, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y conductividad eléctrica. Este diseño garantiza la transmisión

segura y eficiente de la información. Para asegurar la integridad y confidencialidad de los datos, se emplea cifrado en la contraseña del nodo y en la transmisión de los paquetes.

1.8. Metodología

La metodología elegida para el proyecto es la espiral, que combina la naturaleza iterativa del modelo incremental con la estructura del modelo lineal secuencial. La cual está integrada por ciclos de análisis, evaluación, desarrollo y planeamiento, lo que brinda flexibilidad y adaptabilidad al proyecto [18]. Este enfoque permite que el sistema evolucione continuamente, adaptándose a las necesidades del proyecto y mejorando su funcionalidad.

2. DESARROLLO

Siguiendo los pasos de la metodología espiral comenzamos con la primera etapa de la primera iteración, que corresponde al análisis, el cual se realizó por medio de entrevistas con el productor y la revisión del BPA, el cual nos proporcionó información de los datos a registrar en el sistema de trazabilidad a desarrollar. Posteriormente, en la etapa de evaluación, se filtró y se complementó la información recopilada con revisiones de trabajos previos [4, 5, 10, 11, 12], definiendo los requisitos funcionales del sistema y la estructura necesaria. En la fase de desarrollo, se crearon los diagramas de casos de uso, diagramas de clases, diagramas de flujo, diagramas de bases de datos, estructura de los módulos, modelos conceptuales y diseños de interfaces de usuario, para garantizar el cumplimiento de los requisitos del sistema. En la etapa de planeamiento, se presentaron los diagramas diseñados a los usuarios del sistema para obtener retroalimentación, y poder así ajustar los avances según los requerimientos definidos. Esta retroalimentación es crucial para el siguiente ciclo de iteración de la metodología espiral, donde se implementan los diseños y se avanzará en el desarrollo del sistema.

2.1.1 Requisitos funcionales y no funcionales

Los requisitos se centran en las funciones específicas que el sistema debe realizar para garantizar la transparencia, la seguridad y la eficiencia de la trazabilidad. Los requisitos funcionales y no funcionales del sistema son las capacidades y características necesarias para asegurar el seguimiento efectivo de los procesos a lo largo del cultivo de Stevia. Posteriormente, estos requisitos dieron la pauta para la creación de los diagramas y diseños de esta investigación. Estos requisitos se pueden ver en la Tabla. 2.

Requisitos Funcionales	Requisitos no Funcionales
RF 1: El sistema debe permitir la inscripción de terrenos de cultivo e invernadero de esquejes.	RNF 1: El sistema deberá estar disponible de forma continua.
RF 2: El sistema debe facilitar la generación de un informe histórico sobre los terrenos del cultivo e invernaderos de esquejes.	RNF 2: La interfaz del sistema debe tener una estructura intuitiva y ser fácil de usar.
RF 3: El sistema debe permitir el registro de datos generados por	RNF 3: El sistema debe ser capaz de gestionar un incremento en el volumen de los datos y operaciones.

sensores, así como la generación de reportes.	
RF 4: El sistema debe permitir la generación de un informe histórico de la cosecha.	RNF 4: Se requerirá un almacenamiento seguro de datos para garantizar la confidencialidad e integridad.
RF 5: El sistema debe permitir el registro de la aplicación de insumos.	RNF 5: Se espera que el sistema garantice una respuesta eficiente a consultas y operaciones
RF 6: El sistema debe permitir el registro de la aplicación de riego en los cultivos.	RNF 6: El sistema deberá limitar el tiempo de respuesta a un máximo de 10 segundos en la recuperación de información.
RF 7: El sistema debe posibilitar la creación de informes sobre plagas.	
RF 8: El sistema debe permitir el registro de la medición de brix.	

Tabla. 2. Requisitos funcionales y no funcionales

2.1.1 Modelo conceptual.

El modelo conceptual (Fig. 2) Incluye un servidor que administra, registra y gestiona los datos mediante un sistema web desarrollado con Laravel, PHP y MySQL.

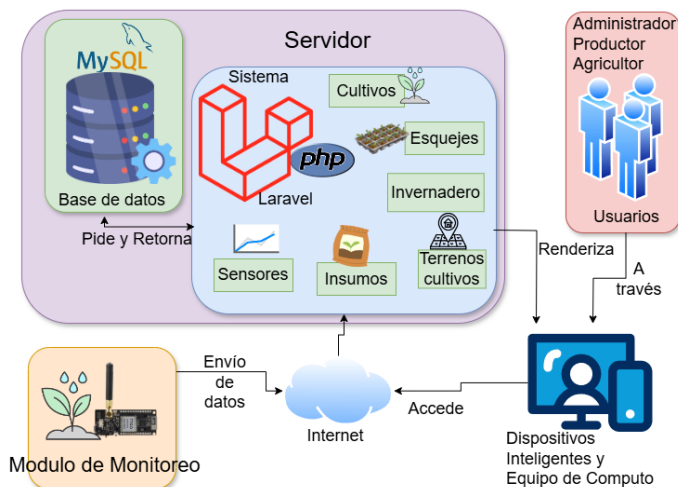


Fig. 2. Modelo conceptual del sistema de trazabilidad

El sistema soporta tres tipos de usuarios: administrador, productor y agricultor, quienes acceden a través de una arquitectura cliente-servidor para registrar sus actividades en módulos específicos. Las modificaciones en los módulos se gestionan mediante PHP y se almacenan en MySQL, utilizando APIs que facilitan la escalabilidad del sistema. Además, dependiendo de las condiciones del cultivo, los usuarios son notificados sobre eventos relevantes, como la confirmación de una salida de lote o la detección de parámetros fuera del rango, lo que permite un seguimiento detallado y efectivo para la trazabilidad del cultivo.

2.2. Diagrama de Casos de Uso

En la Fig. 3 se muestra el diagrama de caso de uso con 8 módulos principales. El módulo de esquejes y cultivos gestiona los registros

de movimientos en las plantas, mientras que los módulos de terrenos e invernadero registran las áreas de cultivo.

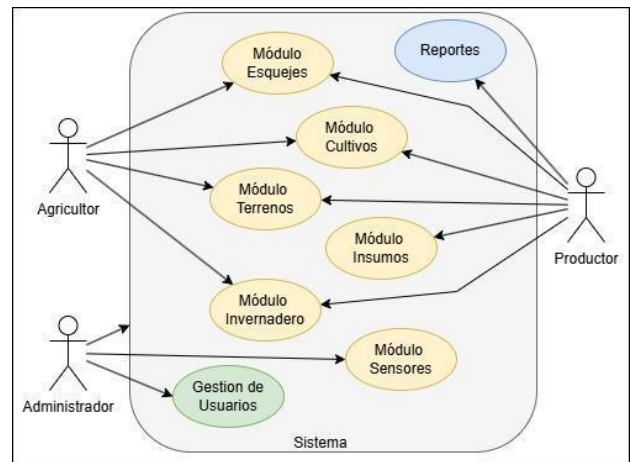


Fig. 3. Diagrama de caso de uso.

El módulo de insumos registra los insumos aplicados y el módulo de sensores estarán los nodos de censado, reflejando la información en los módulos anteriores. El módulo de reportes genera informes del historial de cultivos, esquejes, terrenos e invernaderos. El módulo de gestión de usuarios controla el acceso al sistema, permitiendo la creación y suspensión de usuarios. Los usuarios contemplados son agricultores, el cual registra actividades en cultivos, terrenos, invernaderos y esquejes. Siguiendo con el productor el cual ve registros de actividades, insumos y reportes. Y finalmente, el administrador que tendrá acceso completo, incluyendo la gestión de usuarios.

2.3. Estructura de navegación del sistema web

Se desarrolló la estructura de navegación del sistema (Fig. 4), la cual muestra el flujo de navegación del sistema que proporciona al usuario un mapa para guiarse a través de la aplicación. Desde el menú principal, se observa una ramificación por secciones que organiza las diferentes funcionalidades del sistema. Debido a que la página será accesible para el público, se ha agregado una página principal donde se presentan las características del proyecto y los datos de contacto. Además, se incluye un portal de inicio de sesión que permite a los usuarios acceder a los módulos necesarios para visualizar y gestionar los datos.

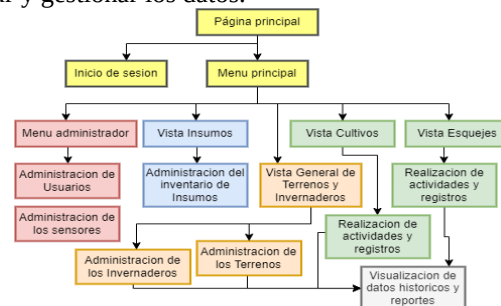


Fig. 4. Diagrama de navegación del sistema

2.4. Módulo de Monitoreo

El módulo de monitoreo propuesto (Fig. 5) Tiene como objetivo registrar las condiciones del cultivo de Stevia Morita II, recolectando datos como temperatura, humedad del aire y humedad del suelo, con posibilidades de expansión a variables como NPK y conductividad eléctrica. El sistema se basa en nodos hijo y padre utilizando tarjetas ESP32 con LoRaWAN, donde los nodos hijo capturan datos y los envían al nodo padre mediante RF. Se emplea el protocolo LoRaWAN, con una topología tipo estrella donde los nodos hijo se conectan al nodo padre, soportando transmisiones a largas distancias con baja velocidad de datos, adecuadas para entornos de monitoreo agrícola. La red tiene un alcance de hasta 10 km en línea de vista, soportando múltiples nodos, con una capacidad estimada de hasta 100 nodos hijo por nodo padre, optimizando la cobertura y minimizando interferencias.

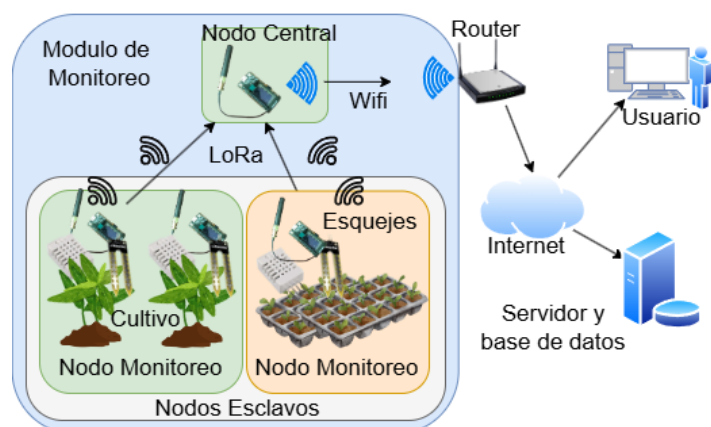


Fig. 5. Diagrama del módulo de monitoreo

La transmisión se realiza a velocidades de 300 bps a 50 kbps, ajustadas según las necesidades de datos y consumo energético. El muestreo se realiza cada 5 minutos, con una tasa de actualización de la base de datos cada 10 minutos. Los datos se procesan localmente en los nodos para validación y se almacenan temporalmente en una memoria micro SD antes de ser enviados al servidor. El sistema emplea un ADC de 12 bits, ofreciendo una resolución adecuada para medir con precisión los parámetros ambientales. La precisión de los sensores varía entre $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ para temperatura y $\pm 5\%$ para humedad, suficiente para evaluar las condiciones del cultivo. Se implementan medidas de seguridad para la comunicación de datos mediante cifrado a nivel de red y autenticación de nodos para prevenir accesos no autorizados. Los nodos se identifican por direcciones únicas y el procesamiento de datos incluye validación de checksum para asegurar la integridad. El nodo padre envía los datos al servidor en la nube utilizando el módulo WiFi integrado en el ESP32. Los datos se transmiten en formato JSON, que encapsula la información de los sensores en una estructura legible y fácilmente procesable por el servidor. El sistema está diseñado para procesar la información, verificar la

validez de los datos y almacenarlos en tiempo real, haciéndolos accesibles a través de una interfaz web. Esto permitirá a los usuarios tomar decisiones inmediatas para optimizar el rendimiento del cultivo. En el momento que se empiecen a registrar parámetros en los extremos de los rangos presentados en la Tabla 1, se emitirán alertas por medio de mensajes de texto y envíos de correo electrónico hacia los usuarios.

3. RESULTADOS

Este artículo presenta principalmente el diseño del sistema de monitoreo, sin embargo, se han logrado avances significativos en el desarrollo de los módulos clave. Actualmente, los módulos de terrenos, invernadero y sensores están en etapas finales de implementación, específicamente en pruebas, mientras que los módulos de cultivos y esquejes siguen en desarrollo. El módulo de monitoreo, detallado previamente y mostrado en la Fig. 6.



Fig. 6. Prototipo del nodo hijo y padre

Se envía los datos censados por medio del nodo padre al servidor, lo que permite una próxima visualización en tiempo real de las condiciones del cultivo, así como su historial registrado para su futuro análisis o descarga de datos. El nodo padre envía un JSON con los datos de los hijos, siendo su id, su clave, su hora, así como unos identificadores individuales de ip y finalmente los datos censados. El diseño del sistema se enfoca por su escalabilidad y flexibilidad. La base de datos, ilustrada en la Fig. 7, está estructurada mediante catálogos, lo que facilita la adición de nuevos tipos de registros, como nuevos tipos de terrenos, usuarios, sensores, etc, sin necesidad de modificar la arquitectura existente. Esta modularidad permite que el sistema se adapte fácilmente a futuras expansiones, como la integración de nuevos tipos de sensores o cultivos específicos, lo que lo hace robusto y sostenible a largo plazo. El sistema está diseñado con un enfoque hacia las necesidades del productor, su estructura modular permite que aproximadamente el 80% de sus funciones son reutilizables para otros cultivos. Por ejemplo, la recolección de datos de riego y aplicación de insumos puede adaptarse fácilmente a nuevos cultivos, mientras que algunos elementos específicos, como el

registro de brix y esquejes, se enfocan más en cultivos especializados. Las APIs del sistema han sido diseñadas con protocolos de seguridad robustos, incluyendo encriptación de datos mediante HTTPS (TLS 1.2) para proteger la comunicación entre módulos. Cada solicitud de API utiliza autenticación basada en tokens JWT (JSON Web Tokens), que se generan y verifican en el servidor para cada sesión, asegurando que solo usuarios y dispositivos autorizados accedan a los recursos del sistema. Además, se implementan keys API únicas por módulo, que permiten rastrear y gestionar el acceso, reforzando la seguridad y permitiendo una integración controlada y fluida con otras plataformas.

3.1. Diagrama de base de datos.

En la Fig. 7 se muestra el diagrama de la base de datos, gracias a su estructura, se registran detalladamente todas las aplicaciones de riegos, insumos y químicos, así como la identificación del usuario que realiza cada acción. Esto permite un control preciso y una trazabilidad completa de cada lote de cultivo, facilitando la revisión de su historial en caso de detectar problemas de contaminación. El sistema almacena información detallada de cada intervención, lo que permite identificar rápidamente las condiciones de aplicación y los responsables de cada acción. Esta trazabilidad es esencial para tomar decisiones correctivas oportunas, asegurar la calidad del producto final y cumplir con los estándares de inocuidad alimentaria. La base de datos no solo centraliza la información, sino que también proporciona herramientas para monitorear y mantener la seguridad del proceso de producción de manera eficiente.

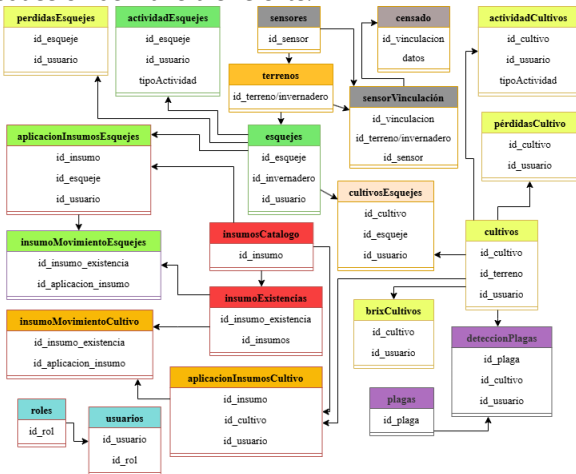


Fig. 7. Diagrama de base de datos

3.2. Diseños de interfaces de usuario.

Se crearon los diseños de interfaces de usuario que integrarán el sistema de trazabilidad. Como se muestra en la Fig. 8, se visualiza el menú principal mencionado en el diagrama de navegación como la segunda vista a acceder, donde se podrán ingresar a diferentes módulos. También se puede visualizar la vista de terrenos, donde se realiza el registro y modificación de dichos terrenos.



Fig. 8. Diseño de interfaces del sistema

Dichos diseños se pueden ver en la Fig. 9, siendo ya implementados en el sistema, siendo en la vista de terrenos (la segunda vista) donde se podrá visualizar los datos históricos registrados de las condiciones sobre los terrenos.

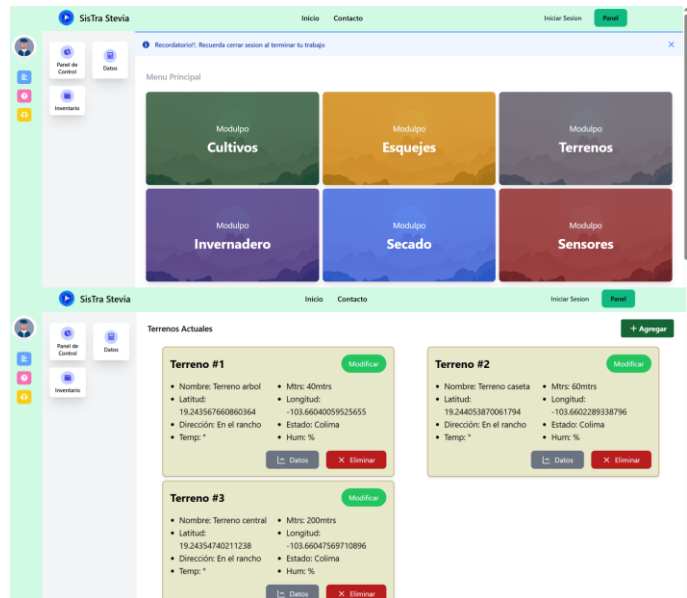


Fig. 9. Interfaces del sistema en desarrollo

3.3. Validación de Interfaces

Las interfaces fueron validadas por medio de una encuesta, utilizando el trabajo de [19], se plantearon puntos a evaluar en un diseño de interfaz gráfica, adaptando esos 10 puntos con el cuestionario propuesto por [20] para la medición de la usabilidad de una interfaz gráfica. Dicha encuesta fue aplicada a un total de 10 personas, tomando en cuenta el trabajo de [21], el cual especifica que para evaluar una interfaz gráfica se ocuparían al menos 5 sujetos para encontrar el 85% de problemas de usabilidad, mientras que con 10, se encontrarían aproximadamente el 95%. En la Fig. 10 se muestran los resultados de algunas preguntas de la encuesta aplicada. Los resultados obtenidos demuestran que las interfaces son aceptables de acuerdo a los parámetros de usabilidad, ya que los encuestados encontraron las interfaces fáciles de utilizar, especificando que les gustaría usarla con frecuencia y no requerirían apoyo de una persona técnica. Por lo

cual se definió que la interfaz es aprobada de acuerdo a los resultados obtenidos.

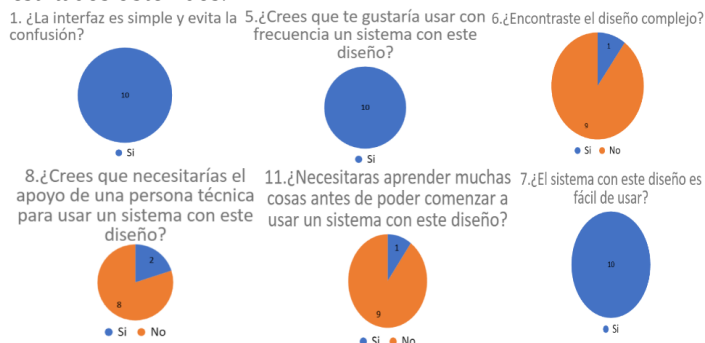


Fig. 10. Resultados de la Encuesta

4. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta el diseño de un sistema de trazabilidad interna y monitoreo para el cultivo de Stevia Morita II, enfocado en mejorar la gestión y seguridad del proceso de producción. El sistema documenta detalladamente la aplicación de riegos, insumos y químicos, registrando la actividad de los usuarios para asegurar un control preciso y facilitar la trazabilidad del cultivo. Esto permite identificar rápidamente las condiciones de aplicación y los responsables de cada acción, apoyando la toma de decisiones correctivas y cumpliendo con los estándares de inocuidad alimentaria. El diseño modular y escalable del sistema facilita su adaptación a nuevas condiciones de cultivo y expansión de funcionalidades, lo que contribuye a una gestión más eficiente y segura del proceso agrícola. La integración de tecnologías abiertas reduce los costos de implementación y aumenta la accesibilidad para los productores, proporcionando una herramienta eficiente para el monitoreo continuo y la trazabilidad en la producción de Stevia.

4.1. Trabajos Futuros

A futuro, el sistema podría beneficiarse de la incorporación de inteligencia artificial para mejorar la interpretación y análisis de los datos capturados, optimizando la toma de decisiones y mejorando la productividad del cultivo. También se prevé la expansión de la infraestructura para incluir nuevas funcionalidades que permitan una mayor personalización y adaptación del sistema a diversos escenarios agrícolas, como la gestión de cultivos hidropónicos o sistemas de riego automatizados, ofreciendo un soporte versátil a una amplia variedad de productores.

5. REFERENCIAS

[1] Teufel, J., Hernández, V. L., Greiter, A., Kampffmeyer, N., Hilbert, I., Eckerstorfer, M., Narendja, F., Heissenberger, A., & Simon, S. (2024). "Strategies for Traceability to Prevent Unauthorised GMOs (Including NGTs) in the EU: State of the Art and Possible Alternative Approaches," **Foods**, vol. 13, no. 3, p. 369, 2024.

[2] Dopico, D. C. (2015). "Implantación de la trazabilidad y su relación con la calidad: marco conceptual y retos estratégicos. Aplicación al sector pesquero." **Economía Agraria y Recursos Naturales**, vol. 15, no. 1, pp. 79-98, 2015.

[3] J. H. Siller Cepeda, M. A. Báez Sañudo, A. Sañudo Barajas, y R. Báez Sañudo, «Manual de Buenas prácticas agrícolas para frutas y hortalizas frescas», ISBN 970-18-7941-4, 2002. Accedido: 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859962/2_Manual_de_Buenas_Practicas_Agricolas_-_comprimido.pdf

[4] A. Vejar-Cortés, García-Díaz, Torres-Martínez, García-Virgen, A. Ruiz-Tadeo, y Lua-Madrigal, «Sistema de Monitoreo de Calidad de Suelo para Cultivo de Stevia Rebaudiana Morita II», *REVISTA ELECTRO*, vol. 44, Oct2022, Art. n.o ISSN 1405-2172, [En línea]. Disponible en: https://itchihuahua.mx/revista_electro/2022/SUB-3668.pdf

[5] L. A. Reyes Ibarra, P. A. Herrera Castillo, S. A. Sifuentes Montelongo, y R. Villanueva Vallejo, «Monitoreo para sistema de clasificación de agua residual doméstica empleando Node-Red», *REVISTA ELECTRO*, vol. 44, 1405-2172, Oct. 2022, Art. n.o ISSN 1405-2172 [En línea]. Disponible en: https://itchihuahua.mx/revista_electro/2022/SUB-4765.pdf

[6] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), «Anuario Estadístico de la Producción Agrícola», nube.siap, 2022. <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

[7] O. A. Bastida Cañada, «Estadísticas de producción de stevia en México», *Blog Agricultura*, 14 de diciembre de 2023. <https://blogagricultura.com/estadisticas-stevia-mexico/>

[8] A.-P. Vejar-Cortés, N. García-Díaz, L. Soriano-Equigua, A.-C. Ruiz-Tadeo, y J. L. Álvarez-Flores, «Determination of Crop Soil Quality for Stevia rebaudiana Bertoni Morita II Using a Fuzzy Logic Model and a Wireless Sensor Network», *Applied Sciences (Basel)*, vol. 13, n.o 17, p. 9507, ago. 2023, doi: 10.3390/app13179507.

[9] M. G. Lozano Contreras y G. Ramírez Jaramillo, «Estevia, una alternativa dulce y saludable», *HERBARIO CICY*, n.o 14, Art. n.o ISSN: 2395-8790, jun. 2022, [En línea]. Disponible en: https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2022/2022-06-02-Lozano-Monica-Estevia-una-alternativa-dulce.pdf

[10] Borrero, J. D., "Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro agroalimentario para cooperativas de frutas y hortalizas basado en la tecnología Blockchain," *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, CIRIEC-España, pp. 71-94, 2019. ISSN edición impresa: 0213-8093. ISSN edición online: 1989-6816.

[11] X. Yang, M. Li, H. Yu, M. Wang, D. Xu and C. Sun, "A Trusted Blockchain-Based Traceability System for Fruit and Vegetable Agricultural Products," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 36282-36293, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3062845.

[12] A. Sutopo, S. Susmartini, y L. Herdman, «Designing a Traceability System for Rice Distribution Process Using QR Code Based Android Application at Perum Bulog Subdivre III Surakarta», *Jurnal Ilmiah Teknik Industri (Surakarta)*, vol. 20, n.o 1, pp. 131-140, jul. 2021, doi: 10.23917/jiti.v20i1.13746.

- [13] Laravel, "Documentación de Laravel" 2023. [En línea]. Disponible en: <https://laravel.com/docs/9.x>. [Accedido: 25 de abril de 2024].
- [14] PHP Group, "¿Qué es PHP?" 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.php.net/manual/es/intro-what-is.php>. [Accedido: 25 de abril de 2024].
- [15] Oracle, "What is MySQL?" 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.oracle.com/mysql/what-is-mysql/>. [Accedido: 25 de abril de 2024].
- [16] Intef, «Draw.io: mucho más que mapas mentales - INTEF», INTEF. https://intef.es/observatorio_tecno/draw-io-mucho-mas-que-mapas-mentales/#:~:text=Draw.io%20es%20una%20herramienta,diagrama%20de%20jerarqu%C3%ADa%20o%20conjuntos.
- [17] G. Garcés, «Ventajas de usar Figma como herramienta de diseño UI», Blog de Hiberus, 7 de enero de 2023. <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/ventajas-de-usar-figma-como-herramienta-de-diseno-ui/>
- [18] H. S. Corvo, «Modelo espiral: historia, características, etapas, ejemplo», Lifeder, 23 de mayo de 2021. <https://www.lifeder.com/modelo-espiral>
- [19] J. Nielsen, «10 Usability Heuristics for User Interface Design», Nielsen Norman Group, 20 de febrero de 2024. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
- [20] J. Sauro PhD, «Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS) – MeasuringU». <https://measuringu.com/sus/>
- [21] J. Nielsen, «Why You Only Need to Test with 5 Users», Nielsen Norman Group, 2 de febrero de 2024. <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>