



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Sistema Web para la Trazabilidad hacia Atrás e Interna y Monitoreo de la producción de la Stevia Morita II

Web System for Backward and Internal Traceability and Monitoring of Stevia Morita II Production

Vejar-Cortés, M.A., Ruiz-Tadeo, A.C., García-Díaz, N., Sandoval-Carrillo, S., Verduzco-Ramírez, J.A.

División de Estudios de Posgrado e Investigación; Tecnológico Nacional de México I.T. de Colima; 28979 Villa de Álvarez, Colima.

mikeveco2@gmail.com; aruiz@colima.tecnm.mx; ngarcia@colima.tecnm.mx; sary@ucol.mx; averduzco@colima.tecnm.mx

Innovación tecnológica: Herramienta web que impulsa la trazabilidad y monitoreo de la producción de Stevia.

Área de aplicación industrial: Ciencias de la Computación.

Recibido: 20 febrero 2025

Aceptado: 09 julio 2025

Abstract

This article presents the design and implementation of a web-based system for backward and internal traceability, as well as monitoring of Stevia Morita II, developed for Rancho Tajeli in Colima, Mexico. This work arises from a problem identified in the field, related to the lack of systematized records of production activities, as data was recorded manually, making it difficult to establish reliable traceability. In some cases, gathering the necessary information to trace an activity or input took several days, causing delays and uncertainty in tracking of the processes. The main objective is to facilitate compliance with traceability regulations and ensure the quality and safety of the final product through efficient and automated record-keeping. The system design includes modules for tracking agricultural inputs, recording production activities, and monitoring real-time environmental variables such as temperature, humidity, pH, and macronutrient levels (NPK). Using open-source technologies and integrated sensors, the system optimizes production processes minimizing phytosanitary risks. The development of this system followed a spiral development methodology and a mixed research approach, including interviews with producers

and documental analysis. The results highlight the system's ability to generate detailed logs and analytical graphs that support decision-making, improving the sustainability of Stevia production. This system represents a valuable tool for increasing competitiveness in global markets. In conclusion, the system contributes significantly to traceability and monitoring, fostering sustainable agricultural development and meeting international quality standards.

Key Words: Inocuidad, Monitoring, Stevia, Traceability, Web System

Resumen

El presente artículo presenta el diseño e implementación de un sistema web para la trazabilidad hacia atrás e interna, así como el monitoreo de la producción de Stevia Morita II, desarrollado para el Rancho Tajeli en Colima, México. Este trabajo surge a partir de la problemática identificada en campo, relacionada con la falta de antecedentes sistematizados sobre las actividades productivas, ya que los registros se realizaban de forma manual, lo que dificultaba establecer una trazabilidad confiable. En algunos casos, reunir la información necesaria para rastrear una actividad o insumo tomaba varios días, lo que generaba retrasos y poca certeza en el seguimiento de los procesos. El objetivo principal es facilitar el cumplimiento de normativas de trazabilidad y garantizar la calidad y seguridad del producto final mediante un registro eficiente y automatizado. El diseño del sistema incluyó módulos para rastrear insumos agrícolas, registrar actividades de producción y monitorear variables ambientales en tiempo real como temperatura, humedad, pH y niveles de macronutrientes NPK. Utilizando tecnologías de código abierto y sensores integrados, el sistema optimiza los procesos de producción, minimizando riesgos fitosanitarios. Para el desarrollo de este sistema se adoptó una metodología de desarrollo en espiral y un enfoque mixto de investigación, incluyendo entrevistas a productores y análisis documental. Entre los resultados destaca la capacidad del sistema para generar bitácoras detalladas y gráficas analíticas que apoyan en la toma de decisiones, mejorando la sostenibilidad de la producción de Stevia. Representa una herramienta valiosa para aumentar la competitividad en mercados globales. En conclusión, este sistema contribuye significativamente a la trazabilidad y monitoreo, aportando al desarrollo agrícola sostenible y cumpliendo con estándares internacionales de calidad.

Palabras clave: Inocuidad, Monitoreo, Stevia, Sistema Web, Trazabilidad.

1. Introducción

La Stevia ha presentado un incremento de su valor en el mercado, presentando un valor de 840 millones de dólares en el 2024 a nivel mundial, teniendo una tasa de crecimiento del 10.12%, pronosticando que su crecimiento para el 2029 sea de 1.36 mil millones de dólares (Mordor Intelligence, 2024). El Instituto Nacional de Salud Pública por

medio del Gobierno de México (2024) ha destacado el impacto negativo sobre el consumo de bebidas azucaradas en la salud de los mexicanos, provocando más de 24 mil muertes anuales (Gobierno de México, 2024), recomendando la exploración de alternativas para reducir su ingesta, especificando como una opción viable el uso de edulcorantes no calóricos, como la Stevia. Profeco también

comparte que la opción más sana como sustituto de azúcar es la Stevia (Rivera Villaseñor, 2023). En México el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reportó en su cierre anual que la producción de Stevia presentó una reducción en las hectáreas (ha) cosechadas reportadas en el 2023, cosechando solo un aproximado del 21.15% de las ha sembradas (SIAP, 2024). Para posicionar a México como un creciente exportador de Stevia, es esencial priorizar medidas preventivas que reduzcan los riesgos de contaminación en este producto agrícola. Estas medidas se fundamentan en la implementación de Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC), diseñados para abordar las fuentes y medios específicos de contaminación (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), 2023). Mediante acciones enfocadas en las condiciones particulares de producción, se busca minimizar la exposición del producto a sustancias o superficies contaminantes, disminuyendo así significativamente el riesgo de contaminación.

Para garantizar una respuesta efectiva ante posibles riesgos de salud pública derivados de la contaminación de productos agrícolas, es fundamental implementar un sistema de trazabilidad (SENASICA, 2022). Dicho sistema se sustenta en el registro completo de datos y procesos necesarios para preservar la información clave del producto y componentes relativos, abarcando cada etapa de la cadena de producción y uso, o en su integración dentro de ella. Además, este enfoque proporciona confianza y seguridad tanto al consumidor nacional como al internacional, fortaleciendo la percepción de calidad y fiabilidad de los productos agrícolas (SENASICA, 2022). Así, al localizar un lote con exactitud y en el momento adecuado, se pueden aplicar acciones correctivas que contribuyan a reducir los posibles riesgos de contaminación.

Por otra parte, la trazabilidad se entiende como una herramienta clave que facilita tanto el seguimiento como la localización precisa de un producto. Este proceso abarca desde su lugar de origen hasta un punto específico dentro de la cadena de producción, extendiéndose hasta su destino final, que puede ser el cliente o el consumidor final (Chonata Orozco, 2020). Dentro de la trazabilidad existen varias ramas, siendo la trazabilidad interna fundamental, debido a que se enfoca en registrar cada etapa del ciclo de cultivo, desde la plantación hasta la cosecha. Este tipo de trazabilidad asegura que las prácticas de producción se mantengan consistentes y que cualquier desviación sea identificada y corregida rápidamente (Ceballos Montes & Villalba Rodríguez, 2018). En cuanto a la trazabilidad hacia atrás, su principal objetivo es garantizar que los insumos utilizados, como los esquejes y los fertilizantes, cumplan con los estándares de calidad necesarios, permitiendo verificar el origen y la calidad de los mismos. Esto resulta crucial en cultivos como la Stevia, donde la pureza y calidad del producto final están estrechamente ligadas a los métodos de producción utilizados (Ceballos Montes & Villalba Rodríguez, 2018).

En la agricultura moderna, el monitoreo de variables como temperatura, humedad del suelo, humedad relativa, pH o macronutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK), es esencial para optimizar las condiciones de cultivo (Vejar-Cortés et al., 2022). Los sistemas de monitoreo brindan información en tiempo real sobre estas variables, lo que favorece una toma de decisiones más acertada. Por ejemplo, el mantenimiento de los macronutrientes NPK en la tierra en óptimo nivel ha demostrado ser un factor crucial para la productividad en el cultivo de Stevia (Vejar-Cortés et al., 2023). El cultivo de Stevia requiere condiciones ambientales específicas, incluyendo

temperaturas cálidas y humedad adecuada (Segura-Campos et al., 2014), siendo Colima (Estado donde se aplica la presente investigación) uno de los estados que cumple con dichas condiciones (Medina, 2014). El monitoreo de variables ambientales y de cultivo es un componente clave para optimizar la producción de Stevia, especialmente en variedades como la Stevia Morita II, que necesitan un control detallado de las condiciones de cultivo para optimizar la calidad de sus compuestos edulcorantes (Segura-Campos et al., 2014). En los últimos años, la adopción de tecnologías para el monitoreo continuo de la temperatura y humedad del suelo, como la humedad relativa, entre otras variables ha permitido a los agricultores ajustar las condiciones de cultivo en tiempo real, mejorando la eficiencia y reduciendo el riesgo de pérdida de calidad en el producto final (Vejar-Cortés et al., 2023). La implementación de estos sistemas de monitoreo, junto con un adecuado control de trazabilidad, contribuirá significativamente a la optimización del rendimiento del cultivo de Stevia Morita II, permitiendo a los productores mejorar la calidad y consistencia del producto final. Integrar estas tecnologías no solo eleva la calidad del producto final, sino que también brinda mayor capacidad de adaptación frente a un mercado global que demanda procesos agrícolas más eficientes y sostenibles (SENASICA, 2022).

La combinación de monitoreo y trazabilidad ofrece a los productores de Stevia una ventaja competitiva al permitir un control más preciso sobre el proceso productivo, asegurando un producto de alta calidad que cumple con las expectativas del mercado. Algunas de estas normativas son la NOM-251-SSA1-2009 referente a la higiene en la producción, transporte y almacenamiento de los alimentos; también está la NOM-059-FITO-2007 enfocada en las plagas reglamentadas en plantas vivas, así como el

manual de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) el cual brinda una guía de las mejores prácticas que se pueden tomar para la agricultura. Con base en lo anterior, se desarrolla el presente estudio, en el cual se propone un Sistema de Trazabilidad Interna y hacia Atrás con Monitoreo, diseñado e implementado específicamente para el Rancho Tajeli, productor de Stevia ubicado en el estado de Colima. Cerca del 90% de los productores no logran implementar las BPA, lo que genera diversos problemas, tanto en el ámbito fitosanitario como en la productividad (Díaz-Velasco et al., 2020).

Para elaborar una propuesta que satisfaga los requerimientos de un sistema de trazabilidad con capacidad de monitoreo, es crucial iniciar examinando los aspectos fundamentales que dicho sistema debe contemplar, en concordancia con los estándares definidos por organismos tanto nacionales como internacionales. Además, es importante considerar los estudios previos relacionados que aborden la trazabilidad como tema principal. El autor Díaz-Velasco et al. (2020) implementó una plataforma digital orientada a gestionar la trazabilidad retrospectiva y del proceso interno en la cadena productiva del limón en México. Su objetivo consistió en ayudar a los productores a cumplir con los requisitos de trazabilidad y obtener certificaciones, al mismo tiempo que se mejora la calidad de la producción. El sistema se enfocó en la trazabilidad de los procesos agrícolas de los productores de limón mexicano en Colima. El proyecto se implementó empleando soluciones tecnológicas de código abierto, específicamente: AngularJS para la interfaz de usuario (front-end), PHP como lenguaje de programación del servidor (back-end) y MySQL para la administración y almacenamiento de datos. Para el desarrollo se aplicó la metodología en cascada, alineándose con los requisitos del proyecto. Sus principales funciones son rastrear el

origen de los insumos y suministros utilizados, monitorear los procesos de producción y generar reportes. El sistema propuesto no contempla el uso de tecnologías de seguimiento como códigos de barras o RFID, así como tecnologías para el monitoreo de las condiciones de los cultivos.

Los autores Jin, Zheng, y Liu (2024) proponen un modelo de trazabilidad basado en blockchain para productos de pimienta, utilizando una arquitectura de múltiples cadenas (main chain y side chains). El sistema tiene aplicaciones en la trazabilidad de productos agrícolas, especialmente en la identificación y monitoreo de cada etapa de la cadena de suministro, desde la siembra hasta la venta. Su implementación se centra en garantizar la seguridad alimentaria, prevenir fraudes y satisfacer estándares internacionales de calidad. Para el desarrollo se utilizó la tecnología de Blockchain con Algoritmos de encriptación RSA. Su sistema no completa una integración directa con tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), lo cual representa una limitación importante. Esto implica que el sistema no cuenta con dispositivos de monitoreo en tiempo real para recolectar automáticamente datos críticos, como las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.) o la aplicación precisa de químicos en el cultivo.

El autor Hernández-Sandoval et al. (2024) propone la creación e implementación de una plataforma automatizada de seguimiento que captura y registra continuamente parámetros ambientales críticos (incluyendo temperatura y niveles de pH) en un entorno acuapónico integrado por cultivos de lechuga y peces tilapia, se aborda la necesidad de un monitoreo constante y preciso en la acuicultura para mejorar la calidad y la productividad. Se utilizaron las tecnologías de un microcontrolador ESP32 con conectividad WiFi y Bluetooth para transmitir datos, un sensor de temperatura

DS18B20 y sensor de pH Gravity Analog, programación en C++ y JavaScript para el desarrollo del framework con una integración con Google Sheets API para almacenar y visualizar datos. El sistema está construido para un cultivo pequeño, lo que podría limitar su implementación en operaciones comerciales de mayor escala sin modificaciones significativas. Aunque registra datos, no incorpora un registro de bitácora que refleje las actividades realizadas en el cultivo.

Con base en lo anterior, el sistema web de trazabilidad y monitoreo desarrollado en esta investigación está diseñado para apoyar al Rancho Tajeli en la gestión de la documentación requerida para la certificación como productor agrícola. Este sistema se enfoca específicamente en la trazabilidad de la producción de Stevia, ofreciendo funcionalidades diseñadas para documentar cada etapa de producción, gestionar los datos requeridos y facilitar el cumplimiento de los estándares de certificación. Además, busca ser una solución práctica para superar las dificultades técnicas, económicas y documentales asociados a este proceso. Asimismo, el sistema actúa como un mecanismo de control que contribuye a reducir riesgos en la producción, asegurando tanto la calidad como la inocuidad del producto final.

2. Materiales y equipo

Esta innovadora solución tecnológica fue desarrollada como una plataforma web integral que emplea el framework Laravel para la estructuración backend bajo el patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador), complementado con tecnologías front-end modernas como HTML5 y Tailwind CSS para la construcción de interfaces de usuario. Como componente fundamental de almacenamiento, se implementó MySQL como gestor de bases de datos relacionales.

La elección estratégica de estas herramientas de código abierto no solo garantiza robustez técnica, sino que además ofrece una significativa optimización en los costos de desarrollo al eliminar licencias comerciales. Para el monitoreo se utilizó el microcontrolador ESP32 con LoRaWAN para la comunicación de los módulos de sensores, así como los sensores NPK JXBS-3001, DHT11 y HL-69 que apoya midiendo temperatura, humedad, pH, y los macronutrientes NPK.

3. Métodos experimentales

En este apartado se presentan las metodologías de desarrollo e investigación aplicadas en este proyecto.

3.1 Metodología de Investigación

La metodología empleada integra estratégicamente un enfoque híbrido, articulando métodos cuantitativos y cualitativos de forma complementaria. Los análisis cuantitativos se implementan mediante procedimientos sistemáticos con el propósito de determinar objetivamente los parámetros críticos que impactan en el rendimiento y eficacia de los sistemas de trazabilidad con capacidades de monitoreo en tiempo real. Por otro lado, las técnicas cualitativas se centran en un enfoque práctico de campo, asegurando la documentación

detallada de todos los procesos implementados en la producción de Stevia. Posteriormente, se llevaron a cabo entrevistas con los agricultores del Rancho Tajeli para identificar las necesidades y problemáticas relacionadas con la producción de Stevia. Para enriquecer el proceso investigativo, las entrevistas realizadas se articularon con un exhaustivo análisis documental que examinó los protocolos operativos y técnicas de gestión aplicadas en la producción agrícola, en estricta concordancia con los lineamientos establecidos en el manual BPA.

3.2 Metodología de Desarrollo

El desarrollo del sistema adoptó la metodología en Espiral como marco de trabajo principal, por su capacidad para integrar la estructuración del modelo en cascada con procesos iterativos de mejora continua. Esta aproximación se fundamenta en ciclos evolutivos progresivos (fases en espiral) que permiten optimizar incrementalmente los resultados del proyecto (Roche, 2024). Paralelamente, dada la especificidad del dominio de aplicación, se realizó un minucioso análisis de requerimientos basado en la normativa y documentación técnica vigente sobre trazabilidad a nivel nacional. En la Figura 1 se muestra los pasos de la metodología empleada.

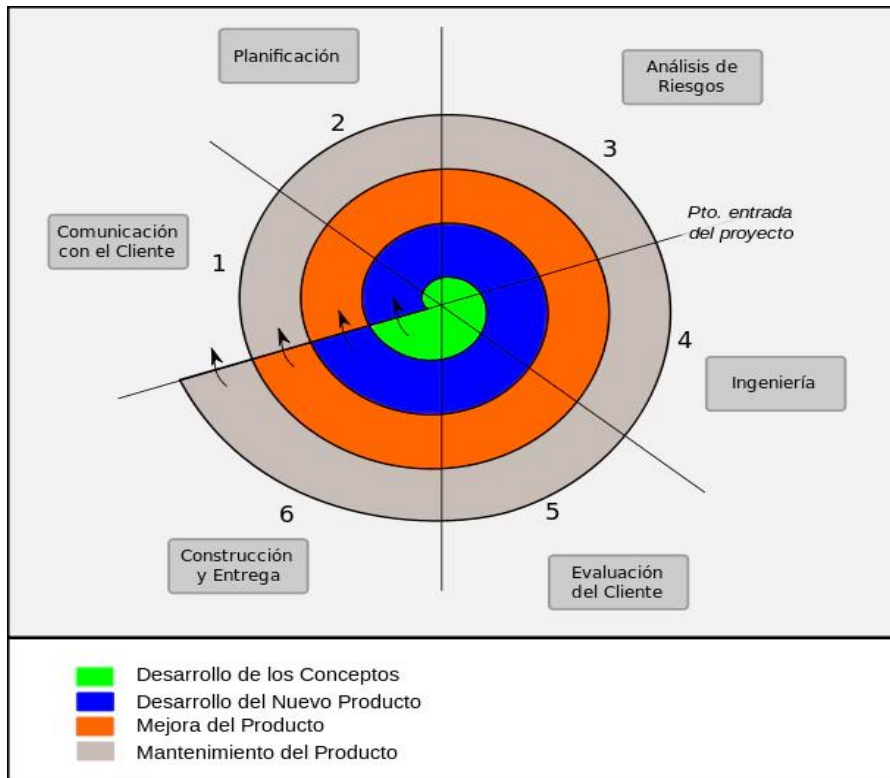


Figura 1. Metodología en Espiral.
Elaboración: Tomada del autor Roche (2024).

La implementación de la metodología se estructuró en las siguientes fases secuenciales:

3.2.1 Comunicación con el cliente

Se realizaron un total de 4 entrevistas con los agricultores y productores del Rancho Tajeli, cada una durante un giro de la metodología Espiral, esto con el fin de conocer los procesos que realizan y sus necesidades a cubrir, así como las posibles mejoras al sistema durante su desarrollo. En posteriores giros se realizaron pláticas con agricultores y productores del Rancho Tajeli, esto con el fin de dar a conocer que en las siguientes entregas se presentaron versiones del sistema incorporando las observaciones, así como el desarrollo de los módulos del sistema.

3.2.2 Planificación

Se llevaron a cabo actividades de comunicación y planificación con el fin de establecer los objetivos de cada giro de la

metodología, estableciendo el primero como la realización de los requerimientos y diseño del sistema, para después seguir con la codificación de una versión prototipo del sistema, prosiguiendo con la ampliación e integración de posteriores módulos y finalmente la implementación y corrección de errores para una versión final. En posteriores giros fueron la codificación y el mantenimiento del sistema.

3.2.3 Análisis de Riesgos

Se realizó una revisión de la literatura centrada en la trazabilidad y el monitoreo, con un enfoque específico en los costos involucrados y el tiempo necesario para su desarrollo. Este análisis destacó la importancia de la realización de un sistema de trazabilidad en cualquier sector productivo, así como la relevancia de los manuales de BPA para guiar la producción. Además, se concluyó que, dado el cálculo de costos, la implementación del sistema resulta rentable y

esencial para garantizar la eficiencia y la calidad en los procesos productivos. En posteriores giros se enfocó en la compatibilidad entre los módulos a desarrollar y su impacto crítico en el sistema.

3.2.4 Ingeniería

En esta sección se realizaron en los respectivos giros, la generación de requerimientos del sistema, el modelo conceptual, así como la codificación del sistema.

3.2.4.1 Requerimientos del Sistema

A partir de los datos recopilados durante la fase de investigación se derivaron los requerimientos funcionales del sistema. Estos se orientan específicamente a gestionar dos procesos clave: el registro sistemático y la visualización integral de todos los datos necesarios para garantizar la trazabilidad completa del proceso, el cual se muestra en la Figura 2.

Requisitos Funcionales
Inscribir nuevos terrenos, invernaderos, cultivos y esquejes para su gestión dentro del sistema.
Generar informes históricos sobre: Condiciones de terrenos, invernaderos, cultivos y esquejes, así como la aplicación de riego en los cultivos o cosechas realizadas.
Registrar y visualizar datos técnicos y de operación, incluyendo: medición de Brix en el cultivo, insumos utilizados y su información técnica, así como actividades realizadas en el cultivo mediante una bitácora.
Gestionar insumos y proveedores, permitiendo su registro y consulta.
Crear e integrar información sobre las plagas registradas en cultivos y esquejes.
Vincular nodos de sensado para monitoreo en tiempo real de terrenos e invernaderos.
Registrar datos generados por sensores, asociándolos a los espacios correspondientes.
Visualizar insumos permitidos y prohibidos según las regulaciones establecidas.

Figura 2. Requerimientos Funcionales del Sistema.
Elaboración: Propia.

3.2.4.2 Diseño del Modelo Conceptual del Sistema

El modelo conceptual ilustra la dinámica de intercambio de información entre los actores

del sistema y la plataforma tecnológica (Figura 3). La arquitectura distingue tres perfiles de usuarios siendo el administrador el que proveerá el acceso a los otros usuarios al sistema, así como el registro de los sensores y su respectiva vinculación. Prosiguiendo con el productor el cual registrará los datos de sus proveedores, adquisición de insumos, ingresando la información correspondiente de las precauciones en cada insumo, así como dar de alta los terrenos e invernaderos. Finalmente, el agricultor reportará las actividades realizadas en los cultivos y esquejes. Con la información registrada por medio de las bitácoras de actividades y reportes, se crea un historial de los cultivos y esquejes producidos.

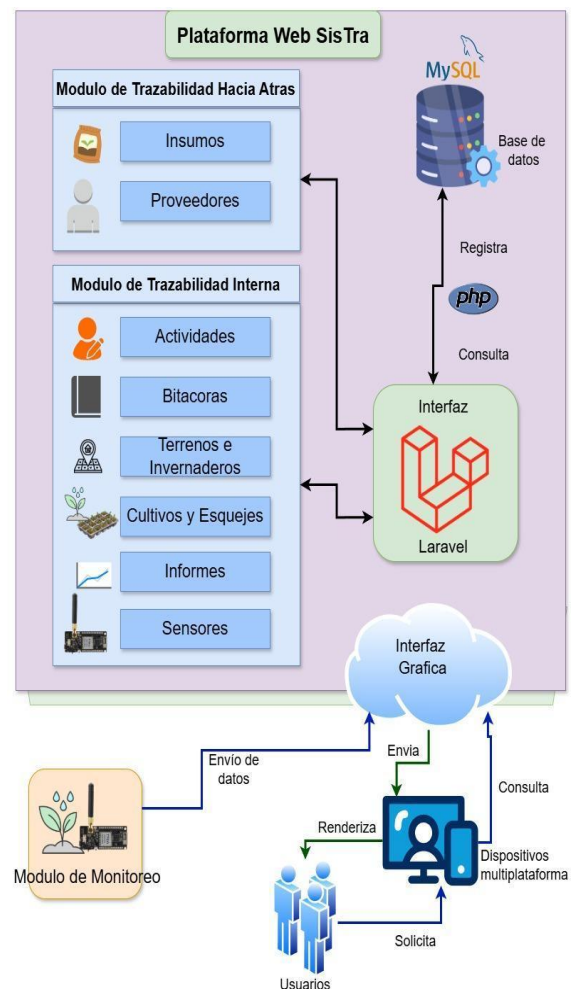


Figura 3. Modelo Conceptual del Sistema.
Elaboración: Propia.

Como se representa en la Figura 3, el sistema presenta una arquitectura organizada en tres componentes fundamentales: dos módulos internos y un módulo externo. Los módulos internos incluyen específicamente el sistema de trazabilidad hacia atrás y el de trazabilidad interna, ambos desarrollados meticulosamente para cumplir con todos los requisitos establecidos en los manuales de BPA y Buen Uso y Manejo de Plaguicidas (BUMP). En el módulo externo está el de monitoreo, el cual está basado en una arquitectura similar del autor Hernández-Sandoval et al. (2024), con una modificación para su incorporación de diferentes sensores.

3.2.4.2.1 Módulo de Trazabilidad hacia atrás

La trazabilidad hacia atrás consiste en el control de los productos e insumos recibidos, donde su registro resulta fundamental para monitorear el flujo de los materiales empleados en la producción. Este módulo facilita el rastreo del origen de los insumos y herramientas agrícolas utilizados en el cultivo, elementos clave para garantizar la producción de Stevia. Este proceso incluye dos etapas principales: el registro de entrada de insumos y la creación de bitácoras para su documentación.

3.2.4.2.2 Módulo de Trazabilidad Interna

La trazabilidad interna consiste en el seguimiento de los productos obtenidos, tomando en cuenta todos los procedimientos y circunstancias que incidieron en su producción, siempre bajo los parámetros de calidad e inocuidad. La incorporación de este módulo posibilita vincular los lotes producidos con los requerimientos establecidos en cada etapa del proceso productivo, permitiendo documentar las actividades realizadas, el manejo aplicado, los equipos utilizados, las condiciones ambientales y los insumos más importantes

empleados en el cultivo de Stevia Morita II. Este componente abarca las principales etapas productivas: localización de parcelas e invernaderos, acondicionamiento del suelo, siembra, manejo fitosanitario (control de plagas y enfermedades), nutrición vegetal y recolección final.

3.2.4.2.3 Módulo de Monitoreo

El monitoreo se define como el proceso de supervisión, observación y recopilación de información sobre un sistema, proceso o actividad específica. Este módulo facilita el monitoreo preciso de las condiciones de la Stevia a lo largo de su ciclo productivo, proporcionando datos detallados sobre el estado del cultivo en cada fase. El monitoreo está conformado por el registro en la plataforma de los nodos de los sensores, a los cuales se les asigna un identificador con el que les permitirá dar acceso para el registro de datos en el servidor, así como su vinculación con los terrenos e invernaderos donde serán instalados.

3.2.4.3 Diagrama de Caso de Uso

Los diagramas de caso de uso son herramientas fundamentales que permiten representar gráficamente las interacciones entre los actores y las funcionalidades clave del sistema. En la Figura 4, se muestra una vista general de las funcionalidades principales del sistema y su relación con los actores. El agricultor tiene acceso al módulo de trazabilidad interna, en la cual registrará las actividades realizadas a los cultivos y esquejes, así como el reporte de plagas y cosecha del cultivo. El productor tendrá acceso tanto a el módulo de trazabilidad hacia atrás en el cual registrará a los proveedores como los insumos que serán utilizados en el cultivo, también tendrá acceso al módulo de trazabilidad interna para realizar las mismas actividades que el agricultor, pero con la posibilidad de generar los informes de los cultivos, esquejes, terrenos, invernaderos e

insumos. Finalmente, el administrador tendrá acceso a ambos módulos de trazabilidad, así como al módulo de monitoreo, donde podrá dar de alta los sensores, vincularlos con los terrenos e invernaderos y, en caso necesario, darlos de baja. También estará a cargo de administrar el acceso de los usuarios del sistema, así como el dar de alta nuevos usuarios o modificarlos.

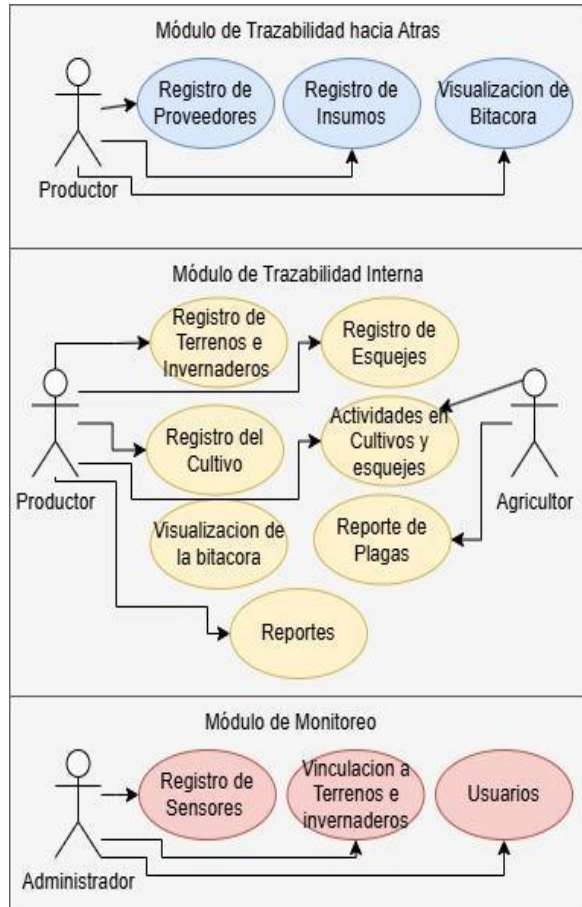


Figura 4. Diagrama de Caso de Uso.
Elaboración: Propia.

3.2.4.4 Codificación del Sistema

Durante la etapa de desarrollo, se ejecutó la implementación técnica del sistema web basado en los diseños establecidos en la fase de análisis previa. Los elementos definidos previamente, incluyendo tanto los requerimientos funcionales como los no funcionales, el modelo de datos, las estructuras de clases, los diagramas de

actividades y los componentes arquitectónicos fueron transformados en código operativo. Este proceso incluyó de manera paralela la construcción de la base de datos relacional y el desarrollo de las interfaces de usuario. Para el módulo de trazabilidad hacia atrás, se implementan las interfaces requeridas para gestionar el registro de proveedores, cuya estructura se visualiza en la Figura 5.

El formulario 'Registro de Proveedores' contiene los siguientes campos:

- Nombre del Proveedor:
- RFC:
- Teléfono:
- Correo Electrónico:
- Dirección:
- Ciudad:
- Estado:
- Código Postal:
- Descripción del Proveedor:

Un botón azul 'Registrar Proveedor' está ubicado en la parte inferior derecha del formulario.

Figura 5. Formulario de registro de proveedor.
Elaboración: Propia.

También se desarrollaron las interfaces necesarias para el registro de los insumos agrícolas que serán utilizados en el proceso de producción (Figura 6). En el campo de Categoría, se especificará qué tipo de insumo se está registrando, estableciendo categorías como nutrientes: donde se ingresaron los fertilizantes, químicos foliares, entre otros. Se incluye la categoría de Pesticidas, donde se registran cualquier químico el cual pueda llegar a dañar o quemar la planta si no se aplica con cuidado, además de que pueda llegar a afectar tanto a la flora o fauna que

rodee el cultivo.

Elaboración: Propia.

Figura 6. Formulario de registro de insumo.

El sistema de registro de insumos permite la creación automática de bitácoras documentando cada entrada de materiales (Figura 7), cumpliendo así con los requerimientos fundamentales de la trazabilidad retrospectiva.

Regresar

Ciclo: 2024 Cultivo: Stevia

Fecha	Proveedor	Insumo	Precauciones	Presentación	Lote
2024-12-10	AgroFertil S.A.	Fertilizante Orgánico BioStevia	Usar guantes y mascarilla durante la aplicación.	20 kg	STV-2024-01
2024-12-08	GreenCrop Solutions	Plaguicida EcoGuard	Evitar el contacto con ojos y piel; aplicar en horas frescas.	1 L	PG-2024-05
2024-12-06	BioFarms Inc.	Insecticida Natural NeemGuard	Evitar el uso en días lluviosos; mantener lejos de alimentos.	.5 l	NG-2024-12
2024-12-05	AgroGreen Ltd.	Estimulante de Crecimiento SteviaBoost	Diluir en agua antes de aplicar; almacenar en lugar fresco.	5 L	SB-2024-07

Figura 7. Bitácora de registro de ingreso de insumos.

Elaboración: Propia.

En la fase de desarrollo del módulo de trazabilidad interna, se implementan las interfaces gráficas y su lógica asociada para gestionar el registro de parcelas agrícolas e infraestructuras de cultivo (invernaderos y terrenos), la vinculación con los esquejes y éstos hacia el cultivo final, además de la aplicación de actividades, tales como riego, aplicación de insumos, reporte de plagas, reporte de pérdida de plantas, así como su integración de nuevas plantas, como la

cosecha o pérdida total.

Los registros de terrenos e invernaderos (comparten la misma estructura del formulario), como se puede observar en la Figura 8, consisten en ingresar el nombre del terreno que lo identifique, su dimensión en metros cuadrados, su dirección y Estado donde están ubicados. Se maneja el parámetro de latitud y longitud para su ubicación precisa, el cual se puede rellenar

automáticamente al seleccionar la ubicación desde el mapa que aparece abajo.

Figura 8. Formulario de Terreno.
Elaboración: Propia.

La Figura 9 muestra el registro sistemático de todas las actividades y prácticas agronómicas implementadas durante la fase de preparación previa al cultivo. Esta documentación resulta fundamental, pues en escenarios críticos, una preparación inadecuada del terreno que no cumpla con las Buenas Prácticas Agrícolas (BPAs) podría generar riesgos de contaminación que comprometería la calidad del producto final.

Figura 9. Formulario de Actividad en Terreno.
Elaboración: Propia.

Una vez registrado los terrenos e invernaderos, se puede comenzar con el registro de esquejes, los cuales cuando crezcan serán replantados para el cultivo de Stevia. Como se puede observar en la Figura 10, se encuentra el registro de un esqueje, en el cual al presionar los diferentes botones que lo componen se pueden registrar las actividades en los esquejes, siendo más simple e intuitivo. Se muestra la información más relevante para el agricultor, como cuándo se inició el registro, los días que lleva creciendo, el tiempo de la aplicación de insumos o riego, así como a qué invernadero está vinculado, sus últimos datos obtenidos por los sensores, como el registro de una plaga en dicho esqueje.



Figura 10. Registro de Esqueje.
Elaboración: Propia.

De estos registros de esquejes se puede visualizar los últimos datos registrados por los sensores, como se puede visualizar en la Figura 11, se muestra la gráfica que emerge al presionar el botón de datos de un esqueje.

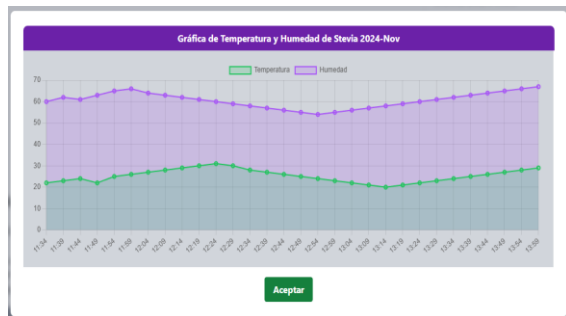


Figura 11. Visualización de datos censados.
Elaboración: Propia.

De la misma manera como se manejan los

Bitacora de Esqueje

#	Esqueje	Usuario	Actividad	Cantidad	Fecha
1	Stevia 2024-Nov	Miguel Vejar	Regar	0	2024-11-28 17:42:19
2	Stevia 2024-Nov	Miguel Vejar	Agregar	20	2024-11-28 18:04:19
3	Stevia 2024-Nov	Miguel Vejar	Perder	11	2024-11-28 18:09:04
4	Stevia 2024-Nov	Miguel Vejar	Regar	0	2024-11-29 22:50:46
5	Stevia 2024-Nov	Miguel Vejar	Agregar	20	2024-11-29 22:51:55

Figura 13. Bitácora de Actividades en Esqueje.
Elaboración: Propia

registros de los esquejes se manejan los registros de cultivos, visualizándose en la Figura 12, en la cual se presenta el registro de Cultivo. Se comparten las actividades a realizar, añadiendo una extra, siendo el registro de grados brix, con el cual el agricultor comprobará si es tiempo de cosechar la Stevia.

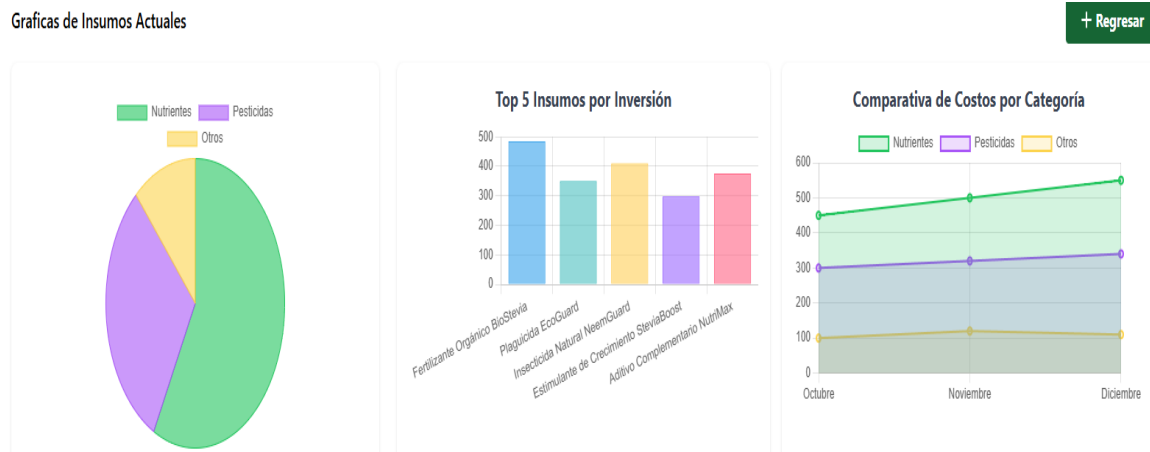


Figura 12. Registro de Cultivo.
Elaboración: Propia.

A partir de los datos generados de las actividades, se genera una bitácora en la cual el productor puede verificar el registro de actividades realizadas en un cultivo o esqueje, permitiendo su análisis para la toma de decisiones. Esto se puede observar en la Figura 13, siendo un ejemplo con un registro de esqueje, pero también aplicable para los cultivos.

Uno de los beneficios de la implementación de sistema propuesto, es la presentación de la información, en este caso se muestra en la Figura 14, una visualización de los costos de insumos registrados, con los cuales el

productor podrá analizar con una mayor facilidad e ir visualizando de una mejor manera la información de los insumos que van utilizando.



Por parte del módulo de monitoreo, el sistema está adaptado para el registro de 6 variables, siendo la temperatura, humedad del suelo, humedad relativa y NPK del suelo, utilizando los sensores previamente mencionados en la sección 2, se crearon dos módulos: Padre e Hijo. El módulo Padre conformado solo con la tarjeta ESP32 con LoRaWAN el cual es el encargado de solicitar a los nodos Hijos que le envíen sus datos censados, para posteriormente enviarlos al servidor. Se cuenta con un filtrado por medio de IP y nombres de los sensores hijos para evitar problemas de registros no deseados. Los módulos Hijo, están equipados con la ESP32 con LoRaWAN y los sensores requeridos para monitorear en la sección que se requiera. Estos módulos se pueden visualizar en la Figura 15.



Figura 15. Prototipo de Nodos Padre e Hijo.
Elaboración: Propia.

La estructura del módulo de monitoreo está representada en la Figura 16, donde el proceso empieza con el Nodo Padre enviando una notificación a los Nodos Hijos que estén cerca para que estos realicen una toma de datos de los sensores del terreno o invernadero donde están colocados, una vez recolectados los datos, los Nodos Hijos mandan la información al Nodo Padre, donde comprueba si dicho Nodo Hijo está registrado para aceptar sus datos, al aceptar la

información procede a enviarla a través de una conexión Wifi hacia el servidor, donde comprobará las credenciales y si cumple registrará los datos en sus respectivos terrenos o invernaderos vinculados.

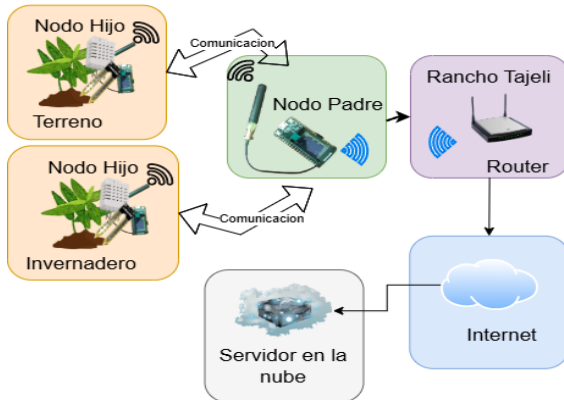


Figura 16. Estructura del Módulo de Monitoreo.
Elaboración: Propia.

En la Figura 17 se muestra un fragmento del código del Nodo Padre, en este se realiza el envío de las peticiones a los Nodos Hijos que este tendrá vinculados, se le da un total de 3 oportunidades a cada nodo para solicitar los datos, cuando este recibe una respuesta, extrae los datos y les aplica un formato para posteriormente transformarlos en un formato JSON para su envío a través del internet hacia la dirección API del servidor. Una vez realizado esto pasa con el siguiente nodo. Al final del proceso se cuenta con un contador de 3 minutos para volver a repetir el código.

```
void loop() {
  activeNodes = 0;
  String allSensorData = "";

  // Solicitar datos a cada nodo hijo
  for (byte i = 0; i < sizeof(childNodes); i++) {
    byte nodeAddress = childNodes[i];
    bool dataReceived = false;

    // Intentar 3 veces si es necesario
    for (byte attempt = 0; attempt < 3; attempt++) {
      debugPrint("Solicitando datos nodo " + String(nodeAddress, HEX), true);
      sendLoRaCommand(nodeAddress, DATA_REQUEST);

      if (receiveLoRaData(2000, nodeAddress)) {
        // Procesar datos del sensor (formato: "23.5,45.2,512")
        String sensorData = jsonResponse["data"].as<String>();

        // Crear objeto JSON para este nodo
        DynamicJsonDocument nodeData(256);
        nodeData["node"] = String(nodeAddress, HEX);

        // Parsear datos del sensor
        int firstComma = sensorData.indexOf(',');
        int secondComma = sensorData.indexOf(',', firstComma + 1);

        nodeData["temp"] = sensorData.substring(0, firstComma);
        nodeData["hum"] = sensorData.substring(firstComma + 1, secondComma);
        nodeData["soil"] = sensorData.substring(secondComma + 1);
        nodeData["rssi"] = LoRa.packetRssi();

        // Agregar a los datos totales
        if (allSensorData != "") allSensorData += ",";
        String nodeJson;
        serializeJson(nodeData, nodeJson);
        allSensorData += nodeJson;

        activeNodes++;
        dataReceived = true;
        break;
      }
    }
  }
}
```

Figura 17. Fragmento del código del Nodo Padre.
Elaboración: Propia.

Mientras que en el servidor se cuenta con una interfaz, que se puede visualizar en la Figura 18. En la que se realiza el registro de los módulos padre e hijo, así como su vinculación con los terrenos o invernaderos

donde estarán tomando los datos. Desde aquí se puede deshabilitar la entrada de datos enviada por los nodos tanto padres como hijos.

Sensores Actuales

Modulos Padre

ID	Nombre	Ubicación	Acciones	
1	P-01-24	Pozo de Agua	Modificar	Deshabilitar
2	P-02-24	Invernadero Blanco	Modificar	Habilitar

Modulos Hijo

ID	Nombre	Ubicación	Sensor Padre	Acciones	
1	H-01-24	Puerta blanca	P-01-24	Modificar	Deshabilitar
2	H-02-24	Invernadero	P-02-24	Modificar	Habilitar
3	H-03-24	Arbol Mayor	P-01-24	Modificar	Deshabilitar

Figura 18. Registros de Sensores.
Elaboración: Propia.

3.2.4.5 Pruebas del Sistema de Información

Las pruebas realizadas al sistema consistieron en pruebas de caja negra utilizando datos de entrada generados aleatoriamente, así como la introducción de diferentes tipos y tamaños de datos dentro de los parámetros esperados por el sistema. Pruebas de Cobertura en la cual el código se ejecutó de manera en la que cada acción sea ejecutada. Pruebas de unidad en la cual se llevaron a cabo a medidas del desarrollo del código. Pruebas de seguridad, donde se verificó el acceso al sistema y la información a accesos no autorizados. Análisis estático y dinámico, en la cual se analizó el código para resaltar cualquier defecto, así como la salida de información en cada petición al servidor.

3.2.5 Evaluación con el cliente

Para evaluar y validar la funcionalidad del

sistema, fue necesario el realizar su presentación ante el cliente, este proceso de pruebas permitió identificar oportunidades de optimización para el sistema, logrando tanto mejoras en su funcionalidad como en el manejo de datos. Los parámetros evaluados del sistema consisten en preguntas enfocadas en averiguar si es fácil de usar, maneja colores o figuras que hacen que sea fácil la navegación y registra todo lo que el productor registra manualmente, esto antes de la implementación del sistema. En la Figura 19 se puede observar una encuesta aplicada al productor y jefe del Rancho Tajeli donde evalúa el módulo de Cultivos, donde dando la máxima calificación a cada pregunta, solo presentando problemas relativos al movimiento del ratón a la hora de realizar actividades de comprensión del sistema, siendo un ejemplo el registrar un nuevo cultivo o el reporte de una plaga en dicho cultivo.



Maestría en Sistemas Computacionales



Cuestionario para evaluar el Módulo de Cultivos del Sistema Web "SisTra"

Conteste las preguntas en el carril correspondiente de respuesta y califique del 1 al 5 (1 = No cumple, 5 = Supera expectativas) en el apartado de calificación.

Aspecto	Pregunta	Respuesta	Calificación
Funcionalidad	¿El módulo le permite registrar el cultivo que siembra?		5
	¿El sistema le avisa cuando debe regar sus cultivos?		5
	¿Puede registrar fácilmente sus cultivos en el sistema?		5
	¿Puede registrar fácilmente las actividades en los cultivos?		5
	¿Puede registrar las mismas actividades que realiza?		5
Usabilidad	¿Puede usar el sistema sin ayuda de alguien más?		5
	¿Los botones o menús son fáciles de entender?		5
	¿No tarda mucho en encontrar la información que necesita?		5
Rendimiento	¿El sistema carga la vista rapido?		5

En el siguiente cuadro puede escribir un comentario sobre el módulo en general (Opcional):

Comentario:	<i>Es un modulo muy completo y util</i>
-------------	---

Actividad Cronometrada.

Se realizarán ciertas actividades y se cronometrarán para poder evaluar la eficiencia del sistema o su fácil usabilidad.

Actividad	Tiempo	Comentario
Registre un nuevo Cultivo a partir de un lote de Esquejes	2 min.	Utilizo 3 dedos para mouse
Reporte una plaga en un Cultivo	40s	Se le perdió el mouse

Figura 19. Evaluación de un módulo del sistema implementado.

Elaboración: Propia.

4. Discusión de los resultados

La implementación de un sistema de trazabilidad y monitoreo busca mejorar sustancialmente la calidad del producto, garantizar la seguridad alimentaria y fortalecer el control de inocuidad, entre otros beneficios clave, así como la visualización del estado del cultivo para su análisis y toma de decisiones con una mayor rapidez. La implementación del sistema web de trazabilidad hacia atrás e interna con

monitoreo para la producción de Stevia permitió desarrollar un mecanismo para analizar el estado del cultivo, identificar peligros potenciales y detectar puntos críticos durante el ciclo productivo. Esto facilita la definición de límites clave, la aplicación de acciones correctivas y la implementación de procedimientos de monitoreo específicos para cada punto identificado. Como beneficio clave, el sistema ayuda a los productores en el control de riesgos, asegurando al

consumidor final un producto inocuo y de calidad. Proporciona los registros de trazabilidad hacia atrás e interna durante el ciclo de vida de cultivo de Stevia, lo que nos permite crear una línea de tiempo, con las acciones realizadas hacia el cultivo, esqueeje como los insumos aplicados, plagas detectadas, y el estado de la condición de las variables del entorno con las que creció la Stevia.

Se alinea con la NOM-251-SSA1-2009, en lo que respecta a la producción primaria, ya que contribuye a garantizar la higiene y reducir los riesgos microbiológicos, químicos y físicos en la etapa agrícola mediante el registro y monitoreo de prácticas como el uso adecuado del suelo, riego y el manejo de agroquímicos. Además, permite documentar medidas de prevención y control que aseguran condiciones sanitarias adecuadas durante la producción, en cumplimiento con los principios de esta norma. También cumple con la NOM-059-FITO-2007, ya que facilita el registro detallado de actividades relacionadas con la aplicación de plaguicidas y fertilizantes, así como la documentación necesaria para la certificación del manual BPA requeridas por SENASICA. Cubriendo los apartados tales como la selección y preparación del terreno ya que se registra el historial de cultivos, esquejes y riesgos de contaminación. Como también el manejo de fertilizantes y plaguicidas ya que se incluyen bitácoras de aplicación, dosis y precauciones. También con la sanidad del campo y exclusión de animales ya que se reportan actividades de control de limpieza, basura y monitoreo de fauna (como las plagas).

Desarrollar e implementar el sistema de esta investigación, orientado a gestionar la trazabilidad hacia atrás con monitoreo para la producción de Stevia en el estado de Colima, representa una herramienta clave para reconocer, evaluar y reducir los factores de riesgo que podrían afectar dicha producción.

A diferencia de otras propuestas previamente desarrolladas, siendo la de Díaz-Velasco et al. (2020), que depende en gran medida del registro manual, el presente sistema incorpora un módulo de monitoreo automatizado con sensores de bajo costo, lo que mejora la precisión y eficiencia en la recolección de datos.

Asimismo, frente a propuestas más complejas como la de los autores Jin, Zheng, y Liu (2024), está basada en arquitectura blockchain y códigos de trazabilidad multinivel, este sistema ofrece una solución más accesible y adaptable a contextos agrícolas locales, sin requerir infraestructuras especializadas. Incluso comparado con modelos de monitoreo ambiental como el del autor Hernández-Sandoval et al. (2024), este sistema mantiene un equilibrio entre simplicidad técnica, exactitud y utilidad práctica al integrarse con una plataforma de trazabilidad desarrollada sobre Laravel.

Nuestro sistema se destaca frente al de los autores Díaz-Velasco et al. (2020), Jin, Zheng, y Liu (2024) y Hernández-Sandoval et al. (2024) por su combinación de automatización, bajo costo y exactitud adecuada. El uso de sensores económicos con conectividad directa al backend es suficiente para documentar condiciones ambientales relevantes (pH, humedad, temperatura) sin depender de intermediarios humanos ni de arquitecturas complejas como blockchain. Esto optimiza la precisión, minimiza errores, mejora la eficiencia operativa y permite una implementación escalable y sostenible en entornos agrícolas reales.

Gracias a estas características, el sistema permite automatizar el registro de eventos críticos y, más importante aún, facilitar la presentación organizada de la información generada durante la producción. Todo ello se estructura conforme a los lineamientos establecidos por el Manual BPA, las normas

NOM-251-SSA1-2009 y NOM-059-FITO-2007, así como la guía de evaluación de SRRC, con la finalidad de generar un expediente técnico confiable que facilite la certificación o el reconocimiento de la inocuidad en la unidad productiva.

La evidencia obtenida a partir de los productores sobre el sistema sugiere que la adquisición de información sobre la producción de Stevia beneficia con indicadores que puedan apoyar en la toma de

decisiones, esto gracias a el seguimiento por la trazabilidad y monitoreo, ya que una de las problemáticas encontradas fue la dificultad de documentar todas las actividades realizadas en la producción de Stevia.

En la Tabla 1, se puede ver una recopilación de las características del sistema realizado a comparación de los presentados por los autores Díaz-Velasco et al. (2020), Jin, Zheng, y Liu (2024) y Hernández-Sandoval et al. (2024)

Tabla 1. Comparación sobre el sistema desarrollado y los trabajos relacionados.

Criterio / Autor	Sistema desarrollado	Díaz-Velasco et al. (2020)	Jin, Zheng, y Liu (2024)	Hernández-Sandoval et al. (2024)
Tipo de trazabilidad	Hacia atrás e Interna	Hacia atrás e Interna	Multinivel (cadena de semestre)	Ninguna
Monitoreo Ambiental	Sí, con sensores de Temperatura, pH, humedad aire y tierra, como la adaptación a NPK	No	No	Sí, limitado a cultivos acuapónicos
Costo e infraestructura	Bajo costo, sin requerir arquitectura compleja	Bajo costo	Alto costo y requiere blockchain	Bajo costo, pero con limitaciones de escala
Adaptabilidad a cultivos agrícolas	Alta, diseñado para Stevia en condiciones reales	Adaptado a limón, limitado a estructura estática	General, pero no adaptado a cultivos específicos	Enfocado en acuaponía, no extensible fácilmente
Tecnologías utilizadas	Laravel, ESP32, sensores NPK, LoRaWAN, MySQL, Tailwind	AngularJS, PHP, MySQL	Blockchain, RSA, trazabilidad por código	ESP32, Google Sheets API, sensores DS18B20 y Gravity pH
Bitácoras e informes integrados	Sí, generación automática y visualización gráfica	Sí, pero limitados	No se especifica	No se incluyen bitácoras productivas
Valor añadido	Solución práctica y completa para certificación e inocuidad	Mejora la documentación básica	Seguridad y antifraude a nivel cadena de suministro	Apoya calidad del agua, pero sin trazabilidad ni escalabilidad

Elaboración: Propia.

5. Conclusiones

El desarrollo e implementación de este sistema de trazabilidad con capacidades de monitoreo para la producción de Stevia en Colima constituye una herramienta fundamental que permite identificar, evaluar y mitigar los factores de riesgo presentes en el proceso productivo. La solución tecnológica facilita el registro de datos y agiliza la sistematización de la información generada durante la producción, creando un mecanismo digital que cumple estrictamente con: los estándares del manual de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), las normativas NOM-251-SSA1-2009 y NOM-059-FITO-2007, además de los criterios de la guía SRRC. Esta implementación facilita la generación del expediente técnico requerido para optar por certificaciones de inocuidad reconocidas.

Después de desarrollar este sistema, se genera una opción de solución documentada para los productores que requieren identificar las actividades del proceso productivo de Stevia y lo necesario para procesos de certificación.

Finalmente, el desarrollo de este sistema ofrece beneficios clave mediante la trazabilidad del proceso productivo:

- **Optimización de compras de insumos:** La trazabilidad retrospectiva permite comparar el rendimiento obtenido con diferentes insumos y monitorear su disponibilidad, facilitando decisiones de compra más informadas.
- **Cumplimiento normativo:** Documenta automáticamente la aplicación de buenas prácticas y estándares nacionales, cumpliendo con los requisitos para distribución y ampliando oportunidades comerciales.
- **Monitorización integral:** Proporciona una visión clara del

proceso productivo, mostrando tanto las actividades completadas como las pendientes en tiempo real.

6. Agradecimientos

Un agradecimiento especial al SECIHTI por sostener el Programa Nacional de Posgrado de Calidad y fomentar la formación académica mediante su programa de becas para estudios de maestría y doctorado. De igual forma, al Tecnológico Nacional de México, campus Colima, por su compromiso en la preparación de profesionales capaces de ofrecer soluciones innovadoras a los sectores productivo, gubernamental y de servicios en la región. Finalmente, nuestro reconocimiento a Rancho Tajeli por su invaluable colaboración y participación activa en el desarrollo del sistema presentado.

7. Referencias bibliográficas

- Ceballos Montes, J. E., & Villalba Rodríguez, A. M. (2018). *La stevia (Stevia rebaudiana Bertoni): Una alternativa de cultivo para pequeños productores en Colombia*. Revista Universidad y Empresa, 20(34), 79–100. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/944/94469878004/94469878004.pdf>
- Chonata Orozco, L. E. (2020). *La Stevia (Rebaudiana) como edulcorante acalórico: Propuesta de su adición a galletas* (Trabajo Fin de Grado, Universitat Politècnica de València). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/150599>
- Díaz-Velasco, F., Figueroa-Millán, P. E., Chávez-Valdez, R. E., Farías-Mendoza, N., & Benavides-Delgado, J. R. (2020). *Sistema de información Web para la trazabilidad hacia atrás e interna de la producción del limón mexicano (Citrus aurantifolia)*. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica, Año 8, No. 46, 28-33. Recuperado de <https://riiit.com.mx/apps/site/idem.php?mod>

[ule=Catalog&action=ViewItem&id=6216&item_id=85381.](#)

Gobierno de México. (2024). *Sustitutos del azúcar*. Recuperado el 25 de junio de 2025, de <https://www.gob.mx/issste/articulos/sustitutos-del-azucar>

Hernández-Sandoval, P., Castillo-Meza, H., Cruz-Urrea, L. O., Guzmán-Dicochea, F. R., Mora-Sánchez, J. R., Bojórquez-Sauceda, J., Romero-Luque, A. D., Váldez-Martínez, D., & Guzmán-Arredondo, C. E. (2024). *Sistema de monitoreo automatizado de variables ambientales en un cultivo acuapónico de tilapia y lechuga*. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(4), 10576-10587. Recuperado de https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13196.

Jin, W., Zheng, M., & Liu, P. (2024). *Design of Multi-Chain Traceability Model for Pepper Products Based on Traceability Code*. *Applied Sciences*, 14(9), 3809. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/app14093809>.

Medina, J. A. (2014). "Producción de estevia en México II". *El Economista*. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/opinion/Produccion-de-estevia-en-Mexico-II-20141120-0009.html>.

Mordor Intelligence. (2024). *Stevia Market – Growth, trends, and forecasts (2023–2028)*. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/stevia-market>

Rivera Villaseñor, C. (2023). *Profeco: Revelan cuál es el sustituto de azúcar más sano*. *El Informador*. Recuperado de <https://www.informador.mx/mexico/Profeco-Revelan-cual-es-el-sustituto-de-azucar-mas-sano-20230617-0057.html>

Roche, J. (2024). *¿Qué es el desarrollo en*

Espiral? Deloitte Spain. Recuperado de <https://www.deloitte.com/es/es/services/consulting/blogs/todo-tecnologia/que-es-el-desarrollo-en-espiral.html>

Segura-Campos, M., Barbosa-Martín, E., Matus-Basto, A., Cabrera-Amaro, D., Murguía-Olmedo, M., Moguel-Ordoñez, Y., & Betancur-Ancona, D. (2014). *Comparison of Chemical and Functional Properties of Stevia rebaudiana (Bertoni) Varieties Cultivated in Mexican Southeast*. *American Journal of Plant Sciences*, 5(3), 286-293. Recuperado de [10.4236/ajps.2014.53039](https://doi.org/10.4236/ajps.2014.53039).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Cierre agrícola*. Recuperado de https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2023). *Sistemas de reducción de riesgos de contaminación*. Recuperado de <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/sistemas-de-reduccion-de-riesgos-de-contaminacion>

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2022). *La trazabilidad es un valor agregado para las cadenas productivas y atractivo para el mercado exterior*. Recuperado de <https://www.gob.mx/senasica/documentos/la-trazabilidad-es-un-valor-agregado-para-las-cadenas-productivas-y-atractivo-para-el-mercado-exterior?state=published>

Vejar-Cortés, A. -P., García-Díaz, N., Soriano-Equigua, L., Ruiz-Tadeo, A. -C., & Álvarez-Flores, J. -L. (2023). *Determination of Crop Soil Quality for Stevia rebaudiana Bertoni Morita II Using a Fuzzy Logic Model and a Wireless Sensor Network*. *Applied Sciences*, 13(17), 9507. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/app13179507>

Vejar-Cortés, A., García-Díaz, N., Torres-Martínez, C., García-Virgen, J., Ruiz-Tadeo, A., & Lua-Madrigal, O. (2022). *Sistema de monitoreo de calidad de suelo para cultivo de Stevia rebaudiana Morita II*. Revista Electro,

44, 28-33. Chihuahua, Chih., México. Recuperado de https://itchiihuahua.mx/revista_electro/2022/SUB-3668.pdf