Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Sistema de información Web para la trazabilidad hacia atrás e interna de la producción del limón mexicano *(Citrus aurantifolia (Christm) Swingle)*

Web information system for backward and internal traceability of mexican lemon *(Citrus aurantifolia (Christm) Swingle)* production

Díaz-Velasco, F., Figueroa-Millán, P.E., Chávez-Valdez, R.E., Farías-Mendoza, N., Benavides-Delgado, J.R.

División de Estudios de Posgrado e Investigación; Tecnológico Nacional de México I.T. de Colima; 28979 Villa de Álvarez, Colima.
ref_zaid@hotmail.com; patricia.figueroa@colima.tecnm.mx; echavez@colima.tecnm.mx

Innovación tecnológica: Herramienta web que facilita la trazabilidad hacia atrás e interna de la producción de limón permitiendo a los productores acceder a certificaciones.

Área de aplicación industrial: Ciencias de la computación.

Enviado: 15 enero 2020.
Aceptado: 10 junio 2020.

Abstract

Colima in 2017 produced 280,105 tonnes of Mexican lemon, contributing 16.6 % of the country's total production, with Tecoman being the main producing municipality with 63 % of the cultivation area and most of the industrial and packaging infrastructure. However, there is no information system that guarantees the traceability of agricultural products harvested in the region, such as Mexican lemon. This research, proposes to grant producers a tool in a web environment for the generation of a historical record of the activities involved in each of the production processes, allowing traceability. For the development of this study, Good Agricultural Practices (BPAs) guidelines, free-use tools such as PHP 7.1, MySQL and AngularJS were used for back-end and front-end respectively, using the cascade development methodology. As a result, it was possible to obtain a system with an innovative traceability approach attached to national and international guidelines, allowing producers to meet traceability requirements to obtain certifications, and thus, increase the production quality of the lemon from the region.

Keywords: Agricultural production, good agricultural practices, Mexican lemon, traceability, web information system.

Resumen

Colima en el 2017 produjo 280,105 toneladas de limón mexicano, aportando el 16.6 % de la producción total del país, siendo Tecomán el principal municipio productor con el 63 % de la superficie de cultivo y la mayor parte de la infraestructura industrial y de empaque. Sin embargo, no se cuenta con un sistema de información que permita garantizar la trazabilidad de los productos agrícolas cosechados en la región, como es el caso del limón mexicano. Esta investigación, propone otorgar a los productores una herramienta en ambiente web para la generación de un registro histórico de las actividades involucradas en cada uno de los procesos de producción, permitiendo su rastreabilidad. Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron lineamientos de Buenas Prácticas Agrícolas (BPAs), herramientas de uso libre como PHP 7.1, MySQL y AngularJS para el back-end y front-end respectivamente, se implementó la metodología de desarrollo en cascada. Como resultado, se logró obtener un sistema con un enfoque innovador de trazabilidad apegado a los lineamientos nacionales e internacionales, permitiendo que los productores cumplan los requisitos de trazabilidad para la obtención de certificaciones, y así, incrementar la calidad de la producción del limón de la región.

Palabras clave: Buenas prácticas agrícolas, limón mexicano, producción agrícola, sistema de información web, trazabilidad.

1. Introducción

El limón mexicano representa el 1.5 % del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola nacional, y su producción abastece el 100 % del consumo nacional, permitiendo que los productores de limón concentren sus esfuerzos en el mercado internacional, ya que México se ubica en el segundo lugar como exportador a nivel mundial con el 12.29 % del valor de las exportaciones mundiales del limón. En el periodo 2003-2016 las exportaciones aumentaron más del 115 %, siendo Estados Unidos el principal objetivo de exportación; por lo tanto, se puede afirmar que existen estrategias o políticas públicas para incrementar la rentabilidad de la producción del limón, mostrando resultados satisfactorios a nivel nacional e internacional [1]. Un objetivo establecido en la Planeación Agrícola Nacional (PAN), sobre la producción de limón, es consolidar a México como una potencia exportadora de limón a través de un impulso logístico y un esquema óptimo en materia fitosanitaria para llegar a nuevos mercados en países miembros de la Unión Europea y Asia-Pacífico.

Para lograr colocar a México como potencia exportadora, es importante establecer medidas de prevención de contaminación del producto agrícola, las cuales constituyen la acción básica central para reducir los riesgos de contaminación. Esta reducción de riesgos se logra a través de la aplicación de Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC), los cuales permiten actuar sobre el origen y/o el medio de contaminación específico para aplicar acciones puntuales diseñadas a las condiciones productivas. Los SRRC tienen como propósito minimizar el grado de exposición de los productos de origen agrícola con sustancias y superficies que pudieran contaminarlo y con ello reducir el riesgo de contaminación [2].

Para contener satisfactoriamente una posible amenaza a la salud pública por contaminación de productos de origen agrícola es indispensable contar con un sistema de

trazabilidad, el cual se define como la totalidad de los datos y operaciones que permiten mantener la información deseada de un producto y sus componentes a través de toda su cadena de producción y utilización, o de parte de ella [3]; por lo tanto, al identificar de forma precisa y oportuna un lote, se podrán tomar las medidas adecuadas para su control y evitar el riesgo de contaminación.

Por otro lado, la trazabilidad se define como la capacidad para seguir el desplazamiento de un alimento a través de una o varias etapas específicas de su producción, transformación y distribución [4]; por lo tanto, esta forma parte de un conjunto de módulos de ejecución, los cuales son considerados de aplicación obligatoria durante la producción primaria de los productos de origen agrícola, que pretendan obtener reconocimiento y/o certificación. Estos módulos son: 1. Registro de la empresa agrícola. 2. Infraestructura Productiva. 3. Higiene. 4. Manejo de Fauna Doméstica y Silvestre. 5. Capacitación y Desarrollo de Habilidades. 6. Evaluaciones Internas. 7. Validación de Procedimientos. 8. Trazabilidad. [2].

Considerando lo anterior, en este estudio de investigación, se presenta un Sistema de Información Web para la Trazabilidad Hacia Atrás e Interna de la Producción del Limón Mexicano, desarrollado e implementado para el Consejo Estatal de Productores de Limón de Colima (COEPLIM) ubicado en el municipio de Tecomán, en donde la superficie de producción del limón mexicano es de 22,000 hectáreas; en las cuales, en el año 2018 se produjeron aproximadamente 280,000 toneladas del cítrico. Según el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Colima únicamente cuatro de aproximadamente tres mil doscientos productores de limón están certificados; según COEPLIM, el 90 % de los productores no emplean Buenas Prácticas Agrícolas (BPAs), lo que provoca una serie de problemas tanto fitosanitarios como de productividad.

El objetivo específico definido por la PAN, el cual justifica el desarrollo tecnológico de esta investigación, menciona que se recomienda que los productores, empacadores y exportadores inviertan en el mantenimiento y mejoramiento de la sanidad vegetal. Por consiguiente, el desarrollo de una plataforma web para la trazabilidad en la producción del limón contribuirá al cumplimiento de este objetivo.

Para lograr una propuesta que cumpla con las expectativas de un sistema de trazabilidad es necesario analizar primeramente las características que un sistema de trazabilidad debe cumplir acorde con las organizaciones nacionales e internacionales, así como los trabajos relacionados que tengan como objeto de estudio la trazabilidad. Por ejemplo, Beltrán et al., [5] proponen una herramienta informática que ha sido desarrollada para la gestión integral de las explotaciones vitivinícolas. La aplicación contempla la gestión de la trazabilidad desde el viñedo hasta el embotellado y la centralización de los costos de producción. Ésta dispone de un sistema de información geográfica para la gestión y consulta de datos. Para su diseño y desarrollo utilizaron la tecnología de Microsoft .NET, basándose en la arquitectura cliente/servidor. Sus principales funcionalidades son controlar, gestionar y optimizar todas las actividades relacionadas con el quehacer diario en una explotación vitivinícola. La herramienta propuesta no contempla ningún mecanismo para la concentración de la información generada durante el proceso de producción de todos los productores para su uso; por otra parte, se centran más en la administración general y dejan de lado algunos aspectos de la trazabilidad. No se menciona ninguna tecnología implementada como códigos de barras o RFID para la trazabilidad de los

productos, por lo que se puede suponer que no se utilizó ninguna de éstas.

Yu-Chuan et al., [6] exponen la arquitectura de un sistema de trazabilidad de actividades agrícolas, desarrollando una aplicación móvil que registra dichas actividades. La información está codificada en etiquetas bidimensionales de códigos de respuesta rápida (QR). Al escanear las etiquetas de operación adecuadas, los datos de la granja correspondiente se pueden capturar y cargar simultáneamente en el servidor web. La principal deficiencia de la solución presentada es la falta de indicadores clave, información gráfica y presentación de datos para su posterior análisis. El sistema prototipo está implementado en la trazabilidad de la exportación de mango en Taiwán.

Tritham et al., [7] presentan un sistema integrado de trazabilidad y un sistema de información para administrar un estándar local para alimentos en la provincia de Chachoengsao, en donde la información es almacenada en una base de datos central en la nube. Mientras que, Bechini et al., [8] describen un sistema para la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos, el cual hace uso del estándar eXtensible Markup Language (ebXML), lo cual proporciona homogeneidad, escalabilidad e interoperabilidad de los datos, no obstante, el modelo presentado se limita al envío y recepción de información entre negocios. En ambos sistemas, se puede realizar un rastreo de los productos y procesos a lo largo de toda la cadena de suministros; sin embargo, no especifican ningún tipo de presentación de la información, ya sea en reporte o indicadores que permitan realizar un análisis de la información y enriquecer la toma de decisiones.

Considerando lo anterior, el sistema web propuesto en esta investigación sirve de apoyo para la documentación que requiere SENASICA en cuanto a certificación de productores agrícolas, gracias al seguimiento de la trazabilidad en la producción, utilizando como pauta referencial la guía de evaluación de Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC) de SENASICA [9]. Este sistema ha sido contextualizado específicamente para la trazabilidad en la producción de limón mexicano y su objetivo principal es facilitar el cumplimiento de los requerimientos necesarios para la certificación de productores, con la finalidad de que éstos cuenten con una herramienta de apoyo que permita solventar las dificultades para satisfacer los requerimientos de documentación, técnicos y económicos que implica dicho proceso y que además, sirva como un mecanismo que permita controlar y disminuir posibles riesgos o problemas en la producción para garantizar la inocuidad y calidad del producto.

2. Materiales y equipos

La presente innovación tecnológica fue desarrollada en un entorno web mediante AngularJS [10] como framework de JavaScript que utiliza la arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC), HTML5 para el desarrollo front-end, PHP para el back-end y MySQL como sistema gestor de bases de datos relacionales, las herramientas anteriores son de código abierto, lo que permite reducir los costos de desarrollo.

3. Métodos experimentales

3.1. Metodología de la investigación

La metodología utilizada sigue un enfoque mixto, porque combina las técnicas cualitativas y cuantitativas; la primera con un enfoque de campo para garantizar la documentación de todos los procesos

implementados en la producción de limón; la segunda con un enfoque objetivo para definir todos los factores relacionados a la efectividad de un sistema de trazabilidad de productos agrícolas para el consumo en fresco.

Posteriormente, se realizaron entrevistas con agrónomos de COEPLIM para recabar las necesidades y problemas de los productores de limón, seguido de una investigación documental de los procedimientos y manejos en la producción del cítrico, acorde a lo establecido por la Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Además, se analizaron documentos proporcionados por SENASICA: "*Anexo Técnico 1. Requisitos Generales para la Certificación de SRRC*" y "*El Manual de Trazabilidad de productos Hortofrutícolas para consumo en fresco de los Estados Unidos Mexicanos*" [11] para la documentación de los lineamientos y evaluación de un sistema de trazabilidad y sus especificaciones. Todos los reportes generados por el sistema de información están alineados a las especificaciones de SENASICA y acreditados por COEPLIM.

3.2. Metodología de Desarrollo

El sistema se desarrolló siguiendo la metodología tradicional de desarrollo en cascada debido a las características poco cambiantes y requerimientos estables de éste. Además, considerando la naturaleza del problema, se tuvo presente la importancia del análisis de requisitos; por lo cual, se utilizaron los manuales y estándares de trazabilidad nacionales e internacionales como guía en las primeras etapas del análisis, así como el proceso de producción del limón mexicano establecido por el INIFAP [12]. Las etapas de la metodología empleada se describen a continuación.

3.2.1. Requisitos del Sistema de Información

Los requerimientos funcionales del sistema se establecieron a partir de la investigación de campo y documental. Estos requisitos se dividen en tres roles: productor, responsable de inocuidad y COEPLI. Éstos se enfocan en el registro y visualización de toda la información de trazabilidad requerida en [2] y se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Requerimientos Funcionales. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Diseño del Modelo Conceptual del Sistema de Información

El modelo conceptual representa el flujo de la información entre los usuarios y el sistema (ver Figura 2). Los tres tipos de usuarios son: Administrador COEPLIM, productor y responsable de inocuidad. El administrador provee los elementos pertinentes en el proceso de producción de limón, así mismo, es el encargado de administrar el sistema de información. El productor registra la información de sus proveedores y de sus compras, almacena evidencia documental y registra la información de sus unidades productivas. El responsable de inocuidad es el que registra las aplicaciones de insumos, las actividades realizadas y los problemas fitosanitarios encontrados, así como las acciones tomadas para su control. Con la información obtenida de los registros por medio de bitácoras y reportes, se genera un historial completo de cada unidad productiva.

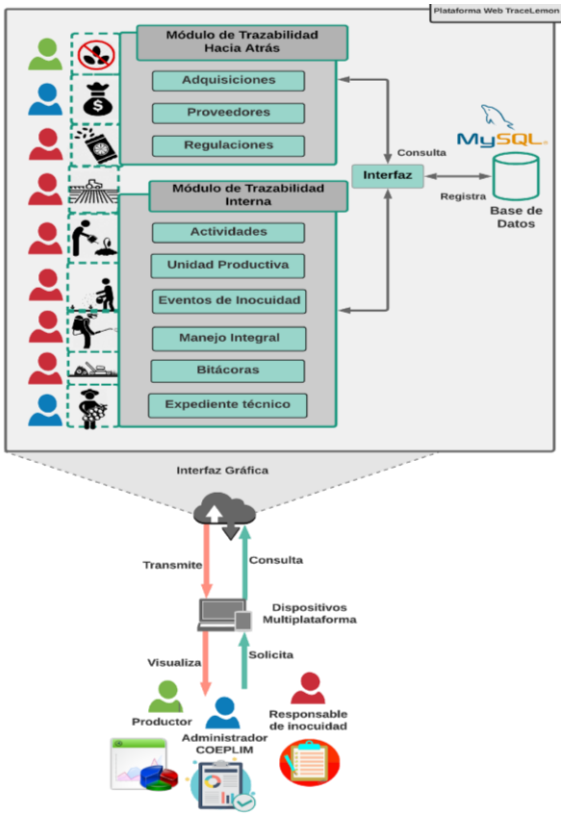


Figura 2. Modelo Conceptual del Sistema de Información. Fuente: Elaboración propia.

Cómo se puede observar en la Figura 2, el Sistema de Información para la trazabilidad se divide en dos módulos: trazabilidad hacia atrás y trazabilidad interna, los cuales están apegados a los requisitos de trazabilidad obligatorios para la obtención de la certificación o reconocimiento SRRC, Buen Uso y Manejo de Plaguicidas (BUMP) o Buenas Prácticas Agrícolas en la Actividad de Cosecha (BPCo) durante la Producción Primaria de Vegetales.

3.2.2.1 Módulo de Trazabilidad hacia atrás

La trazabilidad hacia atrás se refiere a la recepción de productos; por lo tanto, los registros son la clave necesaria para que pueda seguirse el movimiento de los insumos utilizados en el proceso de producción hacia su origen, esto es, desde cualquier punto a su etapa anterior. Si no se dispone de unos buenos registros al momento de recibir productos, la trazabilidad de la cadena de suministros puede quebrantarse. La implementación de este módulo permite identificar el origen de los insumos e instrumentos agrícolas utilizados en el proceso de producción agrícola y que constituye la materia prima sobre el cual se sustenta el proceso de producción agrícola. La trazabilidad hacia atrás incluye las fases para el registro de la entrada de insumos y la generación de bitácoras para la presentación de éstos.

3.2.2.2 Trazabilidad Interna

La trazabilidad interna se considera como el rastreo de los productos generados, considera todos los procesos y condiciones en que fue elaborado y manejado un producto agrícola bajo criterios de inocuidad y calidad. Por lo tanto, la implementación de un módulo de trazabilidad interna permite asociar los lotes de productos generados con los registros emitidos durante cada una de las fases del proceso productivo, identificando las acciones, manejo, instrumentos, condiciones, maquinarias, equipos e insumos más relevantes utilizados en el proceso productivo, en este caso, del limón mexicano. Este módulo contempla las fases que enmarcan la trazabilidad interna, siendo éstas: identificación del terreno, preparación del terreno, plantación, control de fauna doméstica y silvestre, plagas, enfermedades y malezas, fertilización y cosecha.

3.2.3. Codificación del Sistema de Información

A partir del diseño del sistema de información, planteado en la fase de análisis, se procedió en esta fase a la codificación de éste. Es decir, los requisitos funcionales y no funcionales, modelo de datos, clases, actividades y componentes fueron convertidos a código, en conjunto con la creación de la base de datos y la implementación de las interfaces de navegación web.

En cuanto a la codificación del módulo de trazabilidad hacia atrás se desarrollaron las vistas necesarias para registrar a los proveedores e insumos agrícolas utilizados en el proceso de producción agrícola, la cual se muestra en la Figura 3.



Figura 3 Entrada de insumos. Fuente: Elaboración propia.

El registro de los insumos permite generar las bitácoras de ingreso de insumos para su presentación (Figura 4), las cuales son requisito de la trazabilidad hacia atrás.

Bitácora de Registros de Ingreso de Insumos

Ciclo: 2019 - 2020 **Huerta:** Limonera
Código de la UP: 06/004/04 **Cultivo y Variedad:** Limón - Colimex

Fecha	Proveedor	Nombre Comercial	Ingrediente Activo	Presentación	Lote
2019-11-14	RIEGO A.C.	METIL TIOFANATO	TIOCARBAMATO	10 KILOGRAMOS	14
2019-11-14	RIEGO A.C.	TILT	PROPICONAZOL	11 LITROS	14
2020-03-19	RIEGO A.C.	SPINTOR	SPINOSAD	10 LITROS	16
2019-06-19	AGROLIMON A.C.	BANKIT GOLD	AZOXYSTROBIN	100 MILILITROS	8
2019-06-29	AGROLIMON A.C.	NITROBOR	NITRÓGENO Y BORO	10 MILILITROS	9
2019-10-09	AGROLIMON A.C.	AUXINAS	AUXINAS	10 KILOGRAMOS	12
2019-10-11	AGROLIMON A.C.	SULFATO DE POTASIO (0-0-50)	POTASIO (50.0% DE K2O)	10 KILOGRAMOS	13
2019-06-20	AGROLIMON A.C.	BORO	ELEMENTO BO	10 MILILITROS	15

Figura 4. Bitácora de Registros de Ingreso de Insumos. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en cuanto a la codificación del módulo de trazabilidad interna, se realizó la codificación de las vistas y de su funcionalidad para registrar las actividades de las fases de identificación del terreno, preparación del terreno, plantación, control de fauna doméstica y silvestre, plagas, enfermedades y malezas, fertilización y cosecha.

La identificación del terreno, como se puede observar en la Figura 5 consiste en identificar las acciones e insumos aplicados al proceso actual de producción agrícola y las acciones técnicas realizadas en los terrenos colindantes que pudieran representar riesgos de contaminación al producto, así como aquellas medidas de control que reducen los riesgos asociados a peligros de tipo biológico y químico principalmente.

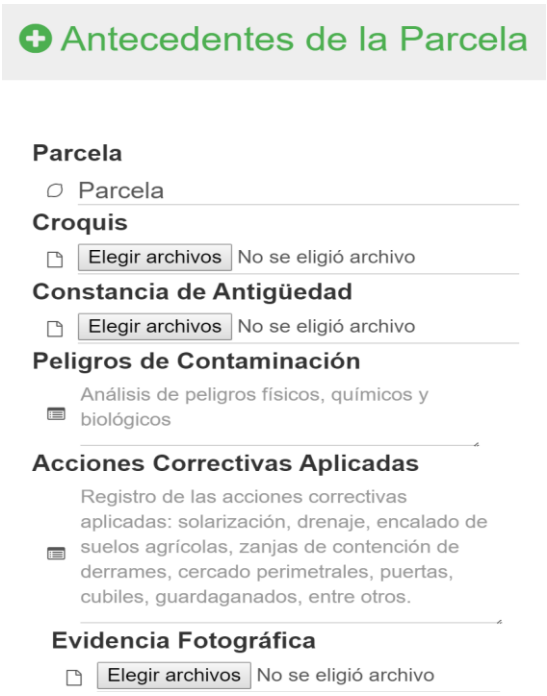


Figura 5. Antecedentes de la Parcela. Fuente: Elaboración propia.

La vista implementada que permite registrar las actividades para la preparación del terreno se muestra en la Figura 6.

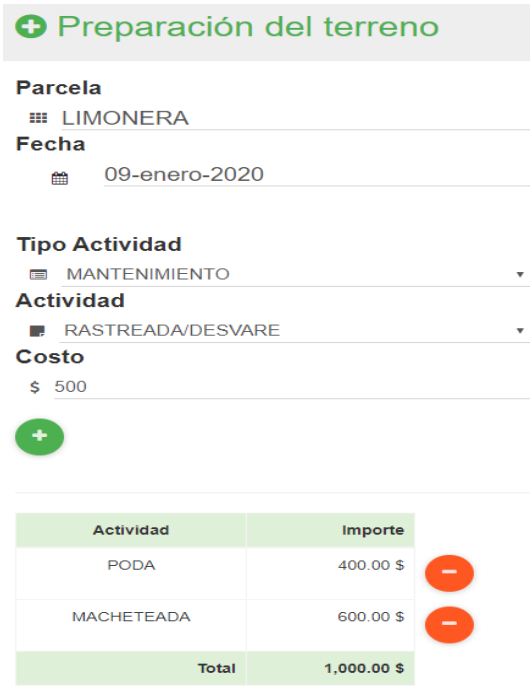


Figura 6. Preparación del Terreno. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 6, se registran las actividades y las acciones aplicadas previas a la plantación del cultivo, con la finalidad de documentar esta actividad ya que, en el peor escenario, la preparación del terreno no apegada a las BPAs pudiera constituir un riesgo razonablemente probable de contaminación al producto por peligros biológicos y químicos.

Por otro lado, la vista del sistema que permite registrar las acciones relevantes aplicadas durante la plantación de los cultivos se muestra en la Figura 7.

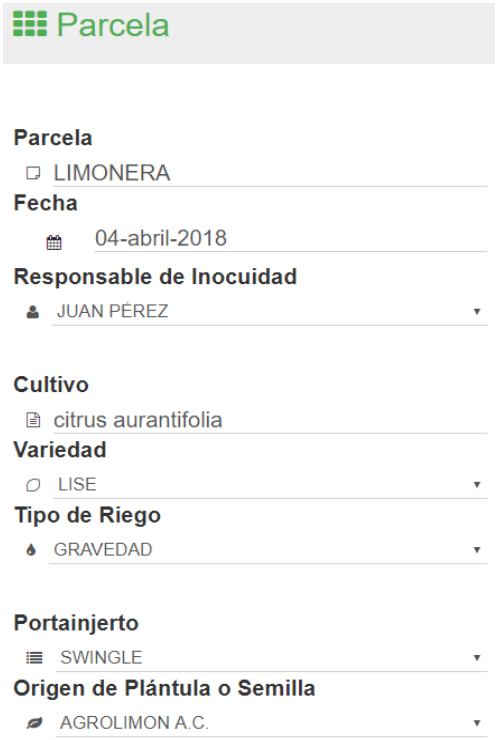


Figura 7. Registro de Plantación. Fuente: Elaboración propia.

El registro de estas actividades (ver Figura 7) es importante en la producción de cultivos agrícolas y en este caso específicamente del limón ya que pueden constituir un riesgo probable de contaminación química y biológica para los mismos, implicando un riesgo en el saludo de los consumidores.

Otro aspecto de suma importancia es el control de fauna doméstica y silvestre, plagas, enfermedades y malezas, como se puede observar en la Figura 8.

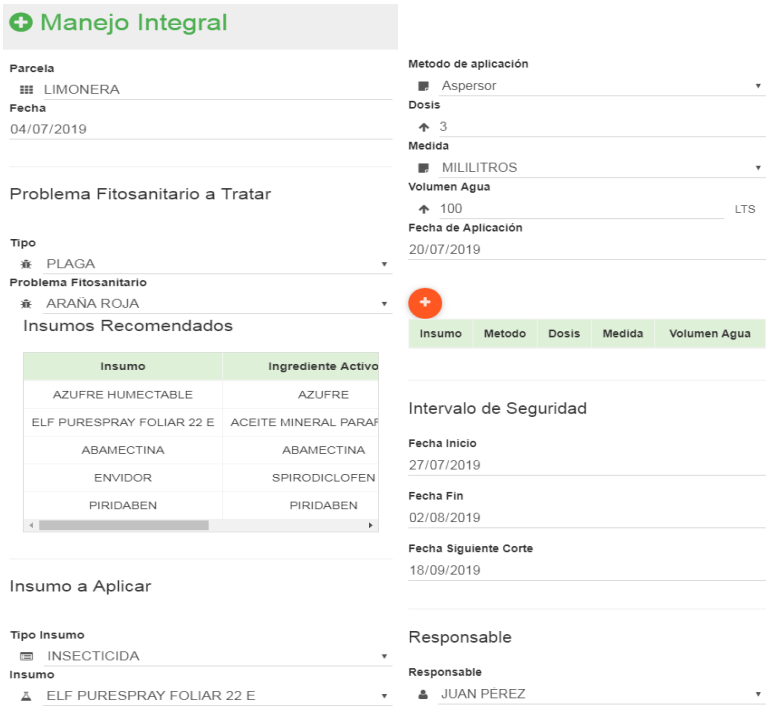


Figura 8. Manejo Integral. Fuente: Elaboración propia.

El registro de la información anterior se refleja como un manejo integral que permite evidenciar el cumplimiento de las acciones aplicadas para el control de fauna, plagas, enfermedades y malezas que afectan al proceso de producción agrícola y demostrar que estas no representan un riesgo de contaminación para el alimento generado.

La fertilización, otra de las acciones importantes que se deben registrar durante la producción de limón se registra mediante una vista que permite registrar el tipo de insumo, el insumo, la dosis y la medida aplicada, con la finalidad de que quede registrado el procedimiento para poder en una evaluación verificar si el procedimiento realizado no constituye un riesgo en la producción (ver Figura 9.

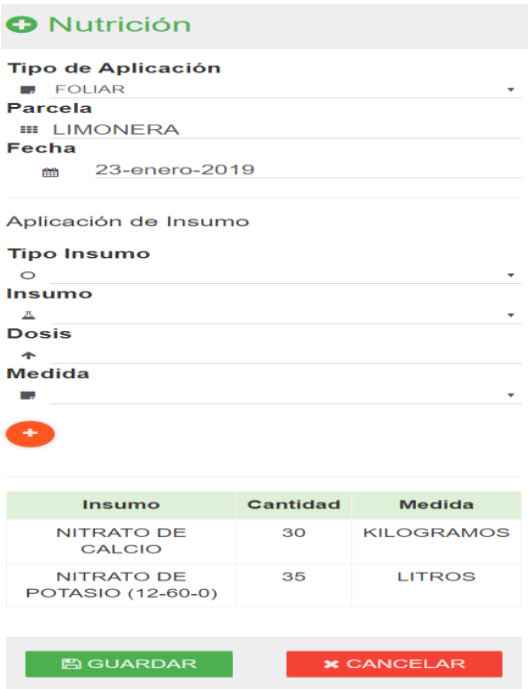


Figura 9. Registro de aplicación de Insumos Agrícolas. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la cosecha, se codificó e implementó la vista de la Figura 10, cuyo objetivo es identificar las acciones relevantes realizadas durante el proceso de cosecha de los productos hortofrutícolas que puedan introducir un peligro de contaminación de tipo químico, físico y/o biológico, así como aquellas acciones aplicadas en las unidades productivas que reduzcan significativamente los anteriores.



Figura 10. Cosecha y Venta. Fuente: Elaboración propia.

Uno de los beneficios de la implementación del sistema es la presentación de la información, para lo cual el Consejo Estatal de Productores de Limón requiere la presentación y visualización de información general, como el total de cosecha de los productores y con diferentes filtros y por categorías como se puede observar en las Figuras 11, 12 y 13.

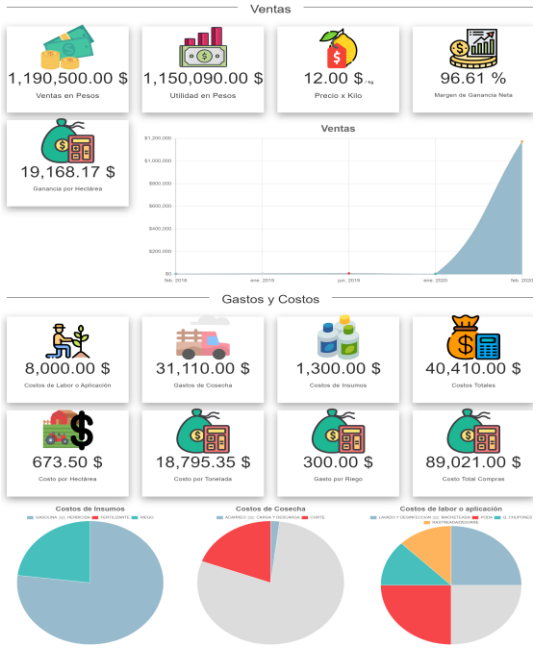


Figura 11. Gráficas de Ventas y Gastos. Fuente: Elaboración propia.

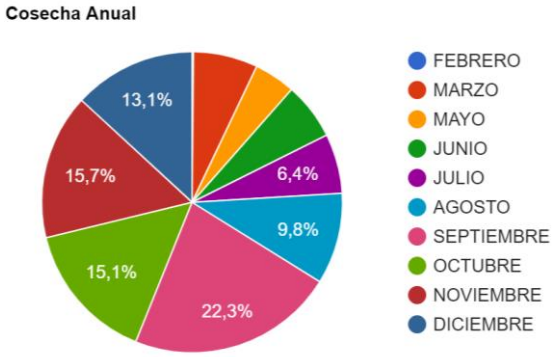


Figura 12. Gráfica de Cosecha Anual. Fuente: Elaboración propia.

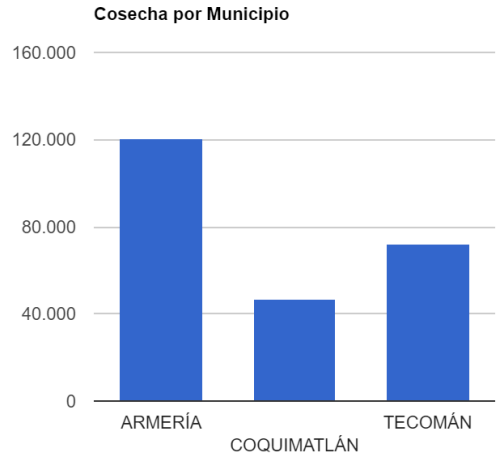


Figura 13. Gráfica de Cosecha por Municipio. Fuente: Elaboración propia.

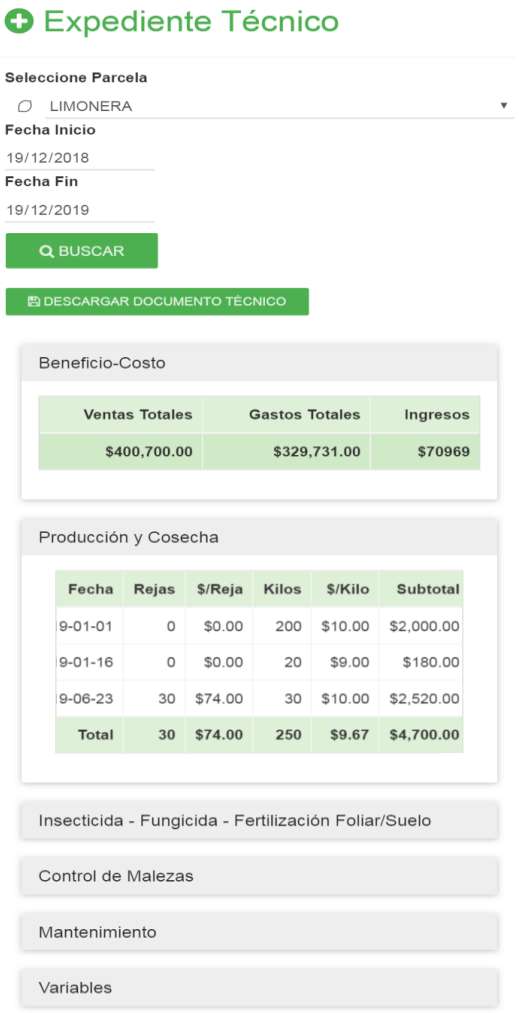


Figura 14. Expediente Técnico. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en el punto 8.4.1 del anexo técnico de requisitos generales definido en [11] el cual aborda los siguientes tres lineamientos: certificación y reconocimiento de sistemas de reducción de riesgos de contaminación (SRRC), buen uso y manejo de plaguicidas (BUMP) y buenas prácticas agrícolas en la actividad de cosecha (BPCO) durante la producción primaria de vegetales, se establece el requisito de un expediente técnico de la unidad productiva el cual gracias a la implementación del sistema y el registro de las actividades realizadas en cada una de las fases de la producción se puede generar de manera automatizada (Ver Figura 14).

Como se puede observar en la Figura 14, el expediente técnico cumple que con las siguientes características:

1. Costos de producción y cosecha de la unidad productiva.
2. Costos en control de malezas, plagas, enfermedades y fauna silvestre (insumos y aplicaciones).
3. Gastos variables (Gasolina, energía, refacciones, etc.).
4. Costos de riego, fertilización y poda.
5. Producción y cosecha (cantidad y precios).
6. Colección de bitácoras de registros.

3.2.4. Pruebas del Sistema de Información

Las técnicas de pruebas de caja blanca empleadas fueron las siguientes: Pruebas de unidad, se llevan a cabo a medida que se desarrolla la unidad del código o se crea una funcionalidad. Análisis estático y dinámico, se revisa el código para resaltar cualquier posible defecto, y así mismo se revisan las salidas del resultado de su ejecución. Pruebas de Cobertura, el código se ejecuta de tal manera que cada declaración de la aplicación se ejecuta al menos una vez. Pruebas de Seguridad, se verifica la capacidad del sistema para protegerse de accesos no autorizados. Las técnicas de caja negra utilizadas son las siguientes: entradas generadas aleatoriamente, introducción de datos de diferente tamaño y tipo esperados por el sistema, y por último pruebas de estrés y carga mediante herramientas de licencia libre, como Apache JMeter [13] y Protractor [14] con una evaluación promedio de 80/100.

3.2.5. Validación y Verificación del Sistema de Información

Para validar y verificar la funcionalidad del sistema previo a su utilización, fue necesario realizar su presentación ante cinco productores asociados al consejo estatal de productores de limón, lo cual permitió obtener puntos de mejora pertinentes del sistema, así como de la funcionalidad de los datos.

4. Discusión de resultados

A continuación, se proporcionan los resultados obtenidos de la presente innovación tecnológica, considerando el impacto de los módulos de trazabilidad hacia atrás e interna implementados en el sistema de información desarrollado, así como la evaluación del impacto del sistema en cuanto a los tiempos de registro y presentación de información.

4.1 Impacto de la trazabilidad hacia atrás e interna

Uno de los principales objetivos de la implementación de un sistema de trazabilidad es contribuir en el incremento de la calidad de los productos, la seguridad alimentaria y el control de la inocuidad de éstos. Por lo tanto, como resultado de la implementación del sistema web para la trazabilidad hacia atrás e interna en la producción del limón mexicano, se logró obtener un mecanismo de análisis de peligros y de puntos críticos de control durante el ciclo de vida de la producción del limón, con lo cual se logra establecer límites críticos, acciones correctivas y procedimientos de monitoreo para cada punto de control identificado a través del análisis. Este mecanismo beneficia al productor, facilitándole el proceso de control de riesgos para garantizar al consumidor final un producto de calidad e inocuo.

Este mecanismo toma los registros almacenados de la trazabilidad hacia atrás e interna durante el ciclo de vida de una cosecha para obtener una línea de tiempo o historial de producción que contiene las labores realizadas, insumos aplicados, enfermedades encontradas y resultados de los análisis realizados, como se puede observar en la Figura 13.



Figura 15. Línea de tiempo de la producción. Fuente: Elaboración propia.

El historial de producción o línea de tiempo, que se observa en la Figura 15, es el resultado de la evaluación de la trazabilidad hacia atrás e interna durante el ciclo de vida de la producción del limón, lo cual permite reconocer, evaluar y reducir peligros en la producción. Este historial permite desarrollar planes de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en inglés) con lo cual se obtienen los siguientes beneficios:

1. Análisis de peligros.
2. Identificación de puntos críticos de control.
3. Establecimiento de límites críticos para las medidas preventivas asociadas con cada punto crítico de control identificado.
4. Establecimiento de acciones correctivas que deben tomarse.
5. Establecimiento de procedimientos de verificación.
6. Establecimiento de procedimientos de mantenimiento de registros y documentación.

Por otro lado, a parte del mecanismo descrito anteriormente, la implementación de este sistema de trazabilidad permite registrar y procesar la información necesaria para generar el expediente técnico de la unidad productiva con la finalidad de cumplir y obtener la Certificación o reconocimiento por la implementación de los SRRC.

4.2 Evaluación de impacto del sistema

El sistema web descrito en esta investigación se evaluó principalmente en términos del tiempo empleado en el registro de

información y presentación de la información, con la finalidad de evaluar el impacto de la implementación de éste en el proceso de rastreabilidad de la producción del limón mexicano.

Cómo se puede observar en la Figura 16, los tiempos de registro de la información antes de la implementación del sistema, mediante un proceso manual, tomaba un tiempo de 13.8 horas; mientras que, con la implementación del sistema se optimizó a 8.2 horas el registro de la información de las actividades efectuadas durante el proceso de producción del limón mexicano. Con lo cual se logró una reducción de 5.6 horas, correspondiente a una mejora del 40.5 % en los tiempos de registro de información.

En cuanto al tiempo invertido en la presentación de la información, se logró una mejora del 91.4 % en los tiempos de presentación, debido a que el proceso manual para presentar la información de la rastreabilidad de la producción tomaba un tiempo de 8.2 horas; mientras que, con el sistema toma un tiempo de 0.7 horas.

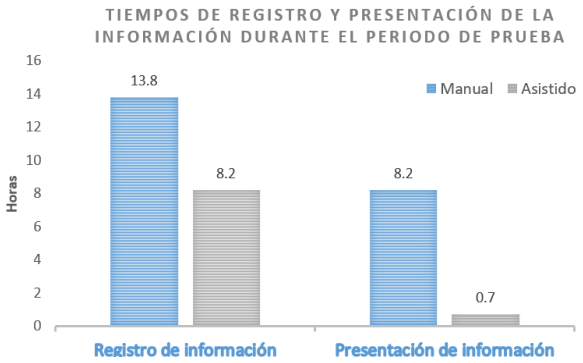


Figura 16. Tiempos registrados durante el periodo de prueba. Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

Desarrollar un sistema de información en un entorno web que permite gestionar la trazabilidad hacia atrás e interna de la producción de limón en el Estado de Colima es un factor clave para reconocer, evaluar y reducir factores de riesgo o peligros en la producción del limón mexicano. Además, permite automatizar el registro y presentación de la información generada durante toda la producción, logrando con esto un mecanismo automatizado apegado a los lineamientos establecidos por las buenas prácticas agrícolas y a la guía de evaluación de sistemas SRRC con la finalidad de generar el expediente técnico de la unidad productiva para obtener la certificación o reconocimiento SRRC que garantiza la inocuidad del producto.

La evidencia obtenida de este trabajo de investigación sugiere que la adquisición de información sobre la producción de limón beneficia al Consejo Estatal de Productores de Limón y a los productores de Limón para contar indicadores que ayuden a la toma de decisiones, gracias al seguimiento de la trazabilidad, ya que la mayor dificultad para los productores de limón es la documentación de todas las actividades realizadas durante el proceso de producción. La implementación del presente desarrollo tecnológico brinda al productor una herramienta que permite documentar las actividades realizadas durante la producción, facilitando la generación de documentación requerida para certificación, ya que actualmente el mercado nacional e internacional está exigiendo medidas más estrictas de inocuidad.

El desarrollo del estudio a través de la implementación del sistema propuesto permite proporcionar mecanismos para garantizar la inocuidad del limón mexicano mediante la gestión de la trazabilidad hacia atrás e interna en la producción empleando un entorno de trabajo que permite reducir riesgos y peligros que puedan afectar un producto inocuo y de calidad a través de la identificación de puntos críticos de control, así como una toma de decisiones oportuna

para la aplicación de estrategias de prevención y contención en las producciones.

Por otro lado, las certificaciones tienen un precio elevado y son difíciles de mantener debido a la gran cantidad de requerimientos que se presentan; por lo tanto, el desarrollo de herramientas que coadyuven en la implementación de los requerimientos de las certificaciones incrementará el interés de los agricultores en certificar o reconocer las buenas prácticas agrícolas, y a su vez incrementar la calidad de los productos nacionales.

Finalmente, con el desarrollo e implementación de este sistema se pretende lograr cuatro beneficios significativos de acuerdo con la trazabilidad de la producción de limón, los cuales serán evaluados como trabajo futuro:

- Toma de decisiones oportunas referentes a la compra de insumos, por medio de análisis de datos recaudados de la trazabilidad hacia atrás, que permite a los productores comparar los resultados obtenidos al aplicar insumos selectivos en la producción.
- Visualización general de los procesos de producción, que permite al productor tener una clara visión de todo lo que hizo, realiza y hará.
- Evidenciar el uso de las buenas prácticas y estándares nacionales e internacionales durante la producción, lo que permite cumplir con los requisitos establecidos por las instituciones regulatorias.
- Incorporación de más productores de la región a un entorno de colaboración para mejorar la productividad del limón mexicano.

6. Agradecimientos

En especial al CONACYT por mantener el Programa Nacional de Posgrado de Calidad e incentivar la formación en maestrías y doctorados, mediante el programa de Becas; al Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Colima por ocuparse de la formación de capital humano que brinde soluciones informáticas al sector productivo, gubernamental y de servicios en la región.

7. Referencias

[1] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *«Planeación Agrícola Nacional 2017 – 2030»* [En línea]. Disponible: https://www.gob.mx/sagarpa/documentos/planeacion-agricola-nacional-2017-2030.

[2] Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2015), *«Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación»* [En línea]. Disponible: https://www.gob.mx/senasica/documentos/sistemas-de-reduccion-de-riesgos-de-contaminacion-srrc.

[3] Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad. (2010), *«Sistema de Trazabilidad de productos Hortofrutícolas para consumo en fresco de los Estados Unidos Mexicanos»* [En línea]. Disponible: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/120192/Manual_de_Trazabilidad_de_Productos_Hortofrut_colas_para_consumo_en_fresco_de_los_Estados_Unidos_Mexicanos.pdf.

[4] Organización Internacional de Normalización. ISO 22005:2007. (2007), *«Trazabilidad en la cadena de alimentos para alimentación humana y animal»* [En

línea]. Disponible: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:22005:ed-1:v1:es.

[5] P. Beltrán Medina, J. Caus Pertegaz, S. Guillem Picó "Desarrollo De Herramienta Informática Para Gestión De Trazabilidad En Explotaciones Vitivinícolas" *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. 2006.* pp. *0116-0126.*

[6] Yu-Chuan Liu, Hong-Mei Gao "Development and Applications of Mobile Farming Information System for Food Traceability in Health Management" *Applied Computing in Medicine and Health.* 2016. pp. 244-268 https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803468-2.00012-6.

[7] Chatchai Tritham, Nitchichaya Naratapanon, Kreangsak Tamee y Ajchara Vararuk "Food Traceability and Information System for Local Standard of the High Safety Agri-food No.8 in Chachoengsao Province" *International Journal of Humanities and Management Sciences.* Volumen 3, Núm. 5 (2015). pp. 332-337 ISSN 2320–4044 (Online).

[8] Alessio Bechini, Mario G.C.A. Cimino, Francesco Marcelloni, Andrea Tomasi "Patterns and technologies for enabling supply chain traceability through collaborative e-business" *Information and Software Technology.* Volumen 50, Núm. 4, Marzo 2008, pp. 342-359 https://doi.org/10.1016/j.infsof.2007.02.017.

[9] Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2018), *«Guías para la evaluación de los SRRC»* [En línea]. Disponible: https://www.gob.mx/senasica/documentos/guias-para-la-evaluacion-de-los-srrc.

[10] AngularJS (2018), *«Developer Guide»* [En línea]. Disponible: https://docs.angularjs.org/guide/introduction.

[11] Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2019), «Requisitos generales para la certificación y reconocimiento de sistemas de reducción de riesgo de contaminación» [En línea]. Disponible: https://www.gob.mx/senasica/documentos/manuales-de-buenas-practicas.

[12] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2019), *«Manejo Integral del cultivo de limón mexicano en un escenario de alta incidencia de HLB»* [En línea]. Disponible: https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=4160.

[13] Apache Software Foundation (2019), *«Apache JMeter»* [En línea]. Disponible: https://jmeter.apache.org/.

[14] Protractor (2019), *«End-to-end test framework for Angular and AngularJS applications»* [En línea]. Disponible: http://www.protractortest.org/#/.