

Tecnologías para la trazabilidad productiva en el sureste mexicano: caso de prueba de bitácora digital sobre lactuca *sativa*

Technologies for production traceability in mexican southeast: a digital log test case on lactuca *sativa*

Gonzalo Miguel Quetz Aguirre ¹
Marlene Méndez Moreno ²
Ángel Francisco Can Cabrera ³
Mario Ben-Hur Chuc Armendáriz ⁴
Felipe de Jesús González Rodríguez ⁵

RESUMEN

La introducción de tecnología agrícola, el seguimiento oportuno y el registro histórico de los cultivos, actualmente son fundamentales para obtener buenos rendimientos en las diferentes especies a cultivar y como consecuencia la rentabilidad de la agricultura. El presente trabajo de innovación muestra los resultados obtenidos en el desarrollo de una bitácora agrícola digital, que permite el monitoreo puntual de cultivos, facilitando entre otros, la determinación de trazabilidad del cultivo, la detección temprana de plagas, enfermedades y el control de insumos para la reducción de costos de inversión, que en conjunto mejoran los rendimientos y la calidad en el proceso de producción. La bitácora agrícola digital se puso a prueba registrando los procesos del manejo agrícola realizados a una plantación de 1200 especímenes de *Lactuca sativa* comúnmente conocida como Lechuga orejona que forman parte de un proyecto de producción de hortalizas orgánicas. Entre los resultados destaca que el software ha recibido el registro de cuatro semanas de trabajo agrícola durante las cuales no se observaron errores en el código, salvo ajustes menores. Fue posible realiza un registro histórico de los insumos implementados y registrar las condiciones en las que se presentan las principales plagas y enfermedades.

PALABRAS CLAVE: Trazabilidad, Innovación, Precisión, Software, Bitácora Digital.

Fecha de recepción: 30 de junio, 2023.

Fecha de aceptación: 19 de septiembre, 2023.

¹ Dr., Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México, gmquetz@itescam.edu.mx

² Dr., Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México. Autor de correspondencia, mmendez@itescam.edu.mx

³ Dr., Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México, afcan@itescam.edu.mx

⁴ Dr., Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México, mbchuc@itescam.edu.mx

⁵ Dr., Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México, figonzalez@itescam.edu.mx

ABSTRACT

The agricultural technology introduction, timely monitoring and historical record of crops are currently essential to obtain good yields and as a consequence, the agriculture profitability. This innovative work shows the results obtained in the development of a digital agricultural logbook, which allows timely monitoring of crops, facilitating, the crop traceability, early detection of pests, diseases and the control of inputs for the reduction of investment costs, which together improve yields and quality in production process. The digital agricultural log was put to the test by recording the agricultural management processes carried out on a plantation of 1200 specimens of *Lactuca sattivá* commonly known as Orejona lettuce that are part of an organic vegetable production project. Among the results, it stands out that the software has received the record of four weeks of agricultural work during which no errors were observed in the code, except for minor adjustments. It was possible to make a historical record of the inputs implemented and record the conditions in which the main pests and diseases success.

KEYWORDS: Traceability, Innovation, Precision, Software, Digital Log

INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional, una práctica arraigada en innumerables partes del mundo principalmente en países subdesarrollados, considera las condiciones del terreno como homogéneas, de tal forma que, aplica la misma cantidad de insumos a diferentes superficies de siembra como agua y fertilizantes por mencionar algunos (Mantovani, E., Carvalho, F., y Queiroz, D., 2006). En años recientes, se ha dado a conocer que considerar homogénea la superficie de siembra no solo incrementa los costos de inversión y aumenta los riesgos de contaminación ambiental, sino que también reduce los rendimientos de cada especie por ciclo de cultivo. Este modelo de producción agrícola fue adoptado desde la década de los cincuentas y busca generar un sistema de producción de alta eficiencia, pero para ello depende de un alto uso de insumos sintéticos (agroquímicos), donde el manejo monocultivista se justifica como herramienta fundamental para lograr la mayor eficiencia del proceso productivo. Sin embargo, este sistema de producción ha mostrado serios problemas de sostenibilidad en veinte o treinta años de uso intensivo (INCyTU, 2018).

En contraparte, surge la agricultura de precisión, en la que se aplica la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar requerido, mediante el análisis y control de la variabilidad espacio-temporal del terreno y del cultivo. La agricultura de precisión incorpora innovación tecnológica que puede aportar mayor productividad no solo en términos de rendimiento por unidad de superficie sino, fundamentalmente la posibilidad de optimizar y flexibilizar el uso de los recursos productivos agrícolas (Gelb, 1994).

Esta técnica suministra distintas cantidades de insumos tomando en cuenta la variación en los componentes del suelo, tales como, textura, acidez, humedad, topografía o relieve en el desarrollo vegetal y en las condiciones entre temporadas de siembra. La agricultura de precisión posee tres etapas: recopilación de datos, análisis de información e implementación de las técnicas más adecuadas (INCyTU, 2018; Ortega, R. y Flores, L., 1999).

En el sureste mexicano, se utiliza la agricultura convencional mayormente de traspatio. Este tipo de práctica se caracteriza por un manejo agrícola originado de conocimientos empíricos no justificados, transmitidos de generación en generación entre los agricultores locales. Las dos principales especies cultivadas en la zona son las hortalizas y el maíz blanco, este último con un rendimiento en temporal de 2.7 toneladas por hectárea según el anuario estadístico (INEGI, 2017), siendo, rendimientos muy bajos en relación a la media nacional de 3.7 toneladas por hectárea en temporal y de 7.5 toneladas por hectárea bajo tecnología de riego. (Montesillo-Cedillo, 2016). Por lo que se puede deducir que

Tecnologías para la trazabilidad productiva en el sureste mexicano: caso de prueba de bitácora digital sobre lactuca *sativa*

se requiere un cambio de la metodología de manejo agronómico de los diferentes cultivos de la región que contemple la integración de innovaciones tecnológicas que ayuden a observar nichos de oportunidad y permitan proponer modificaciones en los sistemas de producción.

En el estado de Yucatán se ha hecho notar la necesidad de un seguimiento puntual de las actividades del manejo agronómico que permitan evidenciar la trazabilidad, aspecto fundamental en la determinación de la calidad y el logro de una certificación por su manejo orgánico. Atendiendo estas necesidades, el objetivo de este trabajo es la obtención de una bitácora agrícola digital que permita la recopilación de datos y la generación de un registro histórico del manejo agronómico.

JUSTIFICACION

En la Península de Yucatán existen diversas problemáticas que afectan la sostenibilidad de las prácticas agrícolas, entre ellas destacan: el uso excesivo de agroquímicos que pueden contaminar el suelo y causar la muerte de insectos polinizadores esenciales para la producción de alimentos, la escasez de agua y gestión inadecuada, ya que es una región con acuíferos subterráneos frágiles y la sobreexplotación de estos acuíferos y la falta de prácticas de gestión sostenible pueden llevar a la escasez de agua y a la intrusión salina en los cultivos.

Por otro lado, el cambio climático está alterando los patrones de temperatura y precipitación en la región, las sequías más frecuentes y los eventos climáticos extremos pueden aumentar la inseguridad alimentaria y la pérdida de cultivos, siendo necesario la toma de decisiones adecuada.

Considerando estos desafíos, la propuesta representa una herramienta necesaria para mejorar la eficiencia y productividad en la industria agrícola, permitirá a los agricultores llevar un registro detallado de todas las actividades realizadas en el campo, desde la siembra hasta la cosecha, lo que incluye información sobre el tipo de cultivo, la fecha de siembra, el tipo de suelo utilizado, los fertilizantes y pesticidas utilizados, las condiciones climáticas y cualquier otra información relevante.

Esto facilitará la gestión del campo al permitir una mejor planificación y toma de decisiones basadas en datos precisos. Los agricultores podrán analizar los datos recopilados para identificar patrones y tendencias en el crecimiento del cultivo y ajustar sus prácticas agrícolas en consecuencia, lo que es benéfico para evidenciar la trazabilidad de la producción.

Proyectos de software de gestión agrícola como: FarmLogs, Agworld, y Cropio demuestran la viabilidad de la propuesta, enfocada en beneficios como: optimización de operaciones agrícolas, reducción de pérdidas y desperdicios, monitorización en tiempo real, desarrollo sostenible, escalabilidad, cumplimiento normativo y trazabilidad.

METODOLOGÍA

INEGI reporta en su censo agropecuario 2022 que de la superficie total del país de 196.5 millones de hectáreas, 88.4 millones de has. son superficies en uso o con vocación agropecuaria, que representa el área de las unidades de producción ya sea destinada para el cultivo de plantas o a la cría de animales. Esto quiere decir que el 46.1% del área rural es utilizada para este tipo de labores. Comparado con los resultados obtenidos en el censo agropecuario 2017 ha habido un incremento en la superficie de uso agrícola, pasando de 31 190 141 a 32 121 641 hectáreas.

El número de unidades de producción agropecuaria activas en el país es 4 440 265 mientras que las unidades de producción agropecuaria en descanso son 565 505.

A pesar del incremento de la superficie en uso, las unidades de producción se siguen enfrentando a un conjunto de problemas, siendo los más comunes los altos costos de insumos y servicios, los factores climáticos y la baja de precios y disminución de ventas a causa de la pandemia. (INEGI, 2023)

Tecnologías para la trazabilidad productiva en el sureste mexicano: caso de prueba de bitácora digital sobre lactuca sattivá

Con estas consideraciones y tomando en cuenta la totalidad de las unidades agrícolas, se percibe un número importante de unidades que podrían ser beneficiadas con el desarrollo del software, sin embargo, de momento será enfocado a las unidades ubicadas en la península de Yucatán.

Buscando apoyar la etapa de recopilación de datos de la agricultura de precisión que permita resolver las problemáticas actuales, se programó una aplicación de escritorio en lenguaje Java, operada desde un servidor web en donde se almacenaron los registros del cultivo, las actividades para el manejo agronómico y los datos de los responsables de implementar cada actividad, para que posteriormente puedan ser analizados y faciliten la toma de decisiones sobre técnicas y aplicación de insumos, incrementando la posibilidad de éxito con mayores rendimientos y la calidad en el proceso de producción.

Para la programación del software fue utilizado el modelo de desarrollo evolutivo por prototipos, el cual conduce a la construcción de un prototipo que es evaluado por el cliente para que, a partir de su retroalimentación se realicen los ajustes necesarios hasta cumplir con los requerimientos. (Pressman, 2010)

Este modelo de desarrollo requiere que se definan los objetivos generales del software, identificar requerimientos básicos y detectar las áreas en las que es imprescindible prestar mayor atención para el desarrollo del programa. El modelo de desarrollo evolutivo por prototipos se centra en la representación de aquellos aspectos del software que serán visibles para los usuarios finales, por ejemplo, la disposición de la interfaz humana o los formatos de la pantalla de salida (Pressman, 2010). Fueron consideradas dos entidades denominadas administrador y técnico que representan los roles disponibles en la aplicación.

1.1. Características del software

Para dar uso a la aplicación, es necesario validar el usuario y la contraseña. La bitácora agrícola digital admite dos tipos de roles, el rol administrador y el rol técnico como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Pantalla de acceso al sistema

El software desarrollado está compuesto por cinco módulos, de los cuales cuatro contienen herramientas para el rol de administrador como se muestra en la Figura 2, siendo posible ingresar

Tecnologías para la trazabilidad productiva en el sureste mexicano: caso de prueba de bitácora digital sobre lactuca sattiv

los datos del cultivo, los datos del material o insumos, realizar una revisión de las actividades de los técnicos y por último se incluye un espacio para la recuperación de contraseñas.

Inicialmente el administrador da de alta en la bitácora digital el o los cultivos a los que se dará seguimiento. Durante el proceso de seguimiento, el administrador puede establecer en el momento que considere oportuno, las actividades que serán realizadas en el manejo agronómico, definiendo la dosis y método de aplicación de los diferentes insumos como se muestra en la Figura 3. De igual manera, extrae el reporte de cada una de las actividades programadas tomando nota de las incidencias que se presentaron.



Figura 2. Opciones del administrador

El rol de técnico contiene una herramienta para consultar actividades programadas para el cultivo como se muestra en la Figura 3, revisando y ejecutando las actividades programadas por el administrador en la bitácora agrícola digital, al mismo tiempo dan uso del espacio disponible para reportar las incidencias como se muestra en la Figura 4.



Figura 3. Registro de actividad a realizar

Tecnologías para la trazabilidad productiva en el sureste mexicano: caso de prueba de bitácora digital sobre lactuca sattivá

Clav...	Nom...	Esp...	Vari...	Fecha	Hora	ID_A	Des...	Vari...	Ruta...	N.Act...
19	NOC	La N.	Riego	10/7	16:41	2	prod.	CRE	C/U	1
21	Lech...	Nem	Riepp	01/0	09:00	2	Prod.	Tam	C/U	1

Figura 4. Actividades capturadas

Al concluir la actividad el técnico reporta en la bitácora agrícola digital las observaciones y complicaciones presentadas en su realización, como se muestra en la figura 5, pudiéndose revisar por parte del administrador como se muestra en la figura 6.

Codigo de la planta que se esta trabajando: 21 Codigo del material que se esta trabajando: 32

Ingrese la informacion final en los campos de abajo

Observaciones: [Text area]

Complicaciones: [Text area]

Satisfacciones: [Text area]

Ruta: [Text area]

Fecha: [Text area]

Hora: [Text area]

Matrícula: [Text area]

Altura: [Text area] Diametro tallo: [Text area] Peso: [Text area]

Botones: Listo, Regresar

Figura 5. Registro de actividades de los técnicos.

Tecnologías para la trazabilidad productiva en el sureste mexicano: caso de prueba de bitácora digital sobre lactuca *sativa*

ClaveBitacora	ClaveActivid.	ClaveMaterial	Observacio.	Complicac.	Satisfaccion.	Fecha	Hora	ClaveAlumno	Altura	DiametroTal.	Peso
1	3011	3012	deeeeeee	deeeeeee	deeeeeee	30/5/2018	11:57	1032	12.0	13.5	14.5
2	3011	4013	ededeede	ededeede	ededeede	1/6/2018	14:50	2032	12.3	12.4	32.8
3	3011	4013	dedede	dedede	dedede	3/6/2018	10:47	2032	12.5	12.4	34.8
1003	4012	4014	dedede	dedede	dedede	4/6/2018	11:24	2033	12.4	12.5	4.5

Figura 6. Revisión de actividades realizadas

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Entre los resultados destaca que el 100% de las actividades del manejo agronómico fueron registradas en la bitácora agrícola digital durante cuatro semanas, que fue posible realizar un registro histórico de los insumos implementados, así como de las principales plagas y enfermedades, entre ellas mosquita blanca y alternaria.

Es posible el alta de usuario para cualquiera de los dos roles disponibles, ingresar los datos del cultivo que recibirá el seguimiento puntual, ingresar los datos de los materiales, la dosis y las especificaciones para cada actividad, realizar la captura de las actividades que serán aplicadas al cultivo y hacer revisión de las actividades realizadas.

Debido a que la aplicación se encuentra disponible en un servidor comercial, se ha detectado tiempos de descarga más elevados de los considerados, dependiendo en gran medida del servicio de internet. En contra parte la disponibilidad en línea permite dar de alta actividades de manera remota facilitando el trabajo en equipo.

CONCLUSIONES

Se observó que el programa posee potencial educativo ya que permite desarrollar en los usuarios habilidades en el uso de tecnología, relacionadas con la agricultura de precisión. La participación de estudiantes en el desarrollo del software les permite poner en práctica sus conocimientos y habilidades en la solución de un problema del entorno. Se pudo dar continuidad a las actividades a pesar de incorporar a nuevos estudiantes al manejo agronómico del cultivo de la *lactuca sativa*.

Tecnologías para la trazabilidad productiva en el sureste mexicano: caso de prueba de bitácora digital sobre lactuca *sativa*

La aplicación de escritorio permitió el acceso a usuarios en los dos roles disponibles, un administrador que establece las actividades que serán realizadas y un usuario técnico que realiza la actividad y reporta en la bitácora digital el status, las incidencias encontradas y observaciones sobre el cultivo.

Las pruebas de campo del software demostraron que su aplicación impacta positivamente en el seguimiento oportuno y registro histórico de los cultivos. Por ejemplo, en el caso de prueba, gracias al reporte de las condiciones registradas en el histórico, las plantas recibieron un tratamiento oportuno para el combate plagas y enfermedades, permitiendo anticiparse a los efectos negativos de la enfermedad y reducir la pérdida de plantas y el consumo de insumos. La documentación permitirá descartar y/o justificar actividades y procesos empíricos que son realizados actualmente en la práctica agrícola.

REFERENCIAS

- Anuario Estadístico y geográfico de Campeche (2017). Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. México: INEGI.
- Bolaños D, Sierra A, Alarcón I. (2007). Pruebas de software y JUnit. Un análisis en profundidad y ejemplos prácticos. Pearson Education.
- Bongiovanni, R., Montovani, E., Best, S. y Roel, A. (eds). Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. (pp.13-22). Montevideo, Uruguay: PROCISUR.
- Bongiovanni, R., Lowenberg-Deboer, J. Precision Agriculture and Sustainability. *Agriculture* 5, 359–387 (2004). <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.a>
- Campoy, T. y Gomes, E. (2009). Técnicas e instrumentos cualitativos de recogida de datos. En Pantoja, A. (Coord.). Manual básico para la realización de tesis, tesis y trabajos de investigación. Madrid: EOS Universitaria.
- Censo Agropecuario 2022. Resultados oportunos (2023). Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. México: INEGI.
- Gelb, E. (1994). The economic value of information as a resource in dairy farms, fifth international congress for computer technology in agriculture. Warwickshire.
- Gliessman, S. (2015). Agroecology. The Ecology of Sustainable Food Systems. Estados Unidos: CRC Press
- Gómez A., Juristo N., Montes C., Pazos J. (1997). "Ingeniería del Conocimiento" – Primera Edición Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.
- Larman C. (2003). "UML y Patrones" Segunda Edición. Editorial Prentice-Hall.
- Mantovani, E. Carvalho, F., y Queiroz, D. (2006). Introducción a la agricultura de precisión.
- Montesillo, J (2016). Rendimiento por hectárea del maíz de grano en México: Distritos de riego Vs. Temporal, Universidad Autónoma del Estado de México. Economía informal, num. 398. Mayo-junio. Pp 60.

Tecnologías para la trazabilidad productiva en el sureste mexicano: caso de prueba de bitácora digital sobre lactuca sattivá

- Odstrcil M. (2001). "Apuntes de Conceptos de Sistemas y Análisis Orientado a Objetos" Primera Edición – FACET, UNT.
- Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión (2018). Agricultura de precisión. No. 15. Pp.1-6. Disponible en:
https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf
- Ortega, R., Flores, L., 1999. Introducción al manejo sitio-específico. en: Ortega, R., Flores, L. (Eds.), Agricultura de Precisión. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, pp. 13–46.
- Peart, R Shoup, W. (2004). Agricultural Systems Management Optimizing Efficiency and Performance. Estados Unidos: MARCEL DEKKER, INC.
- Pfleeger S. (2002). "Ingeniería de Software, Teoría y Práctica" Primera Edición – Editorial Prentice Hall.
- Pressman, R. (2010). Ingeniería del software. Un enfoque práctico. Editorial: McGraw Hill: México.
- Rumbaugh J., Jacobson I., Booch G. (2000). "El Lenguaje Unificado de Modelado. Manual de Referencia". Editorial Addison-Wesley.
- Rumbaugh J. (1997). "Modelado y Diseño Orientado a Objetos". Editorial Prentice Hall.
- Sánchez S., Sicilia M., Rodríguez D. (2012). Ingeniería del software. Un enfoque desde la guía SWEBOK: Alfaomega.
- Sommerville I (2005). Ingeniería del Software. Pearson 7a. Edición
- Schneider, G, Winters, J. (2001). Applying Use Cases. Second Edition. A Practical Guide. Ed: Addison Wesley.
- Wright, J. (2009). Sustainable Agriculture and Food Security in an Era of Oil Scarcity: Lessons from Cuba. (1 ed.) Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849772730>
- Yourdon, E.(1993). "Análisis Estructurado Moderno" Primera Edición – Editorial Prentice Hall.