

Un breve resumen sobre la implementación de los sistemas expertos en problemas de agricultura

Martín Laguna Estrada¹, Norma Verónica Ramírez Pérez¹,
Jessica Alejandra Araujo Rodríguez¹, Norma Natalia Rubín Ramírez²

¹ Tecnológico Nacional de México, Guanajuato,
México

² Tecnológico Nacional de México, Nayarit,
México

{martin.laguna,norma.ramirez,d2203008}@itcelaya.edu.mx,
nrubin@iitepic.edu.mx

Resumen. Los Sistemas Expertos (SE) en la agricultura, son programas informáticos diseñados para simular el conocimiento y la experiencia de expertos humanos en el ámbito agrícola. Estos sistemas utilizan bases de datos y algoritmos para toma de decisiones y ofrecen recomendaciones sobre diversas actividades agrícolas como los son: el diagnóstico de enfermedades de los cultivos, la gestión de plagas y el manejo de la producción entre otros. Su aplicación abarca desde la optimización de recursos hasta la predicción de condiciones climáticas adversas, de ahí que los SE en agricultura sean conocidos por su contribución a mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad de las operaciones agrícolas al proporcionar soluciones rápidas y precisas a problemas complejos. Un plus que proporcionan los SE es que, además de facilitar la toma de decisiones basadas en datos y conocimientos especializados, resultan fundamentales para enfrentar los desafíos actuales del sector agrícola como la seguridad alimentaria y la gestión ambiental. El objetivo de este artículo es presentar una revisión literaria de los temas actualizados de agricultura que se pueden abordar con los Sistemas Expertos en los últimos años.

Palabras clave: Sistemas expertos, operaciones agrícolas, condiciones edafológicas, algoritmos de aprendizaje, inteligencia artificial.

A Brief Summary on the Implementation of Expert Systems in Agricultural Problems

Abstract. Expert Systems (SE) in agriculture are computer programs designed to simulate the knowledge and experience of human experts in the agricultural field. These systems use databases and algorithms for decision making and offer recommendations on various agricultural activities such as: diagnosis of crop diseases, pest management and production management, among others. Their application ranges from resource optimization to the prediction of adverse weather conditions, hence ES in agriculture are known for their contribution to improving the efficiency, productivity and sustainability of agricultural

operations by providing quick and accurate solutions to problems. complex. A plus that ES provides is that, in addition to facilitating decision-making based on data and specialized knowledge, they are essential to face the current challenges of the agricultural sector such as food security and environmental management. The objective of this article is to present a literary review of the updated agricultural topics that can be addressed with Expert Systems in recent years.

Keywords: Expert systems, agricultural operations, soil conditions, learning algorithms, artificial intelligence.

1. Introducción

En la actualidad los agricultores han deseado maximizar los rendimientos de sus cultivos que a la vez permita dar respuesta a soluciones que se presentan día a día, sobre todo en las limitaciones de terreno, insumos y recursos económicos. La tecnología ha llegado a resolver ciertas situaciones que muchos de los agricultores no se imaginaban que se podían realizar, como, por ejemplo, las mediciones, el análisis y la respuesta a variaciones que se dan en el cultivo, entre otras. Los agricultores requieren conocimientos avanzados o la asesoría de expertos para tomar decisiones durante todo el proceso de siembra.

Requieren conocimientos y toma de decisiones desde el proceso de preparación, selección de semillas, fertilizantes, pesticidas, programación del agua, gestión de malezas, cultivo, recolección y distribución de sus productos y otras variables para obtener un alto rendimiento. Los SE han sido una solución a esta problemática y pueden, además, estar diseñados para ayudar al agricultor a tomar decisiones económicamente viables y sólidas en el manejo de cultivos de inicio a fin.

2. Materiales y métodos

A continuación, se describen aplicaciones recientes de diferentes Sistemas Expertos en la agricultura descritos por autores especialistas en el área, señalando las ventajas que implica el utilizar estos sistemas.

2.1. Sistemas expertos en la agricultura

A finales de la década de los 70's, los Sistemas Expertos comienzan a aplicarse en el ámbito agrícola y después de casi 30 años de desarrollo, su dominio de aplicación se ha extendido en cada uno de los procesos agrícolas para la toma de decisiones que impactan en la parte económica. Los SE son una de las ramas importantes de la Inteligencia Artificial orientada a aplicaciones, el enfoque de los Sistemas Expertos es intentar modelar el conocimiento del dominio de los expertos en sus respectivas áreas de especialización, por ejemplo, diagnóstico, planificación, previsión, etc., y se basan en el conocimiento que incluye no solo modelos y datos, sino que también enfatiza las experiencias de los expertos en el dominio. Un sistema experto es una aplicación

informática que resuelve problemas complicados que de otro modo requerirían una amplia experiencia humana.

Puede ser operado por una persona con menos educación o un lego en un campo de conocimiento particular. Los Sistemas Expertos Agrícolas (SEA) son programas informáticos que utilizan inteligencia artificial para emular el conocimiento agrícola humano. Utilizan datos, reglas lógicas y algoritmos para tomar decisiones en la producción y manejo de cultivos. Al replicar el razonamiento humano, mejoran la toma de decisiones, esto es, transfieren el saber humano a la computadora, resolviendo problemas de manera efectiva y pueden interactuar con usuarios expertos y no expertos, facilitando la resolución, en este caso, de problemas agrícolas. Estas herramientas optimizan la eficiencia agrícola y mejoran la calidad y productividad, reduciendo el impacto ambiental, además permiten pronosticar la producción y los precios del mercado, brindando a los agricultores acceso a información valiosa [1,2].

2.2. Toma de decisiones integradas para el manejo de cultivos

Los Sistemas Expertos Agrícolas (SEA) permiten a los agricultores tomar decisiones fundamentadas sobre siembra, riego, fertilización y control de plagas, considerando factores como clima, suelo y estado del cultivo. Ejemplo de ello es el “Sistema de Análisis de Datos Agrícolas” desarrollado por [3], que unifica servicios de socialización e informatización de operaciones para mejorar la eficiencia en la toma de decisiones. Por su parte, [4], resumen que la integración del aprendizaje automático ha mejorado la eficiencia agrícola, pero se enfrenta a desafíos como la adaptabilidad de los modelos y la seguridad de los datos. Algoritmos de aprendizaje supervisado y no supervisado, incluido el aprendizaje automático, identifican patrones y predicen rendimientos agrícolas, como señalan [5, 6], estos últimos destacan la aplicación del aprendizaje automático en diversos aspectos agrícolas, con resultados significativos.

2.3. Identificación y control de plagas y enfermedades

Los Sistemas Expertos Agrícolas (SEA) se emplean extensamente en la detección automática de plagas y enfermedades en cultivos, utilizando inteligencia artificial y tecnologías como Data Mining, Neural Networks, Expert System y Machine Learning. Este enfoque reduce el costo de los químicos aplicados, mejorando la economía agrícola y permitiendo un aumento sostenible de la producción.

En 2012 [7], desarrollaron un sistema experto para diagnosticar plagas y enfermedades en cultivos de berenjena en la región Caribe de Colombia. Utilizando Swi-Prolog, Java, XML y PostgreSQL, el sistema pudo identificar ocho plagas y nueve enfermedades considerando daños en la planta y presencia de insectos, lo que requirió de datos climáticos para mayor precisión.

Con la utilización de SWI-Prolog, [8] en (2020), presentaron un sistema experto para el diagnóstico de enfermedades y plagas en los cultivos de arroz, tabaco, tomate, pimientos, maíz, pepino y frijol. El sistema brindó diagnósticos rápidos y fiables, para prevenir y alertar a los agricultores sobre posibles plagas, ofreciendo datos y soluciones. [1] en 2020, diseñaron e implementaron un sistema experto para el diagnóstico, prevención, control de plagas y enfermedades en el cultivo de la uva; este sistema fue aceptado entre profesionales y técnicos, demostrándose su utilidad.

En plantas ornamentales, [9] en 2021, desarrollaron un sistema experto para diagnosticar plagas y enfermedades, beneficiando a usuarios no expertos y agilizando el análisis temprano. Estos autores utilizaron una metodología descriptiva y cuantitativa, y herramientas como ATOM y PhpMyAdmin, y se validó con diagnósticos expertos. Sin embargo, en este caso particular, concluyen los autores que se necesita más investigación en plagas específicas, para la obtención de más datos, y su aplicación en la práctica agrícola local para evaluar su eficacia y eficiencia.

2.4. Optimización de la gestión del suelo

[10], opinan que la implementación de prácticas de gestión del suelo, incluyendo la monitorización, análisis de datos y modelos de simulación, sobre su composición y condiciones aseguran su calidad y rendimiento agrícola. Al respecto, estos autores concluyeron que la implementación de inteligencia artificial en la agricultura, mediante técnicas como sensores remotos y riego automatizado con GPS, mejora el manejo del suelo y las prácticas agrícolas. Por su lado [11], mencionan que el modelaje en agricultura permite predecir comportamientos de plantas, animales y suelos, considerando interacciones complejas que mejoran la eficiencia en investigación y transferencia tecnológica y facilita la evaluación de innovaciones antes de su implementación, optimizando el uso de recursos.

De acuerdo con [12], se está desarrollando la predicción del rendimiento de los cultivos mediante indicadores de calidad del suelo, integrando técnicas de aprendizaje automático y procesamiento de datos de teledetección. Este enfoque implica el análisis de sus ventajas y desventajas, como la selección de datos mínimos, el uso de drones y satélites, el preprocesamiento de datos y la elección de algoritmos de aprendizaje automático. Los autores proponen un modelo basado en aprendizaje automático para estimar la calidad del suelo a nivel local, utilizando datos de teledetección. La producción del modelo se utilizaría para ajustar las prácticas agrícolas y mejorar el rendimiento de los cultivos.

En este contexto, [13], emplearon inteligencia artificial, específicamente redes neuronales, para analizar los suelos de invernaderos en el sector norte de la provincia de Cotopaxi en Ecuador. Utilizaron sensores y sistemas informáticos para recopilar datos y determinar la idoneidad del suelo para el cultivo de rosas. Los resultados indicaron que las redes neuronales son más estables que otros métodos para evaluar el estado del suelo, lo que permite tomar decisiones precisas sobre su manejo y control. Esta técnica demostró ser eficiente y se ajustó al rango establecido por el sector agrícola, optimizando así el análisis de suelos en invernaderos y facilitando la conversión de suelos dañados en fértiles.

2.5. Análisis y recomendaciones de manejo del agua

En este grupo se incluyen aquellas tecnologías que ofrecen análisis detallados y recomendaciones para el manejo eficiente del agua en la agricultura, incluyendo sistemas de riego inteligente y monitorización del uso del agua. Entre estas tecnologías se consideran los sensores y monitoreo remoto, que permiten medir el uso del agua en los cultivos y detectar fugas en los sistemas de riego, y los modelos de simulación que predicen la demanda del agua de los cultivos y optimizan la programación de riego.

[14] en 2006, desarrollaron un prototipo de sistema experto con el fin de mejorar la eficiencia del uso del agua en la irrigación del cultivo de maíz en Aguascalientes, México. Este sistema experto no solo incluía datos climáticos, sino que también proporcionaba recomendaciones específicas sobre la cantidad de agua a aplicar, el momento adecuado para el riego y los intervalos entre riegos, teniendo en cuenta las distintas etapas de desarrollo del cultivo.

Su estudio demostró la viabilidad de esta herramienta como una alternativa práctica para brindar apoyo a los agricultores, considerando las características climáticas y edáficas de cada región, así como los recursos disponibles en términos de sistemas y equipos de riego. Más recientemente, [15] en 2023, diseñaron un sistema de gestión de riego mediante red de sensores, a fin de aportar en la tecnificación del cultivo de *Solanum phureja*.

Para este cometido se tomaron las variables climáticas y edafológicas, los equipos a emplear y las necesidades del cultivo. Se utilizó el sistema Arduino, plataforma de código libre diseñada para dar facilidad en proyectos de electrónica, en combinación con el programa MatLab, que sirve para realizar cálculos matemáticos con vectores y matrices. La puesta en prueba del sistema demostró una precisión de 98% al momento de la medición de datos, permitiendo una gestión más precisa y eficiente del riego.

2.6. Predicción y gestión de condiciones climáticas

Los sistemas expertos para la agricultura se emplean tanto en la modelización climática como en el monitoreo para anticipar condiciones climáticas y gestionar los cultivos en consecuencia. Estos modelos pronostican eventos extremos como sequías, inundaciones y heladas, permitiendo a los agricultores tomar medidas preventivas y proteger sus cultivos.

Además, funcionan como sistemas de alerta temprana, previniendo a los agricultores sobre la inminente ocurrencia de eventos climáticos adversos, lo que les brinda tiempo para tomar las medidas necesarias y proteger sus cultivos. Con respecto al modelaje, su evaluación se basa en comparar las simulaciones con datos reales, siendo crucial su estrecha correspondencia.

Al menos en Colombia, la escasez de datos agronómicos dificulta la calibración de modelos como AquaCrop y DSSAT. [16] en 2013, menciona que se requiere información detallada sobre fenología, desarrollo y manejo de cultivos, así como variables meteorológicas.

Los modelos dinámicos como AquaCrop, Eto y DSSAT son más sólidos y ya se han utilizado y calibrado en ese país, recomendándose su implementación en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Por otro lado, los modelos AGROMET 2.9 y SIMPROC podrían utilizarse en el futuro, habiendo solicitado permisos de uso en México y Chile para su eventual calibración.

En el caso de los sistemas de alerta temprano, [17], presentaron AgroAlert, una herramienta que anticipa la sequía en cultivos específicos de tres a seis meses de antelación. Este sistema organiza, almacena, manipula, analiza y modela las condiciones agroclimáticas, identificando las zonas de cultivo más vulnerables y permitiendo la adaptación de criterios para analizar y predecir los riesgos.

2.7. Uso de nanomateriales

Las propiedades mecánicas, químicas, térmicas, ópticas, eléctricas y biológicas de los nanomateriales y nanopartículas hacen posible su aplicación en el área agrícola, entre otras. En este campo ofrece oportunidades para mejorar el suministro de fertilizantes, limpiar contaminantes y controlar fitopatógenos [18], (Pérez et al., 2024). Esta tecnología tiene potencial para una agricultura sustentable, pero plantea preocupaciones sobre su seguridad y sustentabilidad. Por esta razón, se requieren protocolos internacionales para la síntesis y caracterización de nanomateriales [19], en 2024.

3. Conclusiones

Los sistemas expertos en agricultura son fundamentales para la toma de decisiones integradas en el manejo de cultivos, la identificación y control de plagas, enfermedades, y la optimización de la gestión del suelo. Además, proporcionan análisis y recomendaciones para el manejo del agua, la predicción y gestión de condiciones climáticas, y exploran el uso de nanomateriales para mejorar la eficiencia agrícola. Estos sistemas permiten una gestión precisa y sostenible, mejorando la productividad y la resiliencia frente a desafíos ambientales y de producción.

Los esfuerzos de los investigadores están encaminados al desarrollo de SE que orienten a los productores a tomar decisiones sobre diferentes aspectos del manejo de cultivos en todo su proceso. Uno de los principales desafíos en la industria agrícola es transferir la información más reciente y actualizada a los agricultores, se desea que los actuales SE proporcionen información en tiempo real a agricultores e investigadores a través de tecnologías del Internet utilizando un sistema experto difuso.

Referencias

1. Yaya-Lévano, J.E.R., Angulo-Altamirano, E.D.: Diseño e implementación de un sistema experto para optimizar el control de plagas y enfermedades en el cultivo de la uva. *Ñawparisun-Revista de Investigación Científica*, vol. 3, no. 1, pp. 83–96 (2020). DOI: 10.47190/nric.v3i1.130.
2. Badaró, S., Ibañez, L.J., Agüero, M.J.: Sistemas expertos: Fundamentos, metodologías y aplicaciones. *Dialnet*, no. 13, pp. 349–364 (2013)
3. Falcón-Suárez, J.A., Betancourt-Perera, R., Liriano-González, R., Pérez-Hernández, Y.: Software para el apoyo a la toma de decisiones en el sector agrícola. *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 13, no. 3, pp. e08 (2023)
4. Araújo, S.O., Peres, R.S., Ramalho, J.C., Lidon, F., Barata, J.: Machine Learning Applications in Agriculture: Current Trends, Challenges, and Future Perspectives. *Agronomy*, vol. 13, no. 12, pp. 2976 (2023). DOI: 10.3390/agronomy13122976.
5. Benos, L., Tagarakis, A.C., Dolias, G., Berruto, R., Kateris, D., Bochtis, D.: Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review. *Sensors*, vol. 21, no. 11, pp. 3758 (2021). DOI: 10.3390/s21113758.
6. Tripathi, P., Kumar, N., Rai, M., Shukla, P.K., Verma, K.N.: Applications of Machine Learning in Agriculture. IGI Global Scientific Publishing, pp. 99–118 (2023). DOI: 10.4018/978-1-6684-6418-2.ch006.

7. Bula, H.D., Aramendiz, H., Salas, D., Vergara, W.E., Villadiego, A.L.: Sistema experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de berenjena (*Solanum Melongena* l.) en la región caribe de Colombia. *Ingeniería e Innovación*, vol. 1, no. 1 (2013). DOI: 10.21897/23460466.765.
8. Medina-Carbó, Y., Santana-Ges, I.M., Leo-González, S.: Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades y plagas en los cultivos del arroz, tabaco, tomate, pimiento, maíz, pepino y frijol. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 10, no. 10, pp. 1–19 (2020). DOI: 10.48550/arXiv.2007.11038.
9. Sandoval-Pillajo, A.L., Checa-Cabrera, M.A., Díaz-Vásquez, R.A., Acosta-Espinoza, J.L.: Sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades y plagas en plantas ornamentales. *Universidad y Sociedad*, vol. 13, no. 3, pp. 505–511 (2021)
10. Bonilla-Segovia, J.S., Dávila-Rojas, F.A., Villa-Quishpe, M.W.: Estudio del uso de técnicas de inteligencia artificial aplicadas para análisis de suelos para el sector agrícola. *RECIMUNDO*, vol. 5, no. 1, pp. 4–19 (2021). DOI: 10.26820/recimundo/5.(1).enero.2021.4-19.
11. Martínez, B., Ruiz-Rosado, O., Gallardo-López, F., Pérez-Hernández, P., Martínez-Becerra, Á., Vargas-Villamil, L.: Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and subtropical agroecosystems*, vol. 14, pp. 999–1010 (2011)
12. Tobar-Díaz, R., Gao, Y., Mas, J.F., Cambrón-Sandoval, V.H.: Clasificación de uso y cobertura del suelo a través de algoritmos de aprendizaje automático: Revisión bibliográfica. *Revista de Teledetección*, no. 62, pp. 1–19 (2023). DOI: 10.4995/raet.2023.19014.
13. Escobar-Iza, R.D., Maliza-Bedon, D.S., Cadena-Moreano, J.A.: Análisis de suelos utilizando redes neuronales en las florícolas de rosas del sector norte de la provincia de cotopaxi. *RECIMUNDO*, vol. 5, no. 2, pp. 316–330 (2021). DOI: 10.26820/recimundo/5.(2).abril.2021.316-330.
14. Ramos-Gourcy, F., Macias-Luevano, J., Díaz, F., Balandrán, F., Mora, M., López, V.: Desarrollo y evaluación de un sistema experto (prototipo) que auxilie en el proceso de irrigación del cultivo de maíz (*zea mays* l.) en aguascalientes. *Investigación y Ciencia*, vol. 14, no. 36, pp. 15–24 (2006)
15. Cubides, A., Bayona-Espitia, J.D., Alejandra, J.: Diseño de un sistema de gestión de riego mediante red de sensores a fin de aportar en la tecnificación del cultivo de *solanum phureja* para la sostenibilidad de la vereda santa ana en el municipio de monguú. *Maestría Manejo y Sostenibilidad Ambiental* (2023)
16. Fernández, M.: Diagnóstico de modelos agroclimáticos. Evaluación del riesgo agroclimático por sectores. FONADE/IDEAM (2013)
17. Sosa-Escalona, Y., Peña-Casadevall, M., Santiesteban-Toca, C.E.: Sistema para la alerta temprana de los efectos del cambio climático en la agricultura. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 11, no. 3, pp. 64–76 (2017)
18. Hernández, H.P., López-Valdez, F., Juárez-Maldonado, A., Méndez-López, A., Sarabia-Castillo, C.R., García-Mayagoitia, S., Torres-Gómez, A.P., Valle-García, J.D., Pérez-Moreno, A.Y.: Implicaciones de los nanomateriales utilizados en la agricultura: una revisión de literatura de los beneficios y riesgos para la sustentabilidad. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, vol. 17, no. 32, pp. 1–50 (2023). DOI: 10.22201/ceiich.24485691e.2024.32.69720.
19. Rodríguez-González, V., Díaz-Cervantes, E.: Potencial de los nanomateriales en la agricultura: retos y oportunidades. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, vol. 17, no. 32, pp. 1–20 (2023). DOI: 10.22201/ceiich.24485691e.2024.32.69802.