



Sistemas expertos en agricultura de precisión: revisión sistemática de la literatura

Expert systems in precision agriculture: systematic literature review

José Rolando García Alba ^{1*}, Rodrigo Rodríguez Franco¹, María Angélica Cerdán¹

¹Tecnológico Nacional de México/ITS de Xalapa, Sección 5a Reserva Territorial S/N, 91096, Xalapa,
Veracruz

* Autor de correspondencia: 207o01185@itsx.edu.mx

Recibido 22 octubre de 2022; recibido en forma revisada 30 de noviembre 2022; aceptado 09 de diciembre 2022

RESUMEN

Recientemente las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC's), se han extendido de manera importante, buscando perfeccionar y sistematizar procesos. En la agricultura, las TIC's han permitido monitorear condiciones meteorológicas, fertilidad del suelo y crecimiento de planta; Buscando fortalecer los esquemas productivos ante la alta y creciente demanda de alimentos. Así, surge la Agricultura de Precisión (AP) que provee modelos, técnicas y herramientas, para optimizar las tareas realizadas en este ámbito, a través de tres etapas de procesamiento: recolección y análisis de datos e implementación (INCyTU, 2018).

En este dominio, la incorporación de diversos campos de estudio como el *Internet of Things* (IoT), el *Big Data*, y el *machine learning*, han dado pie a la creación de innovaciones, entre las que se encuentran los Sistemas

Expertos (SE), cuya finalidad es imitar el raciocinio de un experto humano para solucionar un problema particular (Zerpa et al, 2018).

Ante la diversificación de investigaciones y con la finalidad de identificar temas abiertos, el presente trabajo indaga las aplicaciones recientes de los SE en la AP, con un alcance del 2017 a 2022, consultando cuatro bases de datos científicas, seleccionándose 25 estudios relevantes que se han analizado considerando cuatro preguntas principales y 20 subpreguntas, en una Revisión Sistemática de la Literatura por la metodología de Kitchenham y Charters (2007).

Los resultados muestran que los SE se orientan a diferentes tipos de cultivo, destinados al diagnóstico de enfermedades y dosificación de fertilizantes, principalmente, considerando como beneficiarios a los agricultores. Las principales técnicas aplicadas son los sistemas expertos basados en reglas y algoritmos de aprendizaje automático.

Los temas abiertos identificados, consideran: incluir más cultivos tanto para el diagnóstico, como para dosificación de fertilizantes; agregar módulos para actualizar la base de conocimiento, y; considerar la mejora en los experimentos para determinar la eficacia de las sugerencias.

Palabras Clave: Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's), Agricultura, Sistema de Recomendación, Técnica de Inteligencia Artificial.

ABSTRACT

Recently, Information and Communication Technologies (ICTs) have spread significantly, seeking to improve and systematize processes. In agriculture, ICTs have made it possible to monitor weather conditions, soil fertility, and plant growth. The aim is to strengthen production schemes in the face of the high and growing demand for food. Thus, Precision Agriculture (PA) arises, which provides models, techniques, and tools, to optimize the tasks performed in this area, through three processing stages: data collection, analysis and implementation (INCyTU, 2018).

In this domain, the incorporation of various fields of study such as the Internet of Things (IoT), Big Data, and machine learning, have given rise to the creation of innovations, among which are Expert Systems (ES), whose purpose is to imitate the reasoning of a human expert to solve a particular problem (Zerpa et al., 2018).

Given the diversification of research and intention to identify open topics, the present work investigates the recent applications of ES in PA, with a scope from 2017 to 2022, consulting four scientific databases, selecting 25 relevant studies that have been analyzed considering four main questions and 20 sub-questions, in a Systematic Literature Review by the methodology of Kitchenham & Charters (2007).

The results show that ES is oriented to different types of crops, aimed at disease diagnosis and fertilizer dosage, mainly, considering farmers as beneficiaries. The main techniques applied are rule-based expert systems and machine learning algorithms.

Keywords: Information and Communication Technologies (ICT), Agriculture, Recommender System, Artificial Intelligence Technology.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la agricultura engloba diversas actividades (ganadería, silvicultura, apicultura, etc.), su principal objetivo es asegurar y mejorar la seguridad alimentaria (Dane, 2022). De acuerdo con la FAO (2018), la esfera agrícola es de gran importancia en el desarrollo de las economías mundiales, en 2018 este sector representó el 4% del PIB (Producto Interno Bruto) y en países desarrollados representa hasta el 25% del PIB.

Desde una perspectiva nacional, la agricultura en México es considerada como una de las actividades económicas de mayor trascendencia, que genera gran cantidad de empleos en el país; sector de vital relevancia en el ámbito económico y social (Conoce Hidroponia, 2015).

Tomando en cuenta la reciente pandemia global, México ocupa el décimo segundo lugar en la producción de alimentos a nivel mundial (Enciso, 2021). En otros términos, considerando el primer

trimestre del 2021, la nación produjo 55.2 millones de toneladas de alimentos (SIAP, 2021).

Retomando lo antes mencionado, gracias a la diversidad de climas en México se cultivan alrededor de 228 productos agrícolas. Entre los que destacan y siendo de consumo directo el maíz, frijol, trigo, arroz, sorgo, caña de azúcar y las oleaginosas (SIAP, 2016), en tanto, Veracruz es uno de los principales productores de caña de azúcar, maíz grano, naranja, limón y piña.

Adicionando, y de acuerdo con las Naciones Unidas (s.f.) desde 1950 el crecimiento de la población ha aumentado drásticamente. Para el año 2050 se estima que la ciudadanía alcance los casi 10,000 millones de habitantes. Lo que significa, si estas estadísticas continúan, se requerirán cultivos más eficientes y esto únicamente se alcanzará con el desarrollo de nuevas tecnologías (Bayer, 2021).

Sumando que el cambio climático será cada vez más notorio, en áreas geográficas y condiciones

ambientales, factores que afectan directamente con el bienestar agrícola (Bayer 2021) o incluso incidentes políticos pueden perjudicar la seguridad alimentaria, por ejemplo, la reciente invasión de Rusia al territorio ucraniano. Este acontecimiento, incrementó los precios de los fertilizantes entre 100% y 180 % (Hernández, 2022).

Por lo cual, hoy en día recurrir a métodos de antaño para incrementar y mejorar la producción agrícola resulta limitado. Por ende, la agricultura de precisión (AP) en tiempos recientes abarca distintas técnicas y herramientas para optimizar las tareas realizadas en este ámbito. La AP tiene como objetivo tomar la mejor decisión posible, en el lugar correcto y en el momento adecuado. Abarcando tres etapas: recolección, análisis de datos e implementación; siendo esta última donde empresas o usuarios toman decisiones en función de predicciones o recomendaciones (INCyTU, 2018).

Por consiguiente, la integración de las TIC's en la agricultura permite mejorar diferentes condiciones de la actividad. No sólo desde el punto de vista

meteorológico, sino también a partir de informaciones más complejas como la fertilidad del suelo, la genética de las semillas a sembrar o de los animales a criar (Brecha Cero, 2017). Reforzando lo anterior, el gran soporte de esta disciplina (AP) es indudablemente las TIC's.

La necesidad de salvaguardar la soberanía alimentaria y con el auge de las TIC's, el presente estudio explora las aplicaciones recientes de los SE en la AP. Los resultados indican que los SE se centran en diferentes tipos de cultivo (arroz, maíz, palma aceitera, entre los más relevantes), especialmente orientados al diagnóstico de enfermedades y dosificación de fertilizantes. Las principales técnicas aplicadas son los SE basados en reglas y algoritmos de aprendizaje automático. El análisis es fruto de una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) bajo la metodología de Kitchenham & Charters (2007).

SISTEMAS EXPERTOS

Los SE pertenecen a una subrama de la inteligencia artificial, la década de los 80's vio sus orígenes. Su

inclusión en las diferentes áreas ha permitido sistematizar el conocimiento y razonamiento de un versado. El principal objetivo de un SE es imitar el razonamiento de un experto humano para proporcionar respuestas, sugerencias y recomendaciones de un área en particular (Zerpa et al., 2018). Por su parte Nagori y Trivedi (2014) resaltan que un SE hace uso de conocimientos especializados para resolver problemas como lo hace un especialista.

El SE debe tener la capacidad de explicar el proceso de razonamiento que siguió para llegar a dicha solución. La base de un SE radica en la base de conocimiento (BC), es aquí donde se almacena información sobre un tema de interés. Estos programas han sido de gran ayuda en áreas de la salud, agricultura, educación, etc.

Un SE está conformado de cinco elementos esenciales (Nagori y Trivedi, 2014), Figura 1:

- Base de conocimiento: Contiene el conocimiento necesario para comprender, formular y resolver problemas.

- Motor de inferencia: es el componente esencial de un SE, es el cerebro del mismo, encargado de ejecutar las reglas una a una, partiendo de un encadenamiento hacia adelante o atrás. Esencialmente son líneas de código que vamos a programar de manera estructurada y ejecutadas según la BC.
- Interfaz de usuario: intermediario entre el SE, usuario no experto y experto.
- Experto humano: personas versadas en el tema y quienes proporcionan la BC.
- Usuario no experto: es el encargado de emplear el SE para consultar sugerencias sobre un tema en concreto.

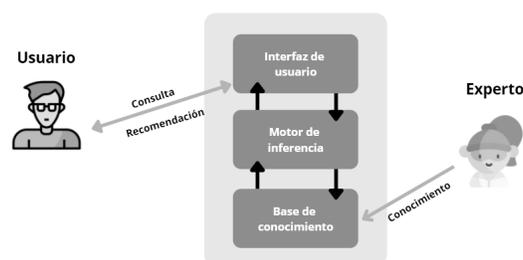


Figura 1 Arquitectura SE. Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó con el afán de conocer temas abiertos en las aplicaciones recientes de SE en la AP y las diferentes técnicas que utilizan para la

elaboración de los SE y su validación. A continuación, se muestra el método seleccionado para realizar esta RSL.

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Para analizar y revisar el estado del arte relacionado con el tema de interés, se ejecutó una RSL por la metodología de Kitchenham y Charters (2007).

Dicho método abarca tres fases: planificación, realización de la revisión y escritura del informe.

En términos generales el enfoque busca definir las preguntas de investigación, conformar la cadena de búsqueda (palabras clave y sinónimos de las palabras clave), escoger las bases de datos a utilizar, imponer criterios de inclusión y exclusión. Después de ubicar el material de excelencia se procede a examinarlo, con el objetivo de extraer información relevante y finalmente se redacta el informe de investigación.

Partiendo del objetivo planteado, como primer paso, se formularon 3 preguntas principales y de ellas se desprendieron 20 subpreguntas (Tabla 1).

Pregunta	Subpreguntas
P1 ¿Cómo modela el SE la base del conocimiento?	a) ¿A qué área es aplicado el SE? b) ¿Cuál es la finalidad del SE? c) ¿A quién va dirigido? d) ¿De qué forma se adquiere la base del conocimiento? e) ¿Cómo se almacena la base del conocimiento? f) ¿Existe un preprocesamiento de la información?
P2 ¿Con qué métodos y técnicas se implementa el sistema experto?	a) ¿Qué métodos y técnicas aborda el SE? b) ¿Cómo se valida la base del conocimiento seleccionada? c) ¿Cómo emite la solución el SE?
P3 ¿Cómo se valida la propuesta?	a) ¿Cuál es el tamaño de la muestra utilizada? b) ¿Con qué tecnologías fue desarrollado? c) ¿Qué aspectos evalúa el SE? d) ¿Qué parámetros tomó en cuenta el SE para emitir la recomendación o sugerencia? e) ¿Qué tipo de prueba o experimento se realiza? f) ¿Dónde fue evaluado? g) ¿Qué resultados se obtuvieron? h) ¿Qué temas abiertos se identifican?

Una vez establecidas las preguntas de investigación se tomaron 4 base de datos para buscar y seleccionar

Tabla 1 Preguntas y subpreguntas RSL.

los artículos, Tabla 2. Considerando los siguientes términos con sus respectivos sinónimos (Tabla 3).

Tabla 2 Bases de datos consultadas

Base de datos	Link
ACM	https://dl.acm.org/
IEEE	https://ieeexplore.ieee.org/
SpringerLink	https://link.springer.com/
Google Academic	https://scholar.google.es/

Tabla 3 Términos y sinónimos de búsqueda

Términos	Sinónimos
Expert system	Artificial intelligence technique, recommender
Dosing unit	Handler
Fertilizer	Compost
Precision agriculture	

Tomando en cuenta la cadena base de búsqueda (Tabla 4), esta se permutó quitando palabras clave, los resultados se observan en la Tabla 6, siempre y cuando aplicando los criterios de inclusión y exclusión para la obtención del material (Tabla 5).

Tabla 4 Cadena de búsqueda base

Cadena base de búsqueda	(Expert system OR Artificial intelligence technique OR Recommender) AND (Handler OR Dosing unit) AND (Fertilizer OR Compost) AND Precision agriculture
--------------------------------	--

Tabla 5 Criterios de inclusión y exclusión RSL

Criterios de inclusión/exclusión
<ul style="list-style-type: none"> • Documentos del 2017 a la fecha. • Documentos encaminados a las ciencias de la computación y al sector agrícola.
<ul style="list-style-type: none"> • Trabajos escritos en el idioma inglés. • Clasificados como artículos, <i>proceedings</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Por relevancia.
<ul style="list-style-type: none"> • Documentos con palabras clave en el título o resumen.

Tabla 6 Resultados de las diferentes cadenas de búsqueda

BD	Cadena de búsqueda	Total
Google A.	(Expert system OR artificial intelligence technique) AND (handler OR dosing unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	101
Google A.	(Expert system OR artificial intelligence technique) AND (dosing unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	224
Google A.	(Expert system OR artificial intelligence technique OR recommender) AND (handler OR dosing unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	4,420
SpringerLink	(Expert system OR artificial intelligence technique) AND (handler OR dosing unit) AND (fertilizer OR	35

	compost) AND precision agriculture	
SpringerLink	(Expert system OR artificial intelligence technique) AND (dosing unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	216
SpringerLink	(Expert system OR artificial intelligence technique OR recommender) AND (handler OR dosing unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	515
ACM	(Expert system OR artificial intelligence technique) AND (handler OR dosing unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	187
ACM	expert system AND dosing unit AND fertilizer AND precision agriculture	218
ACM	(Expert system OR artificial intelligence technique OR recommender) AND (handler OR dosing unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	147
IEEE	(Expert system OR artificial intelligence technique) AND (handler OR dosing unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	514
IEEE	(Expert system OR artificial intelligence technique) AND (dosing	560

	unit) AND (fertilizer OR compost) AND precision agriculture	
IEEE		463

Los artículos primarios fueron obtenidos de la cadena de búsqueda resaltada en negrita, como se aprecia en la Tabla 6.

Finalmente, y después de obtener los artículos primarios (1ª clasificación, Tabla 8) se procedió a revisarlos parcialmente, leyendo el resumen de cada uno, optando por los más relevantes (2da clasificación, Tabla 8). Los trabajos ubicados en la 2da clasificación fueron analizados más a profundidad, examinando la introducción y conclusión de cada uno. Por consiguiente, los estudios situados en la 3ra clasificación son los de mayor interés para documentar la RSL. Importante mencionar, 7 trabajos fueron removidos de la 3ra clasificación, ya que eran RSL, contemplando 25 artículos para su análisis.

Tabla 7 Número de artículos correspondientes a su clasificación

Criterios de revisión	
2da Clasificación	3ra Clasificación
<ul style="list-style-type: none"> Leer resumen o abstract 	<ul style="list-style-type: none"> Leer introducción Leer conclusión

Tabla 8 Resultados clasificación artículos

Resultados			
Base de datos	1^a Clasificación	2^a Clasificación	3^a Clasificación
ACM	187	12	3
IEE	514	47	15
Springer Link	35	4	0
Google A.	101	6	0
Otros			7
Total			25

Continuando con la etapa de extracción de información, Puatasso (2013) sugiere tomar notas conforme se da el proceso de lectura. Con la finalidad de recabar conocimiento esencial, identificar aportes, lagunas y métodos de validación.

En este sentido, se construyó una matriz de extracción empleando los constructos de la Tabla 1. Con la intención de recabar datos relevantes y a más detalle, por ejemplo, enfoque del trabajo, técnicas

y/o algoritmos empleados, tecnologías utilizadas para el desarrollo de los SE y entre otros.

Esta tabla permitió realizar una síntesis cuantitativa como se aprecia en el apartado de resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los 3 constructos de mayor relevancia por cada subpregunta de investigación.

P1 ¿Cómo modela el sistema experto la base del conocimiento? (Tabla 9).

Después de analizar los diferentes trabajos, los sistemas expertos se centran en cultivos como el arroz, palma aceitera, maíz, papa, entre otros. Identificando que el arroz y el maíz son de los principales cereales que se cultivan en el territorio mexicano. Considerando estos últimos, se vislumbra un área de oportunidad para mejorar su rendimiento, por ejemplo, las aplicaciones enfocadas al maíz se centran en detectar plagas o enfermedades a lo largo del ciclo de cultivo. Sería de gran ayuda proponer un SE para la dosificación de fertilizantes en este cereal,

ya que, Veracruz es uno de los mayores productores, actualmente ocupa el 5° lugar.

La mayor parte de los trabajos se orientan en la detección/diagnóstico (29.4 %) de enfermedades y en la recomendación de fertilizantes (29.4 %), pero en este último y como se mencionó no abarca al maíz. Asimismo, los SE son desarrollados para que el agricultor tome mejores decisiones durante el ciclo de cultivo con un 80.6%. Considerados como usuarios potenciales, dado que, muchos de ellos no cuentan con el recurso para adquirir el servicio de un experto en el área, dando paso a los SE por su accesibilidad y bajo costo de adquisición.

Mientras tanto, la base de conocimiento es proporcionada por expertos en la agricultura (33.3 %), revisando la literatura (23%) o bien es suministrada por empresas (15.3 %) y en algunos casos se da la combinación ideal: analizando la literatura y esta a su vez es validada y complementada por versados en el tema con un 23%.

Algunos trabajos dejan la duda de cómo adquirieron la BC, y muy pocos SE poseen un algoritmo

computacional para el preprocesamiento de la información (7.6 %), tan solo, el 15.3% realizan un ajuste de valores en los datos recabados. O bien emplean los datos de mayor relevancia para entrenar la técnica de IA o en su caso conformar las reglas (11.5 %).

Tabla 9 P1 -¿Cómo se modela la base de conocimiento?

Sub-preguntas y respuestas		Resultados	
		#	%
P1.a	Arroz	5	19.2
	Palma aceitera	4	15.3
	Maíz	2	7.6
	Otros: cultivos en general, venta fertilizante, plátano, papa, mango, orquídea negra, Bambú, café, Soja, y cultivo frutal		
P1.b	Recomendación de fertilizante	10	29.4
	Detección/Diagnóstico de enfermedades	10	29.4
	Mejorar la toma de decisiones en el proceso de agricultura	2	5.8
	Otros: control de nutrientes, detección del suelo óptimo, detección de plagas, brindar consejos, identificar el cultivo idóneo, clasificación de cultivos, recomendaciones en general (proceso de cultivo),		

	control/monitoreo del cultivo, predicción de desastres naturales, automatización de riego		
P1.c	Agricultor	25	80.6
	Estudiantes	2	6.4
	Empresas	2	6.4
	Otros: Inversionista, experto agricultor		
P1.d	Expertos agricultores	13	33.3
	Revisión de la literatura	9	23
	Proporcionado por empresas	6	15.3
	Otros: expertos en las ciencias de la computación, estudio de campo, sensores		
P1.e	Base de datos SQL	14	53.8
	Reglas	4	15.3
	No menciona	8	30.7
P1.f	Ajuste de valores	4	15.3
	Datos de mayor importancia	3	11.5
	Algoritmo computacional	2	7.6

P2 ¿Con qué métodos y técnicas se implementa el sistema experto? (Tabla 10).

Para el desarrollo de los sistemas expertos, los autores emplearon reglas con la estructura IF-THEN (31.7%), árboles de decisión (12.2%) y redes

neuronales (9.7%). Las técnicas citadas comprenden el área de la inteligencia artificial y algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning en inglés).

Como es de esperarse, cuando la BC es modelada, se infiere que deba ser validada por un experto en el tema, prácticamente la mitad de la BC de los SE es aprobada por expertos, con un 54%. Entonces el restante de la BC (46 %) por quién es avalada, y más sabiendo de su importancia para el entrenamiento de los algoritmos o en su defecto para conformar la BC de un SE.

Considerando los elementos base de un SE, la interfaz de usuario es el medio de interacción entre el especialista/usuario y el SE. A partir de este componente, el usuario ingresa un número determinado de variables con la intención de obtener respuestas a un problema en específico. Buena parte de los programas informáticos utilizan una aplicación web (34.6 %), móvil (23 %), mensajes de texto (SMS) (11.5 %) o bien software multiplataforma (3.85 %). En algunos casos, los SE

no mencionan el canal por el cual emiten su recomendación (27 %), dejando a la imaginación que estos estudios son de corto alcance o en vías de desarrollo.

Pero en ningún momento, de los 25 artículos revisados informan si existe un módulo para agregar nueva BC. Conociendo que los datos en la agricultura pueden cambiar de un instante a otro, a raíz de la volatilidad de las condiciones ambientales.

Tabla 10 P2 - ¿Con qué métodos y técnicas se implementa el sistema experto?

Preguntas y subpreguntas		Resultados	
		#	%
P2.a	Reglas	13	31.8
	Árbol de decisión	5	12.2
	Redes neuronales	4	9.8
	Otros: Teorema de bayes, factor de certeza (reglas), minería de datos, programación lineal, lógica difusa, tablas de decisión, razonamiento basado en casos, bosques aleatorios		
P2.b	Expertos	13	54
	No menciona	12	46
P2.c	GUI / Web	9	34.6
	App móvil	6	23
	SMS	3	11.5
	Otros: multiplataforma		

P3 ¿Cómo se valida la propuesta? (Tabla 11).

Los casos de prueba varían dependiendo el alcance del proyecto, la mayoría de los trabajos revisados se encuentran en etapas tempranas de desarrollo, y son evaluados para obtener los primeros resultados. Por ende, el 77.7 % de los estudios emplean menos de 50 casos de prueba.

Por otro lado, la meta principal de los SE es brindar una buena precisión/exactitud (73 %) e incrementar el rendimiento de los cultivos (7.8 %), principalmente.

Observando que la totalidad de los estudios analizados recurren a tecnologías de licencia GNU (Licencia Pública General) para su programación: Python (17.1%), bases de datos SQL (17.1%), PHP (11.4%), Java (5.8%) o Weka (2.9%); herramienta para el análisis de datos.

Para emitir las recomendaciones/sugerencias los programas informáticos toman como parámetros las características de la planta (34%), las condiciones del suelo (25%), un intervalo de tiempo (11.3%), condiciones climáticas (6.9%).

En la etapa de pruebas, los SE son simulados con casos de prueba (45.8%), las salidas son comparadas con las de un experto humano (20%) o bien únicamente evalúan el algoritmo (11.4%). Lo anterior, con la finalidad de medir la exactitud de la recomendación.

Por su parte, el 31.8% de los SE que emplean reglas, mostraron una media de exactitud del 88.1%, el puntaje más bajo fue de 66.7%, y tres de ellos reflejaron una calificación del 100%

De los 25 artículos estudiados, el 37.5% fueron desarrollados en Indonesia, India (20.8%), Ecuador (8.3%), entre otros.

Mientras tanto, se distinguen algunos temas abiertos, principalmente a la hora de agregar nueva base de conocimiento, sabiendo que los datos cambian constantemente y más en el sector agrícola. La totalidad de los trabajos solo están disponibles para un cultivo, no mencionan como se almacena la BC, existen limitaciones en los casos de prueba y lagunas al adquirir o validar la BC. Siendo este elemento, el cerebro del SE.

Tabla 11 P3 - ¿Cómo se valida la propuesta?

Preguntas y subpreguntas		Resultados	
		#	%
P3.a	< 50 casos	14	77.7
	> 50 < 100 casos	1	5.5
	> 100 < 1600 casos	3	16.6
	Otros: no especifican		
P3.b	Python	6	17.1
	Base de datos (SQL)	6	17.1
	PHP	4	11.4
	Otros: Java, Android, Matlab, Weka, HTML/CSS,		
P3.c	Precisión, exactitud	18	73.08
	Rendimiento del cultivo	2	7.8
	Otros: no mencionan (19.2%)		
P3.d	Características de la planta/cultivo	15	34
	Condiciones del suelo	12	27.2
	Intervalo de tiempo (año, mes)	5	11.3
	Otros: condiciones climáticas, tipo riego, datos estadísticos, datos de sensores, información proporcionada por el usuario		
P3.e	Simulación (casos de prueba)	15	45.8
	Las salidas del SE se comparan con las de un experto humano	7	20
	Evaluación del algoritmo	4	11.4
	Otros: se compara con otros sistemas, cuestionario a usuarios, las salidas son probadas en un entorno real		
P3.f	Indonesia	9	37.5
	India	5	20.8

	Ecuador	2	8.3
	Otros: China, Colombia, Sri Lanka, Filipinas, Japón y Tailandia		
P3.g	< 70% precisión/exactitud	1	7.1
	> 70% <= 80% precisión/exactitud	2	14.2
	> 80% <= 90% precisión/exactitud	5	35.8
	> 90% < 100% precisión/exactitud	2	14.2
	= 100% precisión/exactitud	4	28.6
	Otros: no mencionan		
P3.h	Cómo agregar nueva base de conocimiento	22	18.80
	Únicamente está disponible para un cultivo	21	17.9
	Base de datos empleada	17	14.53
	Otros: El SE no está disponible en una app móvil, lenguajes de programación empleados, tamaño limitado de pruebas, limitación al adquirir o validar la BC		

CONCLUSIONES

Considerando el avance tecnológico, el aumento de la población, la degradación de los suelos y en general el cambio climático. La soberanía alimentaria podría tambalearse en los próximos años, si lo antes expuesto sigue en repunte.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación tenía como finalidad identificar áreas de oportunidad en el sector agrícola. Llevando a cabo una RSL siguiendo

la metodología de Kitchenham y Charters para el análisis de 25 estudios.

En definitiva, los sistemas expertos aplicados en el sector agrícola han mostrado importantes aportaciones, principalmente en el diagnóstico de enfermedades y dosificación de fertilizante. Pero en este último, ningún trabajo se centra en el cultivo de maíz. Siendo de los cereales más importantes a nivel mundial, particularmente en el territorio mexicano. Reiterando que las dosis de fertilizantes pueden ser muy variadas, y la falta de conocimiento de los agricultores de cómo aplicarlos conlleva un gran riesgo, tanto para su cultivo, medio ambiente, y su coste de adquisición. Más aún en recientemente, con la invasión de Rusia a Ucrania, que ha ocasionado que el precio de estas sustancias se haya elevado exponencialmente.

BIBLIOGRAFÍA

BAYER. 2020. El incremento de la eficiencia de los sistemas agrícolas sólo se puede conseguir con el desarrollo de la tecnología. Bayer. Disponible en:

<https://www.bayer.com/es/es/blog/espana-el-incremento-de-la-eficiencia-de-los-sistemas-agricolas>

BRECHA CERO. 2017. Las TIC como apoyo a la agricultura en países de desarrollo.

Brecha cero. Disponible en:

<https://brechacero.com/las-tic-como-apoyo-a-la-agricultura-en-paises-en-desarrollo/>

CONOCE HIDROPONIA. 2015. Importancia de la agricultura en México.

Hidroponia. Disponible en:

<http://hidroponia.mx/importancia-de-la-agricultura-en-mexico/>

DANE, K. 2022. Why is Agriculture Important and its Role in Everyday Life.

Agriculture Goods. Disponible en:

<https://agriculturegoods.com/why-is-agriculture-important/>

ENCISO, A. 2021. México ocupa doceavo lugar en producción mundial de alimentos: Sader. La Jornada.

Disponible en:

<https://www.jornada.com.mx/notas/2021/07/14/politica/mexico-ocupa-doceavo-lugar-en-produccion-mundial-de-alimentos-sader/>

HERNÁNDEZ, E. 2022. La invasión de Rusia a Ucrania dispara hasta 180% el precio de los fertilizantes. Forbes México.

Recuperado de:

<https://www.forbes.com.mx/invasion-rusia-ucrania-dispara-precio-fertilizantes/>

KITCHENHAM, B. Y S.M. CHARTERS.

2007. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. ResearchGate.

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/302924724_Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_Reviews_in_Software_Engineering

UN (Naciones Unidas). s.f. Una población en crecimiento. Disponible en:

<https://www.un.org/es/global->

- [issues/population#:~:text=Una%20pobla
ci%C3%B3n%20en%20crecimiento&te
xt=Se%20alcanzaron%20los%205.000%
20millones,mundo%20de%207%20mil
%20millones%22](https://www.fao.org/3/i2490e/i2490e01c.pdf)
- NAGORI, V. Y B. TRIVEDI. 2014. Types of expert system: Comparative study. *Asian journal of computer and information systems*. 2(2). Disponible en: <https://www.ajouronline.com/index.php/AJCIS/article/view/948>
- INCyTU (Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión) 2018. Foro Consultivo Científico y tecnológico, AC. Agricultura de precisión. Disponible en: https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Part 1. Macroeconomy. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i2490e/i2490e01c.pdf>
- PAUTASSO, M. 2013. Ten simple rules for writing a literature review. *PLoS computational biology*. 9(7). Disponible en: 10.1371/journal.pcbi.1003149
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Veracruz un mar de riquezas. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- ZERPA, H., C. BECERRO., H. IZQUIERDO Y A. RAMOS. 2018. Herramienta web para el desarrollo ágil de sistemas expertos. *Universidad Ciencia y Tecnología*. 3(03), 10-10. Disponible en:

<https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/90>