

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**Sistema de información para la gestión de la dosificación de químicos en la
fertilización de cultivos de papa basado en reglas de inferencia: una
revisión de literatura**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA INFORMÁTICA**

AUTOR

Edwin Frank Gonzáles Rodríguez

ASESOR:

Eder Ramiro Quispe Vilchez

Lima, Julio, 2020

Resumen

El presente trabajo de investigación presenta una revisión de literatura sobre un sistema de información para la gestión de la dosificación de químicos en la fertilización de cultivos de papa basado en reglas de inferencia.

En la introducción se presenta el contexto del tema a investigar, mencionando la falta de información que presentan actualmente los medianos y pequeños agricultores del norte del Perú.

Luego, desarrollando la revisión, primero se presenta la búsqueda sistemática realizada en Scopus y IEEE mediante preguntas de investigación realizadas con el método PICOC. De los artículos encontrados se realiza un filtro por criterios de exclusión e inclusión para obtener los más relevantes.

Finalmente, se realiza una búsqueda tradicional para encontrar soluciones actuales que tengan relación con el tema del presente trabajo. Así, finalmente se discute sobre los resultados de ambas búsquedas.

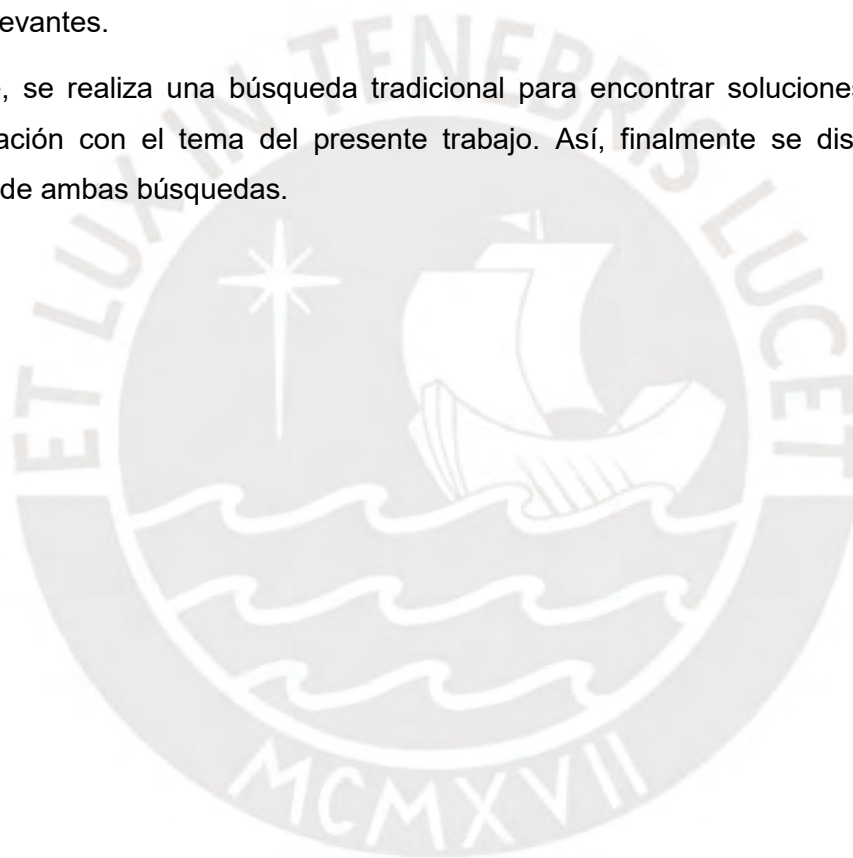
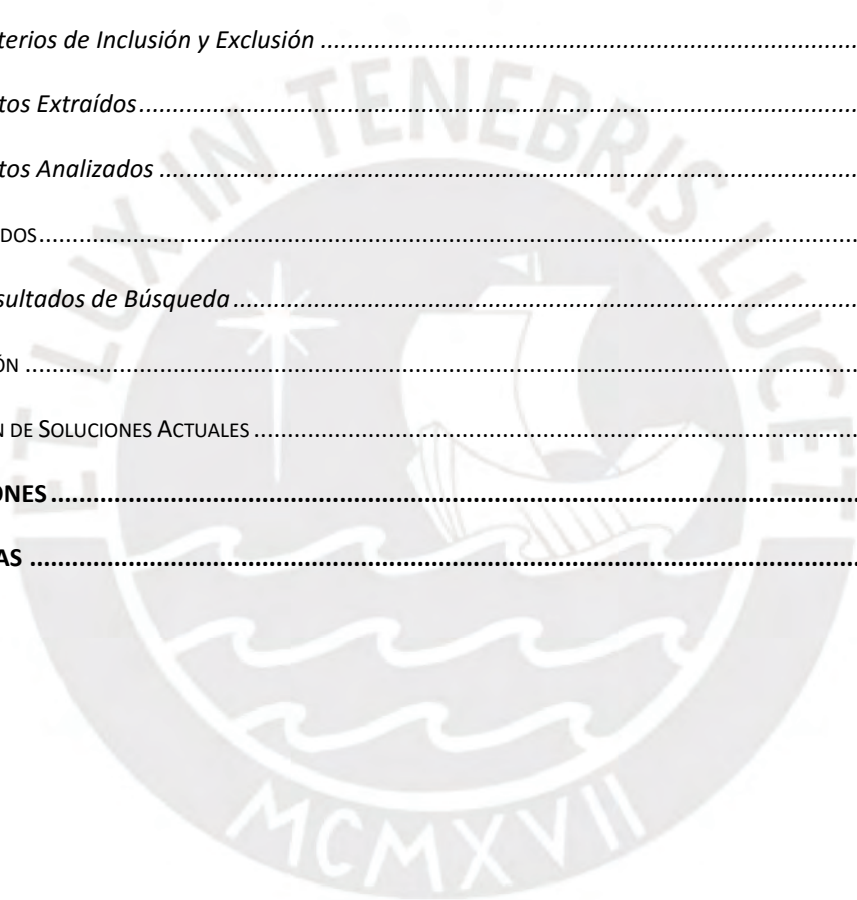


Tabla de Contenido

RESUMEN	2
ÍNDICE DE TABLAS	4
1 INTRODUCCIÓN	5
2 MÉTODO	7
2.1 REVISIÓN SISTEMÁTICA	7
2.1.1 Preguntas de Investigación.....	7
2.1.2 Proceso de Búsqueda.....	8
2.1.3 Criterios de Inclusión y Exclusión	8
2.1.4 Datos Extraídos.....	9
2.1.5 Datos Analizados	9
2.2 RESULTADOS.....	9
2.2.1 Resultados de Búsqueda.....	9
2.3 DISCUSIÓN	11
2.4 REVISIÓN DE SOLUCIONES ACTUALES	15
3 CONCLUSIONES	17
4 REFERENCIAS	18



Índice de Tablas

Tabla 1: Conceptos y cadena de búsquedas	7
Tabla 2: Cantidad de artículos relevantes encontrados	9
Tabla 3: Lista de artículos relevantes encontrados	9
Tabla 4: Cantidad de artículos relevantes por pregunta de investigación	11
Tabla 5: Artículos que cumplen con la primera pregunta de investigación	11
Tabla 6: Artículos que cumplen con la segunda pregunta de investigación	12
Tabla 7: Artículos que cumplen con la tercera pregunta de investigación	15



1 Introducción

La productividad de la agricultura peruana se encuentra en constante crecimiento. Entre el 2000 y 2015 el Producto Bruto Interno nacional agrícola creció a un promedio de 3.3% anual, siendo mayor al promedio regional latinoamericano (Banco Mundial, 2017). Esto también puede ser observado en el segundo trimestre del 2019 en el informe técnico de producto bruto interno (PBI) trimestral donde también se observa que la agricultura continúa en crecimiento respecto a los periodos anteriores, incluso desestacionalizado (INEI, 2019).

Así, en el territorio peruano la sierra es la región con mayor superficie de tierras de cultivo. Los resultados del IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) señalan que un 46.3% del total de superficies de cultivos en el Perú se encuentran en la zona andina, mientras que la costa y selva abarca una superficie de 23.7% y 30.1% respectivamente (MINAGRI, 2012).

Dentro de estos terrenos, uno de los productos más cultivados de todo el Perú es la papa, principalmente por los pequeños y medianos agricultores (superficies menores a 5 hectáreas) cuya condición económica y educativa son factores determinantes para el desempeño en estas actividades agronómicas. En el PBI del 2015 de los productos agropecuarios, la papa constituye un 11,09% (INEI, 2015).

En ese sentido y como parte de las actividades agronómicas que realizan en sus cultivos, la fertilización química es una de las prácticas agronómicas más importantes para cualquier clase de cultivo, incluyendo la papa, pues permite incrementar el rendimiento y la calidad de los tubérculos cosechados. Si bien existen distintos factores que influyen en el cultivo, como la temperatura y suelo, es la fertilización el más importante de los factores manejables por el agricultor. Así, ello dependerá del manejo responsable y del uso adecuado de los fertilizantes (Universidad Nacional Agraria la Molina). Para que la fertilización pueda ser exitosa es necesario que los nutrientes aplicados a los cultivos sean exactos, caso contrario podrían generarse deformaciones en el producto. Por ejemplo, en el caso de la papa, la sobredosificación de nitrógeno en relación con la disponibilidad de otros elementos se induce a la producción de papas extra grandes, pero se reduce su contenido de almidones, y también se aumenta la susceptibilidad a las plagas, especialmente a las enfermedades causadas por hongos y bacterias (Guía MIP en el cultivo de la papa, 2004).

En la mayoría de los casos, los productores no realizan un análisis previo a la siembra, y lo hacen en forma empírica por recomendaciones de proveedores comerciales, recomendaciones de sus vecinos, por costumbre de experiencia en años anteriores o por la disponibilidad de sus recursos económicos. (MINAGRI, 2012)

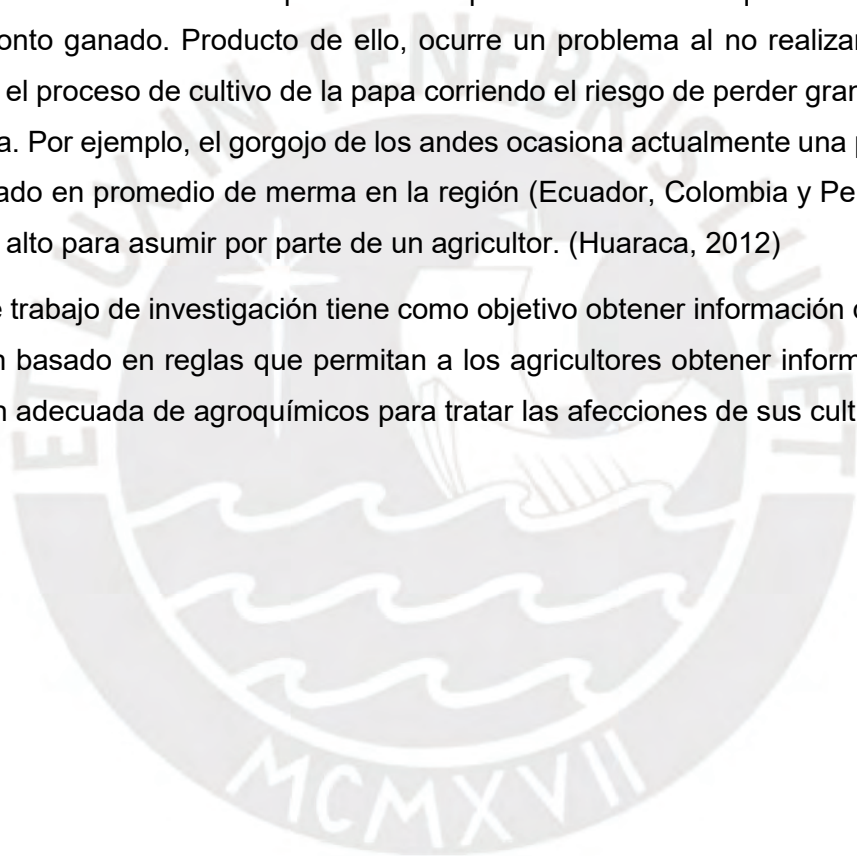
Estas dificultades agrónomas se observan en la Región La Libertad, tomando relevancia al ser el segundo mayor aportante al PBI en el 2015 en productos agrícolas. Así mismo, dentro

de este se tiene como uno de los principales productores de papa que a la provincia de Otuzco. (MINAGRI, 2018)

A nivel nacional los recursos económicos de los pequeños productores son escasos, según un reporte realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el 2008 los agricultores de la sierra centro ganan en promedio 2583 soles (INEI, 2008). Esta situación es difícil para los agricultores debido a que no pueden financiar la consulta de un profesional experto en la materia, cuyos salarios entre S./ 1 000 a 2 000 y con un promedio de S./1 433 en el caso de técnicos y para universitarios un promedio de S./ 2 080 en un rango de 1 100 a 3 500. (MTPE, 2017)

Así, debido a las ganancias que poseen los productores es que no pueden costear el asesoramiento constante de un profesional experto en la materia que excede en más del doble al monto ganado. Producto de ello, ocurre un problema al no realizar un adecuado cuidado en el proceso de cultivo de la papa corriendo el riesgo de perder gran porcentaje de su ganancia. Por ejemplo, el gorgojo de los andes ocasiona actualmente una pérdida el 50% de lo cultivado en promedio de merma en la región (Ecuador, Colombia y Perú). Este es un riesgo muy alto para asumir por parte de un agricultor. (Huaraca, 2012)

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo obtener información de sistemas de información basado en reglas que permitan a los agricultores obtener información sobre la dosificación adecuada de agroquímicos para tratar las afecciones de sus cultivos.



2 Método

A continuación se presenta el proceso seguido para la obtención de artículos y trabajos académicos relacionados al proyecto. Así, se realizó una búsqueda sistemática, mediante el planteamiento de preguntas de investigación a través del método PICOC: Población, Intervención, Comparación, Salida (“Outcome”) y Contexto. Las preguntas fueron buscadas en los repositorios digitales de Scopus y IEEE.

Adicionalmente, se realizó una búsqueda tradicional para indagación de sistemas de información actuales que traten la problemática. De igual forma, los datos de agricultura descritos en la introducción fueron obtenidos mediante este método a través de informes y reportes del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) y Banco Mundial.

2.1 Revisión Sistemática

2.1.1 Preguntas de Investigación

Para la búsqueda sistemática se definió los conceptos mediante el método de Población, Intervención, Salida y Contexto; basado en el método PICOC. Estas definiciones se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Conceptos y cadena de búsquedas

Criterio	Conceptos Identificados	Cadena de Búsqueda
Población	sistema experto, sistema basado en reglas	"expert system" OR "rule based system" OR "knowledge Based System"
Intervención	agricultura, cultivo, cosecha	"agriculture" OR "crop" OR "harvest"
Comparación	No aplica	-
Salida	Sistemas de información aplicados en la agricultura para la optimización en el proceso de cultivo.	-
Contexto	Académico, aplicaciones a la agricultura de papa, seguimiento de aplicación de nutrientes / pesticidas.	-

En base a los conceptos anteriormente definidos es que se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Existen investigaciones sobre sistemas expertos, basado en reglas o basado en conocimientos, que den soporte al proceso de cultivo en la agricultura?

2. De existir, ¿Estos desarrollan el sistema e interactúan con un usuario para optimizar su proceso de cultivo?
3. Además, ¿Estos sistemas proveen una asistencia para la dosificación de abonos/medicamentos para optimizar el cultivo?
4. Finalmente, ¿Estos soportan el proceso de cultivo de papas?

2.1.2 Proceso de Búsqueda

La búsqueda usando la revisión sistemática se limitó a usar las bases de datos de Scopus y IEEE, aplicando las preguntas de investigación a través de cadenas de búsqueda con el método PICOC. Se seleccionaron estas fuentes ya que poseen prestigio, son confiables y tienen relación con el tema de ingeniería informática del presente trabajo.

2.1.3 Criterios de Inclusión y Exclusión

Para la búsqueda sistemática se consideraron las bases de datos de Scopus y IEEE debido a su nivel de confiabilidad en temas de investigación de ingeniería. Estas fueron consultadas entre el 2019-09-16 y el 2019-09-24 para la obtención de resultados.

Como filtros iniciales se tomaron en consideración que sean de los últimos 5 años de publicación, lenguaje en español o inglés y que sean del tipo artículo, documento de conferencia, libro, capítulo de un libro o una crítica en la base de datos Scopus; debido a la gran cantidad de investigaciones obtenidas. Esto no fue aplicado para las demás fuentes ya que las cantidades fueron menores y los resultados pertenecían a fechas más recientes (no más de 10 años).

Una vez definidos estos filtros, se definieron los criterios para la exclusión e inclusión de artículos relacionados con el proyecto.

Criterios de exclusión:

- Artículo solo enfocado en la detección de plagas o enfermedades a través de dispositivos electrónicos/IoT.
- Artículo que solo soporta al proceso de siembra o cosecha de las plantas.
- Artículo con desarrollo de optimización de crecimiento de una planta a través de un espacio controlado o con la finalidad de encontrar la dosis adecuada para su cultivo.
- Artículos no relacionados con temas de agricultura, como acuicultura o ganado.
- Artículos a los cuales no se tiene acceso para ser revisado.

Criterios de inclusión:

- Artículos que desarrollan sistemas expertos que soportan el proceso de cultivo en el sector agrícola.
- Artículos que identifican plagas o deficiencias en cultivos a través del input de los agricultores.
- Artículos que programan y sugieren la dosificación de medicamentos y/o pesticidas para la optimización del cultivo.

2.1.4 Datos Extraídos

Los datos considerados a extraer de cada artículo para el análisis correcto de relación con la investigación son el título, el resumen, autor(es), tipo de documento, año de publicación, las palabras claves y el artículo como tal.

2.1.5 Datos Analizados

Por cada trabajo de información extraído se evaluará si el tema que abordan y el desarrollo del artículo como tal se relaciona con un sistema de información que soporte en la gestión de la dosificación de químicos en la fertilización de cultivos de papa basado en reglas de inferencia. Así, primero se evaluará si no es descartado por un criterio de exclusión. De no ser el caso, se procede a evaluar si responde al menos a uno de las preguntas de investigación, cumpliendo así los criterios de inclusión.

2.2 Resultados

2.2.1 Resultados de Búsqueda

Al aplicar los criterios de exclusión e inclusión se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2: Cantidad de artículos relevantes encontrados

Base de datos	Cantidad de Artículos	Artículos Duplicados	Artículos Relevantes
Scopus	102	0	14
IEEE	62	12	10
ACM	8	0	2
Total	164	12	26

Aplicando solo la cadena de búsqueda (y filtros para el caso de Scopus) se tiene las cantidades de artículos de 62 en la base de datos de IEEE, 8 en ACM y 102 para Scopus. Sin embargo, entre ellas se encontraron 12 artículos duplicados, las cuales fueron descartadas.

Luego, aplicando los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron 26 artículos en total que tienen relevancia con el proyecto a desarrollar. Estas se presentan a continuación:

Tabla 3: Lista de artículos relevantes encontrados

ID	Año	Autor(es)	Título
A01	2019	Kashapov, N.F.; Nafikov, M.M.; Gazetdinov, M.K.H.; Gazetdinov,	Modern problems of digitalization of agricultural production

		S.H.M.; Nigmatzyanov, A.R.	
A02	2017	Deepthi, M.B.; Sreekantha, D.K.	Application of expert systems for agricultural crop disease diagnoses -A review
A03	2017	Shikalgar, S.; Kolhe, M.; Bhalerao, N.; Pansare, S.; Laddha, S.	A cross platform mobile expert system for agriculture task scheduling
A04	2017	Mite-Baidal, K.; Delgado-Vera, C.; Solís-Avilés, E.; Jiménez-Icaza, M.; Baque, W.; Santos-Chico, M.P.	Knowledge-based expert system for control of corn crops
A05	2016	Chougule, A.; Jha, V.K.; Mukhopadhyay, D.	Ontology Based System for Pests and Disease Management of Grapes in India
A06	2015	Kawtrakul, A.; Amornantarant, R.; Chanlekha, H.	Development of an expert system for personalized crop planning
A07	2019	Muslihudin, M.; Sathesh Kumar, K.; Ilayaraja, M.; Shankar, K.; Lailaturrohmah; Putra, D.P.; Hashim, W.; Maselena, A.	Expert system in determining the quality of nutmeg breed using website-based forward chaining methods
A08	2012	Y. Li; W. Zhang; H. Yang	The application of expert system and neural networks in crop growth management system
A09	2007	G. Yanxia; W. Baozhong; R. Zhenhui	Research of Precision Farming Expert System Based on GIS
A10	2013	S. N. Islam	ShellAg: Expert System Shell for Agricultural Crops
A11	2009	C. Mao; Y. Hongbo; S. Junwei; C. Man	The Research of Crop Expert System Based on GSM
A12	2013	B. Maurya; M. R. Beg; S. Mukherjee	Expert system design and architecture for farming sector
A13	2005	Haiyan Song; Yong He	Crop nutrition diagnosis expert system based on artificial neural networks
A14	2009	Z. Zhu; R. Zhang; J. Sun	Research on GIS-Based Agriculture Expert System
A15	2013	P. Mercy Nesa Rani; T. Rajesh; R. Saravanan	Development of expert system to diagnose rice diseases in Meghalaya state
A16	2015	A. Arora; L. K. Saha; S. Marwaha; R. Jain; A. K. Jha	Online system for Integrated Pest Management on tomato in AGRIdaksh
A17	2016	O. O. Mazhara; S. I. Shapovalova	Production system for express diagnostics of the agriculture and natural resources objects for portable devices
A18	2019	Buitrón, E.J.G.; Corrales, D.C.; Avelino, J.; Iglesias, J.A.; Corrales, J.C.	Rule-based expert system for detection of coffee rust warnings in colombian crops
A19	2019	Birhanie, W.; Tegegne, T.	Knowledge Based System for Diagnosis and Treatment of Mango Diseases

A20	2018	Puvvada, N.; Prasad Babu, M.S.	Semantic web based banana expert system
A21	2018	Kishor, R.V.; Shatrughan, K.P.; Balasaheb, M.K.; Sadashiv, M.B.; Sachin, V.; Gaike, V.V.; Seetamraju, M.	Agromet Expert System for Cotton and Soyabean Crops in Regional Area
A22	2018	Devraj; Jain, R.; Deep, V.; Mishra, S.	Development and implementation of an expert system for insect-pests management in pulses
A23	2018	Pandey, P.; Litoriya, R.; Tiwari, A.	A framework for fuzzy modelling in agricultural diagnostics
A24	2017	Agustina, E.; Pratomo, I.; Wibawa, A.D.; Rahayu, S.	Expert system for diagnosis pests and diseases of the rice plant using forward chaining and certainty factor method
A25	2016	Asanee Kawtrakul and Nicolas Spyrtos	SOFT WHEEL: An Information System for Optimizing Rice Production
A26	2019	Nghia Duong-Trung and Luyi-Da Quach and Minh-Hoang Nguyen and Chi-Ngon Nguyen	Classification of Grain Discoloration via Transfer Learning and Convolutional Neural Networks

Siendo estos los artículos identificados como relevantes con los cuales se busca responder las preguntas de investigación descritas anteriormente, se verifica cuántas cumplen por cada pregunta:

Tabla 4: Cantidad de artículos relevantes por pregunta de investigación

Pregunta de Investigación	Cantidad
¿Existen artículos sobre sistemas expertos, basado en reglas o basado en conocimientos que den soporte al proceso de cultivo en la agricultura?	26
De existir, ¿Estos desarrollan el sistema e interactúan con un usuario para optimizar su proceso de cultivo?	19
Además, ¿Estos sistemas proveen una asistencia para la dosificación de abonos/medicamentos para optimizar el cultivo?	6
Finalmente, ¿Estos soportan el proceso de cultivo de papas?	0

2.3 Discusión

Para la primera pregunta de investigación: ¿Existen investigaciones sobre sistemas expertos, basado en reglas o basado en conocimientos que den soporte al proceso de cultivo en la agricultura?, se obtuvo que existen diversos artículos que responden a la pregunta a manera de desarrollo de un sistema experto que soporte al proceso de cultivo de agricultura. Sin embargo, también existieron 7 artículos que solo plantean un diseño o marco para el desarrollo de un sistema experto futuro. Así, estos se presentan a continuación:

Tabla 5: Artículos que cumplen con la primera pregunta de investigación

ID	Respuesta a la Pregunta de Investigación 1: ¿Existen investigaciones sobre sistemas expertos, basado en reglas o basado en conocimientos, que den soporte al proceso de cultivo en la agricultura?
A01	Se investiga sobre los problemas que suceden en el sector agrícola y cómo estos son producto de malos tratamientos en su proceso de cultivo. Así, propone el desarrollo de sistemas expertos para su respectiva resolución.
A02	Investigación sobre la aplicación de sistemas expertos para el diagnóstico de enfermedades en los cultivos de arroz en la India.
A08	Plantea un sistema experto, a través de redes neuronales, para la gestión de crecimiento de cultivos agrícolas en general. Este posee una interfaz con la que se comunica con el usuario para la visualización de resultados/predicciones.
A10	Investigación sobre ShellAg, un sistema experto enfocado en la agricultura, que puede ser adaptado para el caso conveniente de cada plantación. Además se presenta algunos avances de aplicaciones que vienen siendo desarrollado en conjunto con ShellAg.
A11	Análisis de un sistema experto en cultivos basados en GSM (Global System for Mobile Communication) el cual permite interactuar con el usuario a través de SMS. Este se entrena constantemente con las resoluciones que dan los expertos en el área ampliando la capacidad de resoluciones.
A14	Estudio de un sistema experto agrícola en la que se basa en un GIS. Este presenta el diseño detallado de cómo implementar la parte de las inferencias para la resolución de problemas.
A23	Propone un marco para un desarrollo de un sistema experto que soporte a los agricultores en general para que puedan aplicar la dosis correcta de los productos que tengan que aplicar a sus cultivos.

Los 19 artículos restantes no se muestran ya que vienen a ser desarrollos de un sistema experto, el cual es la pregunta de investigación 2: De existir, ¿Estos desarrollan el sistema experto e interactúan con un usuario para optimizar su proceso de cultivo? Estos también cumplen con la pregunta 1, pero al desarrollarse e implementarse tienen una relevancia mayor. Además, interactúan con el usuario para la optimización del cultivo, no solo está basado en sensores electrónicos. Estos 17 artículos se presentan a continuación:

Tabla 6: Artículos que cumplen con la segunda pregunta de investigación

ID	Respuesta a la Pregunta de Investigación 2: De existir, ¿Estos desarrollan el sistema experto e interactúan con un usuario
----	--

	para optimizar su proceso de cultivo?
A03	Desarrollo de un sistema experto móvil multiplataforma que permite organizar los eventos en el proceso de cultivo (como la aplicación de fertilizante) y sugerir alertas sobre datos que pudieran afectar el mismo (meteorológico, plagas).
A04	Diseño y desarrollo de un sistema experto basado en conocimiento para el proceso de cultivo y cosecha de maíz, de modo que pueda ayudar a determinar a los agricultores la manera óptima de aumentar el rendimiento de sus huertos.
A05	Propuesta y desarrollo de un sistema experto para la detección de plagas y enfermedades que afecten a las uvas, de modo que se aumente su rendimiento, en la región de la India.
A06	Elaboración de un sistema experto para optimizar los cultivos de arroz a través de la generación de un calendario de cultivos personalizado, permitiendo reducir el riesgo de condiciones climáticas adversas y enfermedades. El trabajo está centrado en dos partes: sugerencia las variedades más adecuadas en ciertos periodos de tiempos y la generación de un calendario donde se planifique las actividades de cultivo más altas (riego, abono), más no una dosificación de las mismas.
A07	Se desarrolló un sistema experto, través de una interfaz web, que permite al usuario determinar la calidad con la que debe cumplir la semilla de nuez moscada para que el cultivo de la misma sea la más apropiada.
A09	Desarrollo de un sistema experto agrícola en la que se enfoca en las características de la tierra, definiéndose como GIS: Sistema de información geográfico, para optimizar cualquier proceso de cultivo. Este contiene una interfaz de usuario para recibir los inputs en la toma de decisiones y mostrar los resultados.
A12	Diseño de un sistema experto para el sector agrícola que permita la obtención de datos en vivo del clima de internet y que del agricultor se obtenga las características de su cultivo para que se le otorgue recomendaciones visuales y auditivos para la aplicación de pesticidas y la cantidad adecuada en su tratamiento.
A13	Investigación que propone el diseño e implementación un sistema experto para ayudar a los agricultores a detectar trastornos de nutrición en el tiempo de cultivo.

A15	Se desarrolla un sistema experto para los agricultores de arroz del estado de Meghalaya con el fin de identificar las enfermedades que afectan a estos cultivos. Se realizó mediante un sistema web, el cual ofrecía reconocimiento de imágenes y descripción del problema para la resolución del mismo.
A16	Se desarrolló un sistema experto para el cultivo de tomates en los cuales se puede introducir la información/síntomas sobre la enfermedad o plaga para su identificación y recomendaciones basadas en los casos pertinentes.
A17	Desarrollo e implementación de un sistema experto en una aplicación móvil que pueda identificar las plagas de cultivos en general mediante preguntas realizadas a los usuarios sobre sus plantaciones.
A18	A través de un sistema experto basado en reglas y con la interacción con el agricultor de café permite una detección temprana (advertencia) de la raya, una enfermedad que afecta a gran parte de los cultivos.
A19	Se desarrolló un sistema basado en conocimientos que permitía la detección de enfermedades que pudieran afectar los cultivos de mango. Este se aplicó en Ambo Plant Protection Research Center and Assosa arrojando resultados positivos.
A20	Investigación para el desarrollo de un sistema experto para el cultivo de plátanos a través de un sistema web. Este proporciona información sobre ese proceso de cultivo y las enfermedades que pueden afectar al mismo.
A21	Desarrollo de un sistema experto AGROMET que brinda soporte en el cultivo de algodón y soja en la India. Este es accedido a través de mensajería instantánea. Este alcance cubre el tratamiento de enfermedades y la aplicación de plaguicidas.
A22	Desarrollaron e implementaron un sistema experto que se enfoca en la detección y tratamiento de plagas de insectos en las legumbres.
A24	Desarrolla un sistema experto que permite la identificación de enfermedades o plagas a todo el proceso de cultivo del arroz mediante la interacción con usuarios que brindan características de sus plantas.
A25	Propone un sistema de información (integrado con un sistema experto) que ayuda en el proceso de siembra y cultivo de arroz para que se tome las acciones correctas para obtener un resultado óptimo. Además, se plantea la característica de fácil integración con otros sistemas, como alguno de reducción de riesgos.

A26	Desarrollo de un sistema experto basado en redes neuronales para el soporte en el ataque a las plagas/enfermedades en el arroz. Este da como resultado la solución más adecuada acorde al problema detectado. Cabe resaltar que se logró una clasificación con precisión del 88,2%
-----	--

Respondiendo la pregunta de investigación 3: ¿Estos sistemas proveen una asistencia para la dosificación de abonos/medicamentos para optimizar el cultivo?, se obtuvo una minoría de 6 artículos. Ello debido a que la gran mayoría de sistemas solo se enfocan en la detección de plagas o enfermedades de cultivos, y mostraban esto como resultado al usuario. A continuación, se presenta la selección de artículos:

Tabla 7: Artículos que cumplen con la tercera pregunta de investigación

ID	Respuesta a la Pregunta de Investigación 3: Además, ¿Estos sistemas proveen una asistencia para la dosificación de abonos/medicamentos para optimizar el cultivo?
A04	Parte de la recomendación para la optimización del proceso de cultivo del maíz se provee la dosificación de ciertos productos que pudieran ayudar con tal fin.
A12	Según el diseño propuesto, provee una recomendación de la cantidad adecuada de medicamentos una vez identificada la mejor en base a las características de sus cultivos y factores externos (como el clima y terreno)
A19	Además de detectar las enfermedades que pudieran estar afectando los cultivos de Mango, el sistema también arroja un tratamiento respectivo a fin de optimizar el proceso de cultivo.
A20	Como parte de la información que proporciona el sistema, también indicaría la dosificación de pesticidas o medicamentos en general para que se pueda optimizar el proceso de cultivo.
A21	Al considerar como parte de su alcance el tratamiento de enfermedades, la aplicación de plaguicidas y fertilizantes es que cuenta con resultados que indican la dosificación necesaria de estos últimos para la optimización del cultivo.
A22	Sugiere tratamientos adecuados a las plagas que pudiesen afectar al cultivo. Así, este involucra que el sistema sugiera la dosificación de los medicamentos necesarios.

Para la cuarta pregunta de investigación: Finalmente, ¿Estos soportan el proceso de cultivo de papas? No se encontraron investigaciones que la respondan con total exactitud. Las fuentes anteriormente presentadas para las demás preguntas o tratan sobre otras diversas

plantas (como arroz, tomates, café) o un sistema genérico; sin embargo, ninguna específicamente abordaba sobre el cultivo de la papa.

2.4 Revisión de Soluciones Actuales

Para este proyecto la búsqueda tradicional fue utilizada para obtener información específica de reportes de la situación de la agricultura en el Perú y sus regiones. Así, se consultaron informes y reportes del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) y Banco Mundial con antigüedad no mayor a 10 años.

Así mismo, se procedió con una búsqueda de sistemas similares que ya existen en la actualidad, especificando a que soporte en el proceso de cultivo de papa. Para ello se usaron los términos “sistema experto”, “sistema basado en reglas” y “sistema basado en conocimiento” en conjunto con “cultivo de papa”.

Sistema Experto de Papa – SEPA

Investigación y desarrollo de un sistema experto por Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Este un software utilizable mediante instalación para Windows enfocado en la detección y tratamiento de enfermedades/plagas en el cultivo de papa. Este solicita al usuario datos de su finca, del propietario y del cultivo; donde se indica la fecha de la emergencia y devuelve como resultado un reporte con lo detectado y la dosis del medicamento.

EPapa

Tesina elaborada en la Universidad Nacional de San Marcos que desarrolla un sistema de información basado en recomendaciones que soporta en el cultivo de papa para la región de Puno. Este otorga recomendaciones acordes a lo ingresado por el usuario para que optimice su cultivo y con reglas de comparación básicas incrustadas en el código. Sin embargo, no proporciona un detalle de la dosificación de medicinas/abonos para el tratamiento.

3 Conclusiones

Con la cadena de búsqueda definida con la población e intervención se pudo responder las tres de las cuatro preguntas de investigación planteadas con un total de veintiséis artículos. Estos resultados fueron obtenidos de las bases de datos de Scopus, IEEE y ACM.

Cabe resaltar que también se realizó una búsqueda en el repositorio de tesis PUCP; sin embargo, no se logró encontrar ningún artículo que sea considerado de relevancia para este proyecto.

Así, primero se puede concluir que existen diversos artículos que desarrollan e investigan sistemas expertos que interactúan con el usuario, en este caso se encontraron 26. Entre estos destacan algunas investigaciones que proponen marcos de desarrollo de estos sistemas para que cumplan con la recomendación de acciones con el fin de optimizar el proceso de cultivo.

Segundo, que también existen artículos que desarrollan estos sistemas y son aplicados en distintas plantas (como el arroz, tomate y café) aportando en la detección de plagas/enfermedades y recomendaciones de acciones en el proceso de cultivo. Para esta búsqueda fue de 18 artículos.

Tercero, de estos sistemas de información se encontraron que, para esta búsqueda, existen 6 artículos. Estos se desarrollan planteando una presentación de resultados a través de sugerencias y/o indicaciones de la dosificación de abonos/medicamentos, otorgando mejores oportunidades de mejorar el cultivo para los agricultores.

Finalmente, se concluye que no existen artículos, resultado de la búsqueda sistemática, que investiguen sobre un sistema experto que ayuden en el proceso de cultivo específicamente de la papa. Sin embargo, si se encontraron sistemas de información en la búsqueda tradicional que cumplen una parte del proyecto planteado, sin brindar un soporte completo al no ofrecer características de reglas o mejores interfaces hacia el agricultor.

4 Referencias

- A. Arora, L. K. Saha, S. Marwaha, R. Jain, & A. K. Jha. (2015). Online system for Integrated Pest Management on tomato in AGRIdaksh. *2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 1125–1129.
- Acosta, A. (2016). *Sistema de información basado en recomendaciones para mejorar el rendimiento del cultivo de papa en la región de Puno aplicando metodología Ágil XP*. Lima: UNMSM
- Agustina, E., Pratomo, I., Wibawa, A. D., & Rahayu, S. (2017). Expert system for diagnosis pests and diseases of the rice plant using forward chaining and certainty factor method. *2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Strengthening the Link Between University Research and Industry to Support ASEAN Energy Sector, ISITIA 2017 - Proceeding, 2017-January*, 266–270. <https://doi.org/10.1109/ISITIA.2017.8124092>
- B. Maurya, M. R. Beg, & S. Mukherjee. (2013). Expert system design and architecture for farming sector. *2013 IEEE Conference on Information & Communication Technologies*, 10–15. <https://doi.org/10.1109/CICT.2013.6558053>
- Birhanie, W., & Tegegne, T. (2019). *Knowledge Based System for Diagnosis and Treatment of Mango Diseases* (Vol. 1026). https://doi.org/10.1007/978-3-030-26630-1_2
- Buitrón, E. J. G., Corrales, D. C., Avelino, J., Iglesias, J. A., & Corrales, J. C. (2019). Rule-based expert system for detection of coffee rust warnings in colombian crops. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 36(5), 4765–4775. <https://doi.org/10.3233/JIFS-179025>
- C. Mao, Y. Hongbo, S. Junwei, & C. Man. (2009). The Research of Crop Expert System Based on GSM. *2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 4, 705–707. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2009.884>

- Chougule, A., Jha, V. K., & Mukhopadhyay, D. (2016). Ontology Based System for Pests and Disease Management of Grapes in India. *Proceedings - 6th International Advanced Computing Conference, IACC 2016*, 133–138. <https://doi.org/10.1109/IACC.2016.34>
- DGCA. Manual de Manejo y Control de Plagas y Enfermedades: Dirección General de Competitividad Agraria. 2011. https://www.agropuno.gob.pe/files/documentos/biblioteca/manual_mip_haba.pdf
- Deepthi, M. B., & Sreekantha, D. K. (2017). Application of expert systems for agricultural crop disease diagnoses -A review. *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies, ICICCT 2017*, 222–229. <https://doi.org/10.1109/ICICCT.2017.7975192>
- Devraj, Jain, R., Deep, V., & Mishra, S. (2018). Development and implementation of an expert system for insect-pests management in pulses. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(7), 99–103. Recuperado de Scopus.
- Duong-Trung, N., Quach, L., Nguyen, M., & Nguyen, C. Proceedings of the 3rd International Conference on Machine Learning and Soft Computing. *Classification of Grain Discoloration via Transfer Learning and Convolutional Neural Networks*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3310986.3310997>
- G. Yanxia, W. Baozhong, & R. Zhenhui. (2007). Research of Precision Farming Expert System Based on GIS. *2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, 2–858. <https://doi.org/10.1109/ICEMI.2007.4350815>
- Haiyan Song, & Yong He. (2005). Crop nutrition diagnosis expert system based on artificial neural networks. *Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05)*, 1, 357–362 vol.1. <https://doi.org/10.1109/ICITA.2005.108>

- Huaraca Hugo (2012). Conozca y reduzca la población del gusano blanco de la papa (Premnotrypes vorax H.). *Guía de campo para capacitación a capacitadores. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias – INIAP*. Quito, Ecuador.
- Kashapov, N. F., Nafikov, M. M., Gazetdinov, M. K. H., Gazetdinov, S. H. M., & Nigmatzyanov, A. R. (2019). Modern problems of digitalization of agricultural production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 570. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/570/1/012044>
- Kawtrakul, A., Amorntarant, R., & Chanlekha, H. (2015). Development of an expert system for personalized crop planning. *7th International ACM Conference on Management of Computational and Collective Intelligence in Digital EcoSystems, MEDES 2015*, 250–257. <https://doi.org/10.1145/2857218.2857272>
- Kawtrakul, A. & Spyrtatos, N. (2016). SOFT WHEEL: An Information System for Optimizing Rice Production. *Proceedings of the 8th International Conference on Management of Digital EcoSystems*. ACM <https://doi.org/10.1145/3012071.3012073>
- Kishor, R. V., Shatrughan, K. P., Balasaheb, M. K., Sadashiv, M. B., Sachin, V., Gaike, V. V., & Seetamraju, M. (2018). Agromet Expert System for Cotton and Soyabean Crops in Regional Area. *2018 International Conference On Advances in Communication and Computing Technology, ICACCT 2018*, 149–154. <https://doi.org/10.1109/ICACCT.2018.8529664>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2016). *Política Nacional Agraria*. <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/p-agraria/politica-nacional-agraria.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2012). *IV CENSO NACIONAL AGROPECUARIO* - 2012. <https://www.agrorural.gob.pe/dmdocuments/resultados.pdf>

- Ministerio del Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE). (2017). *Perú: Remuneración promedio mensual, mínima, máxima de jóvenes profesionales*.
<https://www.ponteencarrera.pe/como-va-el-empleo>
- Mite-Baidal, K., Delgado-Vera, C., Solís-Avilés, E., Jiménez-Icaza, M., Baque, W., & Santos-Chico, M. P. (2017). *Knowledge-based expert system for control of corn crops* (Vol. 749). https://doi.org/10.1007/978-3-319-67283-0_7
- Muslihudin, M., Sathesh Kumar, K., Ilayaraja, M., Shankar, K., Lailaturrohmah, Putra, D. P., ... Maselena, A. (2019). Expert system in determining the quality of nutmeg breed using website-based forward chaining methods. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(1), 3309–3318. Recuperado de Scopus.
- O. O. Mazhara, & S. I. Shapovalova. (2016). Production system for express diagnostics of the agriculture and natural resources objects for portable devices. *2016 International Conference on Electronics and Information Technology (EIT)*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/ICEAIT.2016.7500997>
- P. Mercy Nesa Rani, T. Rajesh, & R. Saravanan. (2013). Development of expert system to diagnose rice diseases in Meghalaya state. *2013 Fifth International Conference on Advanced Computing (ICoAC)*, 8–14.
<https://doi.org/10.1109/ICoAC.2013.6921919>
- Pandey, P., Litoriya, R., & Tiwari, A. (2018). A framework for fuzzy modelling in agricultural diagnostics. *Journal Europeen Des Systemes Automatises*, 51, 203–223. <https://doi.org/10.3166/JESA.51.203-223>
- Puvvada, N., & Prasad Babu, M. S. (2018). Semantic web based banana expert system. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8(3), 364–371. Recuperado de Scopus.
- Sepa Sistema Experto de Papa*. (s. f.). Recuperado de
<https://books.google.com.pe/books?id=GeQJN917M30C>

- S. N. Islam. (2013). ShellAg: Expert System Shell for Agricultural Crops. *2013 International Conference on Cloud & Ubiquitous Computing & Emerging Technologies*, 83–86. <https://doi.org/10.1109/CUBE.2013.24>
- Shikalgar, S., Kolhe, M., Bhalerao, N., Pansare, S., & Laddha, S. (2017). A cross platform mobile expert system for agriculture task scheduling. *Proceeding - IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2016*, 835–840. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2016.7813831>
- Y. Li, W. Zhang, & H. Yang. (2012). The application of expert system and neural networks in crop growth management system. *2012 7th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, 595–598. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2012.6295145>
- Z. Zhu, R. Zhang, & J. Sun. (2009). Research on GIS-Based Agriculture Expert System. *2009 WRI World Congress on Software Engineering*, 3, 252–255. <https://doi.org/10.1109/WCSE.2009.104>