

# Revisión sistemática de literatura: Inteligencia Artificial en sanidad vegetal

Lorena Guadalima-Inga, Raquel Lojano-Chavez, Miguel Cabrera-Sarango  
Carrera de Ingeniería en Sistemas  
Universidad Nacional de Loja  
Loja, Ecuador  
{leguadalimai,raquel.lojano,macabreras}@unl.edu.ec

**Resumen**—La agricultura es un campo de constante lucha entre los agricultores, debido a que, con frecuencia, tienen elementos que restan el rendimiento de los cultivos como son: la parte meteorológica, plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales, malas yerbas, entre muchas otras, siendo la sanidad vegetal donde se constituye un problema relevante dentro de la agricultura. Resulta necesario realizar un análisis y evaluación de los métodos empleados actualmente para minimizar el impacto de los daños en cuanto a la salud de las plantas se refiere. El objetivo del presente estudio es identificar las principales técnicas de inteligencia artificial empleadas para la detección de enfermedades en las plantas y su efectividad, centrándonos en la aplicabilidad de sistemas expertos para este fin.

**Abstract**—Agriculture is a field of constant struggle among farmers, because they often have elements that reduce the yield of crops such as: the weather, pests, diseases, nutritional deficiencies, bad herbs, among many others, being health plant where it constitutes a relevant problem within agriculture. It is necessary to carry out an analysis and evaluation of the methods currently used to minimize the impact of damage in terms of plant health. The objective of the present study is to know the main artificial intelligence techniques used for the detection of diseases in plants and their effectiveness.

**Keywords**—Digital agriculture, Smart agriculture, Precision agriculture, Predictive analysis, Plant health, Artificial Intelligence, Expert systems.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se tiene acceso a una gran cantidad de información, especialmente en Internet, haciendo en muchas ocasiones tediosa la selección de la información relevante de la que no lo es, sin embargo existen las Revisiones Sistemáticas de Literatura (RSL), que consisten en investigaciones científicas donde se analizan los estudios originales, ayudando a sintetizar la información obtenida en base a las preguntas de investigación, y lo más importante, la validez de las conclusiones de los estudios al finalizar la investigación, no es una tarea sencilla realizar una RSL, pero ayuda a situar el estado actual en el que se encuentra el tema a investigar y a su vez identificar nuevos o futuros proyectos.

En lo que concierne a la Inteligencia Artificial (IA) se puede evidenciar que se encuentra inmersa en todas las áreas del conocimiento y el área de las ciencias agrícolas y veterinaria no es la excepción, específicamente en la disciplina de agricultura, que ha tomado gran importancia debido a los grandes beneficios que se obtiene en comparación a la obtenida en la agricultura tradicional, por ello la necesidad de indagar sobre este campo, y conocer de forma clara el antes y después de la agricultura vinculada con la IA. Así pues, surge la necesidad de conocer ¿Cómo ayuda la IA en la salud vegetal?, antecedendo a esta pregunta otros cuestionamientos

como: ¿Cuáles son los efectos de vincular la IA en la agricultura?, ¿Cómo ayuda la IA en la sanidad vegetal?, además descubrir ¿Qué técnicas de la inteligencia artificial se aplican en la salud vegetal? y finalmente ¿De qué manera mejoran los sistemas expertos la sanidad vegetal? A fin de dar respuesta a estas preguntas y partiendo del hecho que no existen muchos trabajos de estudios de sistemas expertos aplicados a la agricultura en la sanidad vegetal, se realizó la siguiente investigación.

## II. METODOLOGÍA

Para la recopilación de la información, se inició la búsqueda; determinando las palabras clave, además se establecieron cadenas de búsqueda, las búsquedas se realizaron en las bases de datos electrónicas (véase Tabla I), mediante los criterios de exclusión e inclusión de documentos (idioma, año, título, resumen, etc.) La Figura 1 muestra el proceso, con la finalidad que el filtro sea más eficiente. En las secciones posteriores se describe con claridad el proceso que se realizó para la recolección y síntesis de la información. El método de revisión sistemática de literatura se basa en la metodología propuesta por Barbara Kitchenham [1].

### A. Preguntas de investigación

Para llevar a cabo la investigación se plantea las siguientes preguntas de investigación, con la finalidad de encontrar términos claros y precisos, para identificar los componentes principales.

- ¿Cuál es el estado actual de la IA en la agricultura?
- ¿Cómo ayuda la IA en la salud vegetal?
- ¿Qué técnicas de la IA se aplican en la salud vegetal?
- ¿Cómo contribuyen los sistemas expertos a la sanidad vegetal?

### B. Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda a partir de la formulación de palabras clave, en bases de datos científicas electrónicas, de forma automatizada, posteriormente se describe los protocolos de búsqueda y las bases de datos usadas.

#### 1) Términos de búsqueda

Para la búsqueda de la información se identificó términos específicos con relación al tema de la IA y salud vegetal, con la ayuda del Tesoro de la IEEE, estos términos fueron traducidos al idioma inglés, los mismos que se presentan a continuación:

- Digital agriculture
- Smart agriculture
- Precision agriculture

- Predictive análisis
- Plant Health
- Expert Systems
- Artificial intelligence

2) *Diseño de los protocolos de búsqueda*

Una vez identificados los términos, se combinaron con operadores booleanos AND y OR, con el propósito de elaborar una mejor estrategia de búsqueda y maximizar los resultados, el diseño de los protocolos de búsqueda podemos dividir a continuación:

- “Agriculture” AND “Artificial intelligence”
- “Plant Health” AND “Artificial intelligence”
- “Artificial intelligence” AND “Agriculture” AND Health
- “Artificial intelligence” OR “Precision agriculture” AND “Plant Health”
- “Artificial intelligence” AND “Agriculture” OR “Smart agriculture”
- “Expert Systems” AND “Plant Health”

3) *Recursos utilizados*

La búsqueda de información se realizó en Internet, mediante herramientas de búsqueda especializadas como son las bases de datos, ya que los datos que contienen son selectivos, confiables y de temas diversos. A continuación, se presenta la Tabla I con las bases de datos usadas:

TABLA I Lista de Bases de Datos

Código	Base de Datos	Url
BD1	Wos	http://apps.webofknowledge.com/
BD2	Scopus	http://scopus.com/
BD3	ACM	https://dl.acm.org/
BD4	IEEE	https://ieeexplore.ieee.org
BD5	Springer	https://link.springer.com/
BD6	Science Direct	https://www.sciencedirect.com/

4) *Criterios de selección*

A continuación, se presentan los criterios aplicados para la selección de los estudios, la estrategia de exploración y los métodos para la recolección y síntesis de la información.

**Criterios de inclusión**

- Filtro por publicación: artículos seleccionados en el área de ambientales, salud vegetal; y que fueran publicados en el periodo comprendido entre los años 2015 al 2020.
- Filtro por palabras: tomando como palabras claves: Plant health, Artificial Intelligence y los operadores booleanos empleados: OR y AND.

**Criterios de exclusión**

Se establece los criterios de exclusión, para que los documentos encontrados sean de mayor precisión.

- Idioma: se consideraron los documentos en idioma inglés.

5) *Proceso de selección*

Con base en la obtención de los primeros resultados de la búsqueda de información se presenta en la Tabla II, con el contenido total de los documentos obtenidos para posteriormente analizarlos y preseleccionarlos.

TABLA II Número de documentos obtenidos por cadena de búsqueda

Código	Base de Datos	Cadena de búsqueda	# doc
BD1	Wos	"Artificial intelligence" AND "Plant health"	13
BD2	Scopus	"Expert systems" AND "Agriculture" AND "Plant health"	54
BD3	ACM	"Plant health" AND "Artificial intelligence"	06
BD4	IEEE	Artificial Intelligence" AND "Agriculture" AND "health"	84
BD5	Springer	Artificial Intelligence AND Plant health	17
BD6	Science Direct	"Expert systems" AND "Plant health"	05
Total			179

6) *Primera selección de artículos*

Se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos especificadas en la Tabla II, donde se incluyeron los términos del Figura 1. A partir de los títulos y resúmenes identificados se realizó una primera selección, para lo cual se diseñó una hoja de cálculo, eliminando los que no se correspondían con el objeto de investigación, obteniendo un resultado de 179 documentos.

7) *Segunda selección de artículos*

En esta segunda selección se obtuvieron 46 documentos, de los cuales se analizaron los siguientes datos: introducción, cuartil, las metodologías empleadas en la investigación y cuáles fueron las conclusiones obtenidas del estudio.

8) *Tercera selección de artículos*

Finalmente contamos con 13 documentos de los cuales se procede a realizar un análisis más profundo con una lectura crítica, con el propósito de verificar que los artículos responden las preguntas planteadas. Se presenta un diagrama de flujo con el proceso de localización y selección de los documentos que ayudan a responder las preguntas planteadas, así como los eliminados y la causa de su eliminación, correspondientes a cada fase, en la Figura 1 contiene el proceso.

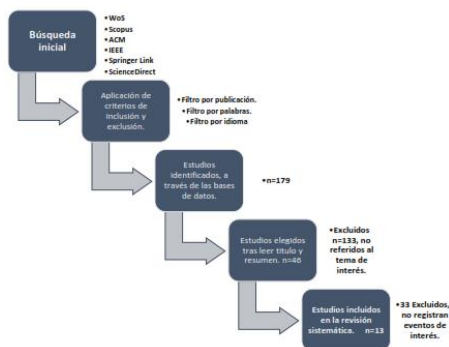


Figura 1 Inclusión y exclusión de documentos

C. Descargar y guardar los resultados

Posteriormente, se procedió a conseguir los textos completos de los documentos aceptados, siendo estos descargados y almacenados en el gestor de bibliografía Mendeley con formato “.bib”.

1) Evaluación de calidad

Los primeros estudios obtenidos no fueron muy diversos, en su gran mayoría fueron artículos y congresos, por ello se utilizó a Kitchenham y Brereton [1] para evaluar la calidad de los diferentes documentos obtenidos, los documentos se clasificaron en función del tipo de estudio y se utilizó un conjunto genérico de preguntas para evaluar su rigurosidad, credibilidad y relevancia, y de esta manera obtener los documentos finales. Este instrumento de calidad fue desarrollado por Dybå y Dingsøyr en su revisión sistemática sobre ingeniería de software, y es aplicable a la mayoría de los estudios. Se evaluó la calidad de cada estudio clasificándolo según 11 criterios diferentes recogidos en la Tabla III cada una de las preguntas tenía tres respuestas opcionales: “Si”, “parcialmente” y “No”. Siguiendo a Wen y otros [2] estas respuestas se puntuaron de la siguiente forma: “Si” = 1, “parcialmente” = 0,5, y “No” = 0. La evaluación de calidad de los artículos se calcula sumando las puntuaciones de las respuestas a las preguntas previamente definidas.

TABLA III Criterios de calidad

ID	Criterio de calidad	valor		
		Si=1	No=0	Par=0.5
CC1	¿Los objetivos de la investigación están claramente especificados?	Si=2	No=0	Par=0.5
CC2	¿El estudio fue diseñado para lograr esos objetivos?	Si=3	No=0	Par=0.5
CC3	¿El documento encontrado, responden a las preguntas planteadas para la investigación?	Si=1	No=0	Par=0.5
CC4	¿Existe una descripción adecuada del contexto en el que se llevó a cabo la investigación?	Si=1	No=0	Par=0.5
CC5	¿Los métodos de recolección de datos se describen adecuadamente?	Si=1	No=0	Par=0.5
CC6	¿Está claro el propósito del análisis de los datos?	Si=1	No=0	Par=0.5
CC7	¿La metodología de investigación fue apropiado para abordar los objetivos de la investigación?	Si=1	No=0	Par=0.5
CC8	¿Las técnicas estadísticas utilizadas para analizar los datos se describen adecuadamente y se justifica su uso?	Si=1	No=0	Par=0.5
CC9	¿Los investigadores solucionan algún problema y lo reflejan en sus resultados?	Si=1	No=0	Par=0.5
CC10	¿Está clara la relación entre los datos, la discusión y las conclusiones?	Si=1	No=0	Par=0.5
CC11	¿Están las conclusiones respaldadas por los resultados que se presentan?	Si=1	No=0	Par=0.5

D. Estrategias de extracción y síntesis de datos

Los datos fueron extraídos bajo filtros, utilizando tres análisis; para el primer análisis, se realizó una lectura del título y resumen de los diferentes artículos obtenidos, aplicando las palabras claves y cadenas de búsqueda, además

de los criterios de inclusión y exclusión, arrojándonos un número de artículos de interés en cada base de datos utilizada, posteriormente se procedió al segundo análisis donde además del título y resumen, se tomó en cuenta la introducción, conclusiones y cuartil, ayudando a obtener los artículos concretos y a considerar o excluir los artículos dudosos obtenidos del primer análisis. Finalmente, se procede al tercer análisis donde se considera los criterios de calidad para determinar si los artículos responden a las preguntas planteadas al inicio de la investigación, obteniendo los artículos potenciales en el estudio. Para extraer los datos, se usó la herramienta Mendeley y un documento de Excel en línea que contiene los tres filtros realizados.

Para más detalles, acceder al enlace:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1aizYNHHIO1O6mh95W764IJOB5Umx12meu2p4x1DPE/edit?usp=sharing>

Los resultados obtenidos luego haber ejecutado el protocolo de la RSL, se pueden evidenciar en la Tabla II con un resultado de 179 documentos, mismos que fueron evaluados mediante criterios de inclusión y exclusión, obteniendo un resultado final de 13 documentos descritos en la Tabla IV.

TABLA IV Extracción de datos

Código	Base de datos	Cadena de búsqueda	# doc
Paper 1	Wos	"Artificial intelligence" AND "Plant health"	02
Paper 2	Scopus	"Expert systems" AND "Agriculture" AND "Plant health"	07
Paper 3	IEEE	Artificial Intelligence" AND "Agriculture" AND "health"	03
Paper 4	Springer	Artificial Intelligence AND Plant health	01
Total			13

III. RESULTADOS

En la revisión general las estrategias aplicadas, identificaron un total de 179 documentos, los cuales fueron objeto a sucesivas filtraciones, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión, resultando 46 artículos correspondientes a estudios secundarios. En 7 artículos no fue posible acceder a los textos completos. Finalmente, el número total de estudios seleccionados fue de 13 documentos, con la ayuda de la herramienta Mendeley se procedió almacenar y organizar de una mejor forma los documentos (véase Figura 2).

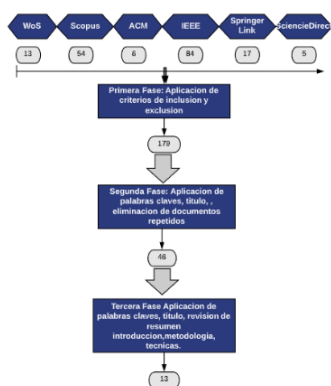


Figura 2 Síntesis del proceso de selección de artículos

1) Ejecución de la revisión

**Fase 1**

Se seleccionó los artículos de acuerdo las palabras claves establecidas, además se aplicó criterios de exclusión e inclusión para tener un mejor resultado dando así un total de 179 artículos.

TABLA V Extracción de datos análisis uno

ID	Base de datos	# doc
W	Wos	13
SP	Scopus	54
A	ACM	06
I	IEEE	84
SP	Springer	17
SD	Science Direct	05
	Total	179

**Fase 2:**

De los 179 artículos ya seleccionados en la fase I se procedió aplicar los métodos de inclusión y exclusión, así mismo se analizó de acuerdo con el título, resumen, introducción, conclusiones, metodología y conclusiones, también se procedió a eliminar documentos repetidos dando así un total de 46 documentos.

TABLA VI Extracción de datos análisis dos

ID	Base de datos	# doc
W	Wos	07
SP	Scopus	24
A	ACM	01
I	IEEE	11
SP	Springer	03
SD	Science Direct	0
	Total	46

Para más detalles, acceder al enlace: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1aizYNHHIO1O6mh95W764IJOB5Umx12meu2p4x1DPE/edit#gid=118211001>

**Fase 3:**

Se realizó una lectura crítica de los 46 documentos ya seleccionados en la fase 2 y finalmente se determinó que 13 documentos están estrechamente relacionados con el tema de búsqueda. Cabe agregar, que no se pudo acceder a 7 documentos y se los dio por descartados.

TABLA VII Extracción de datos análisis tres

ID	Base de datos	# doc
W	Wos	02
SP	Scopus	07
A	ACM	0
I	IEEE	03
SP	Springer	01
SD	Science Direct	0
	Total	13

Para más detalles, acceder al enlace: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1aizYNHHIO1O6mh95W764IJOB5Umx12meu2p4x1DPE/edit#gid=1638040503>

2) Extraer las respuestas a las preguntas de investigación.

**¿Cuál es el estado actual de la IA en la agricultura?**

La última década ha proporcionado una solución basada en el aprendizaje automático para la comunidad agrícola, que ayuda a los agricultores a identificar las enfermedades en las primeras etapas [3]. La mayoría de los modelos existentes para el diagnóstico de enfermedades en las plantas se basan principalmente en un conjunto de imágenes para enriquecer el aprendizaje de descripción de características de imagen.

Hasta la actualidad existe una aplicación móvil denominada Plant Disease como se menciona en [4] que se basa en un método de clasificación sofisticado como un sistema experto basado en una red neuronal, la clasificación de enfermedades de plantas que se implementa como una aplicación de teléfono móvil, se basa en la comparación de varias características extraídas por la fotografía de una parte de la planta con las firmas de enfermedades compatibles. La parte de la planta puede ser una hoja, una fruta, una rama, la raíz, etc. Las características incluyen el número de manchas, su área, el color de la mancha, las condiciones climáticas, etc. La firma de una enfermedad es un conjunto de límites sueltos en cada una de estas características. Si la característica correspondiente cae dentro de estos límites, se otorga un rango y la suma ponderada de estos rangos se puede usar para clasificar las enfermedades y encontrar la que probablemente haya afectado a la planta. Aunque este método de clasificación no es tan sofisticado como un sistema experto basado en una red neuronal, ofrece ciertas ventajas:

- a) Requiere un pequeño conjunto de entrenamiento para definir firmas creíbles.
- b) Es fácilmente extensible por el usuario final con respecto al conjunto compatible de enfermedades.
- c) Es rápido.
- d) No consume una gran cantidad de recursos de telefonía móvil ya que su implementación no es complicada.

e) La información que no se tiene en cuenta debido al pequeño conjunto de capacitación se compensa por la gran cantidad de características utilizadas en las firmas de la enfermedad.

La IA solo funciona si es aplicada en máquinas especializadas que cumplan funciones específicas y que estén programadas para cumplir con un objetivo previamente implantado. En la agricultura, uno de los alcances que mayor potencial tiene es el análisis de información del exterior, es decir, conocer cómo se desarrollan los cultivos en su entorno y, con esta información, hacer predicciones.

**¿Cómo ayuda la IA en la salud vegetal?**

La IA permite al sector agrícola duplicar su producción de manera sustentable propiciando un negocio más rentable, actualmente se han propuesto varios sistemas inteligentes para el diagnóstico de enfermedades de las plantas, de esta manera, las plantas y los cultivos pueden ser monitoreados para prevenir la propagación de enfermedades que pueden arruinar toda la cosecha. Los síntomas de una enfermedad incluyen lesiones o manchas en varias partes de la planta. El color, el área y la cantidad de estas manchas pueden determinar en gran medida la enfermedad de la planta o servir como diagnóstico de primera etapa [4]. El color, el área y la cantidad de estas manchas pueden determinar en gran medida la enfermedad que ha mortificado una planta [5] Además permite a los usuarios monitorear la información ambiental sobre la plantación. Los cultivos en tiempo real a través de cualquier dispositivo habilitado para Internet [6].

La detección temprana de enfermedades de las plantas es muy importante para evitar el daño estacional prolongado de las frutas, la cosecha o la destrucción de plantas y árboles enteros. El costo de producción puede aumentar significativamente si las enfermedades de las plantas no se tratan a tiempo al detectar los primeros síntomas de una enfermedad antes de que se propague a todo el campo.

El monitoreo continuo de las plantas por parte de los agricultores no siempre es posible o económicamente eficiente, especialmente para cultivos o árboles en áreas rurales aisladas. El monitoreo remoto a través de sensores, drones, etc., puede ofrecer una alternativa de bajo costo y alta precisión. Los análisis moleculares tienen un costo más alto, pero se pueden realizar en una etapa posterior si es necesario para confirmar que una planta ha sido afectada por una enfermedad específica antes de aplicar un tratamiento más tóxico.

**¿Qué técnicas de la inteligencia artificial se aplican en la salud vegetal?**

De acuerdo con la RLS existen diversas técnicas que han sido aplicadas para el diagnóstico de enfermedades en las plantas (uva, soya, maíz, cebada, trigo, yuca, café, tomate, arroz) tales como:

- Data Mining (Procesamiento de datos).
- Neural networks (Redes neuronales).
- Expert System (Sistemas expertos).
- Machine learning (Aprendizaje automático).

En la Figura 3 se muestra en qué escala se utilizaron estas técnicas dando como resultado que la técnica Data Mining es la más usada con un porcentaje de 39.1% debido al procesamiento de imágenes para la detección de las

enfermedades de las plantas, seguidamente las Redes Neuronales con un porcentaje de 26.1% sistemas expertos con un porcentaje de 21.7% y finalmente aprendizaje automático con un porcentaje de 13.0%.

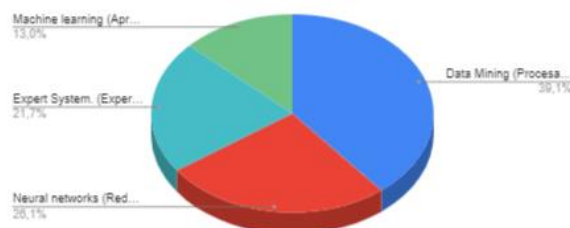


Figura 3 Técnicas de IA identificadas en la RLS

A continuación, se da una descripción de cómo han sido utilizadas las técnicas:

En [3] se utiliza la red neural convolucional (CNN) que es una colección significativa de un conjunto de tareas que incluyen convolución, agrupación y actualización de pesos y sesgos utilizando redes neuronales completamente conectadas, para lograr las mejores aproximaciones. Varias neuronas se conectan de manera especializada en una forma de retroalimentación para mapear las características de entrada a los objetivos de salida. En la Figura 4 se presenta un modelo CNN generalizado. El número de capas se puede aumentar o disminuir, dependiendo del marco.

Una arquitectura típica de CNN tiene una capa de entrada que contiene píxeles de imagen, representados en un tensor 4D. Cada canal (rojo, verde y azul) tienen valores de intensidad en el rango de [0: 255] o [0: 1]. Otra técnica que se utilizó fue la minería de datos para una extracción profunda de características de las hojas de la planta de uva.

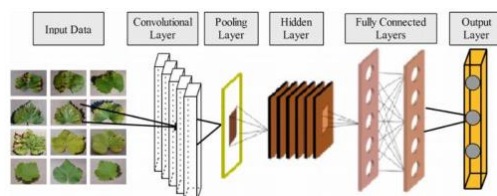


Figura 4 Arquitectura simple de red neuronal convolucional profunda (DCNN).

En la mayor parte de los documentos de la RLS se usan las técnicas de procesamiento de imágenes digitales, para detectar, cuantificar y clasificar enfermedades de las plantas mediante redes neuronales, también se usa la segmentación de imágenes para alimentar las imágenes como entrada a las redes neuronales convolucionales para obtener una mayor precisión. Para el diagnóstico de imágenes, se utiliza una técnica de procesamiento de imágenes basada en aprendizaje profundo. Las hojas de las plantas también se pueden clasificar con la red neuronal artificial (ANN) y el clasificador euclidiano.

Otra técnica que se utilizan son los sistemas expertos mencionadas en [3] se propone una aplicación móvil denominada Plant Disease que se basa en un método de clasificación sofisticado como un sistema experto basado en una red neuronal, también en [6] se utilizó la técnica de

sistemas expertos que se basa en un agente GLAIR (arquitectura de capas con conexión a tierra con razonamiento). El agente GLAIR es un agente inteligente basado en la arquitectura cognitiva GLAIR. Este agente es responsable de recopilar los datos de los sensores de la estación agro-meteorológica (a través del registrador de datos), fusionar los datos a lo largo del tiempo y el espacio para lograr una estimación razonable de las condiciones climáticas reales, y representar dicha información como declaraciones de un informe formal, lenguaje sobre el cual puede tener lugar el razonamiento lógico. Con una representación del modelo de la enfermedad en el mismo lenguaje formal, el agente razona sobre las acciones preventivas que deben tomarse si surge la necesidad.

Otra técnica mencionada es aprendizaje automático, resolviendo un problema particular de diagnóstico de enfermedades de cultivos basado en imágenes de plantas tomadas con un teléfono inteligente esta técnica utiliza el modelo de clasificación aprendido para hacer predicciones en tiempo real del estado de salud de un jardín de agricultores. Esto funciona cuando el agricultor carga una imagen de una planta en su jardín y obtiene un puntaje de enfermedad de un servidor remoto.

#### **¿Cómo contribuyen los sistemas expertos a la sanidad vegetal?**

Un factor importante a nivel mundial es la adopción de sistemas expertos en el diagnóstico temprano de las enfermedades de las plantas, esto conlleva a la reducción de costos ya que la idea principal de los sistemas expertos es captar los datos en el campo para después transmitirlo al sistema experto que se encargará de procesar la información para comunicar sus conclusiones a los actores humanos en la producción [4].

Como lo menciona en [6], los sistemas expertos pueden combinar los conocimientos y la experiencia acumulada de diversas disciplinas individuales, por ejemplo: irrigación, edafología, fitopatología, entomología, horticultura y meteorología agrícola; dentro de un sistema que dirige correctamente las necesidades específicas de los agricultores. Un sistema experto también puede combinar la experiencia y el conocimiento experimental con las habilidades un razonamiento intuitivo de una multitud de especialistas, para apoyar a los agricultores en la toma de la mejor decisión para sus cultivos

Los sistemas expertos son, en la actualidad, un insumo estratégico que es requerido en la producción de cultivos agrícolas. Existen en el mercado y en fase de desarrollo y evaluación sistemas expertos con aplicación en actividades agrícolas. El sistema experto puede ser una herramienta estratégica para apoyar a los agricultores en la toma de la mejor decisión para sus cultivos. El problema actual es grave y se va incrementando día a día. Los procesos de producción no pueden detenerse ya que los alimentos son demandados por una población humana que los requiere. El problema puede reducirse significativamente empleando un sistema experto para hacer recomendaciones a los agricultores en el proceso de irrigación de su cultivo.

Un factor importante para aumentar la adopción de sistemas expertos para diagnosticar enfermedades de las plantas como lo menciona en el [4] es la posibilidad de tener dispositivos móviles. Aunque las computadoras están cada vez más presentes, las personas en las zonas rurales,

especialmente en países en desarrollo, tienen acceso limitado a esos bienes. Los teléfonos inteligentes, por otro lado, han llegado haciendo omnipresente debido al bajo costo y múltiples funcionalidades. Los sistemas basados en la web tienen el potencial de operar en estos dispositivos, siempre que estén desarrollados de manera apropiada. En el futuro la implementación de sistemas expertos debería recibir mayor atención, este problema debería recibir más atención en el futuro para los sistemas expertos para que realmente se conviertan en parte de la rutina de manejo agrícola.

#### **IV. DISCUSIÓN**

En medio del proceso de RSL en las distintas bases de datos consultadas se denota que, si bien la información en la temática de IA vinculada a la salud vegetal es bastante amplia y en este orden se han formulado y desarrollado investigaciones tendientes a mostrar las diferentes técnicas de IA aplicadas, se observan serias falencias en relación con los sistemas expertos, ya que solo un 21.7% del total de investigaciones emplea esta técnica. En primer lugar, los resultados de los análisis permiten conocer el estado actual de la IA, en el campo de la agricultura siendo las principales técnicas empleadas: aprendizaje automático, procesamiento de datos, IoT, redes neuronales y por supuesto sistemas expertos.

En la revisión de las bases de datos no se denota estudios realizados en Ecuador. Sin embargo, como se puede apreciar en la Tabla IV existe una base importante de información y documentación de áreas de agricultura, enfocadas a la sanidad vegetal, que sirven de soporte para poder formular posibles soluciones en la prevención de enfermedades en las plantas y por ende mejorar la producción en los cultivos, los estudios realizados se centran en diversas plantas de forma individual teniendo entre ellas (uva, soya, maíz, cebada, trigo, yuca, café, tomate, arroz). Cabe resaltar que se emplean diferentes técnicas, en los estudios que se han realizado, las cuales se basan principalmente en emplear imágenes para el aprendizaje y entrenamiento de los diferentes algoritmos empleados, siendo estas imágenes fotografías de hojas con diversas enfermedades, que posteriormente pasan a ser analizadas para diagnosticar su afectación y sugerir los cuidados oportunos.

Por otra parte, existen carencias de evidencias que estos estudios hayan sido masivamente empleados, pues sólo en un estudio se pudo notar que mediante una aplicación se podía capturar la imagen y esta era enviada a un servidor para ser analizada y emitir un diagnóstico, en su gran mayoría son experimentos o simulaciones que, si bien es cierto, han funcionado bien, no se han podido implementar al 100%, los retos en cuanto a la implementación no es fácil debido a los costos y que los cultivos se realizan en campos abiertos que dificulta mantener un ambiente controlado, sin embargo, en los estudios existe la evidencia que han resultado muy bien las pruebas, en ambientes controlados.

Finalmente, es importante resaltar la necesidad de continuar realizando estudios metodológicos, para la evaluación y análisis de enfermedades en las plantas, tomando en cuenta que su coste no sea elevado pues los principales usuarios viven en las zonas rurales y sus recursos son limitados, si se trata de adquirir un producto en un costo muy alto. La RSL desarrollada ofrece una panorámica, acerca de las técnicas de IA empleadas y su efectividad a partir de diferentes metodologías, con la intención de obtener el

máximo beneficio en los cultivos reduciendo el coste de producción.

#### V. CONCLUSIONES

Se realizó una clasificación bibliográfica en donde fueron seleccionados 13 documentos de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión, revisión de literatura, resumen, introducción, metodología y técnicas, una vez analizados los documentos se pudo responder las cuatro preguntas planteadas.

Durante el proceso de la RSL se constató que la IA en agricultura especialmente en el Área de Sanidad Vegetal es de gran ayuda debido sistemas aplicados para la detección temprana de enfermedades de las plantas tales como arroz, soya, maíz, tomate, etc. Esto ayuda al productor a reducir su costo en la aplicación de productos químicos con qué tratar las plantas afectadas, y por ende mejora su economía, permitiendo al sector agrícola duplicar su producción de manera sustentable propiciando un negocio más rentable, actualmente se han propuesto varios sistemas inteligentes para el diagnóstico de enfermedades de las plantas, de esta manera, las plantas y los cultivos pueden ser monitoreados para prevenir la propagación de enfermedades que pueden arruinar toda la cosecha. Los síntomas de una enfermedad incluyen lesiones o manchas en varias partes de la planta. El color, el área y la cantidad de estas manchas pueden determinar en gran medida la enfermedad de la planta o servir como diagnóstico de primera etapa [4]. Además, permite a los usuarios monitorear la información ambiental sobre la plantación. Los cultivos en tiempo real a través de cualquier dispositivo habilitado para Internet.

Por otro lado, se determinó que las técnicas de IA aplicadas a la sanidad vegetal que prevalecen son: Data Mining, Neural Networks, Expert System, Machine Learning, siendo el Data Mining el de mayor prioridad debido a los sistemas se basan en recolección de datos para dar un diagnóstico de la enfermedad de la planta, datos como imágenes que de acuerdo características específicas se puede determinar que ocurre con una planta infectada y cuál es su tratamiento. Un factor importante en la Sanidad Vegetal es la adopción de sistemas expertos en el diagnóstico temprano de las enfermedades de las plantas, esto conlleva a la reducción de costos ya que la idea principal de los sistemas expertos es

captar los datos en el campo para después transmitirlos al sistema experto que se encargará de procesar la información para comunicar sus conclusiones a los actores humanos.

#### AGRADECIMIENTOS

La presente Revisión Sistemática de Literatura denominada “Inteligencia Artificial en la Sanidad Vegetal”, es parte de la asignatura de Inteligencia Artificial, período académico abril-septiembre del 2020. Carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad Nacional de Loja, impartida por el profesor Luis Chamba-Eras a quien se le brinda un muy sincero agradecimiento; quien con dedicación supervisó y asesoró el presente trabajo desarrollado.

#### REFERENCIAS

- [1] B. Kitchenham *et al.*, “Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 52, pp. 792–805, 2010, doi: 10.1016/j.infsof.2010.03.006.
- [2] J. Wen, S. Li, Z. Lin, Y. Hu, and C. Huang, “Systematic literature review of machine learning based software development effort estimation models,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 54, no. 1, pp. 41–59, 2012, doi: 10.1016/j.infsof.2011.09.002.
- [3] “An Artificial Intelligence and Cloud Based Collaborative Platform for Plant Disease Identification, Tracking and Forecasting for Farmers. 2018 IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM) | 10.1109/CCEM.2018.00016.” Accessed: Jul. 25, 2020. [Online]. Available: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1109/CCEM.2018.00016>.
- [4] “Algoritmos de aprendizaje automático para pronosticar la incidencia de plagas y enfermedades de Coffea arabica. Revista Internacional de Biometeorología | 10.1007 / s00484-019-01856-1.” Accessed: Jul. 25, 2020. [Online]. Available: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1007/s00484-019-01856-1>.
- [5] “Una aplicación de procesamiento de imágenes de teléfonos inteligentes para el diagnóstico de enfermedades de las plantas. 6ta Conferencia Internacional 2017 sobre Circuitos Modernos y Tecnologías de Sistemas (MOCAS) | 10.1109 / MOCAS.2017.7937.” Accessed: Jul. 25, 2020. [Online]. Available: <https://sci-hub.tw/10.1109/MOCAS.2017.7937683>.
- [6] “Marco de selección de características profundas controladas por entropía para el reconocimiento de enfermedades de la hoja de uva. Sistemas expertos | 10.1111 / exsy.12569.” Accessed: Jul. 25, 2020. [Online]. Available: <https://sci-hub.tw/10.1111/exsy.12569>.