

2. APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA AGRICULTURA PERUANA⁸

Applications of Artificial Intelligence Applied to Peruvian Agriculture

Hugo Ticona Salluca⁹

Jordan Piero Borda Colque¹⁰

Bernabé Canqui Flores¹¹

César Enrique Yupanqui Bendita¹²

Juan Kenyhy Hanco Quispe¹³

Fred Torres-Cruz¹⁴

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.¹⁵

⁸ Derivado del proyecto de investigación: Aplicaciones De Inteligencia Artificial Aplicada a la Agricultura Peruana

⁹ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-3800-8433>, hts.ez.v@gmail.com

¹⁰ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0001-8488-1658>, jordanpieroborda@gmail.com

¹¹ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0003-2204-0620>, bcanqui@unap.edu.pe

¹² Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-7750-7016>, ucesareyb@hotmail.com

¹³ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-2125-0530>, jkenyhyhq@gmail.com

¹⁴ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0003-0834-6834>, ftorres@unap.edu.pe

¹⁵ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA AGRICULTURA PERUANA

Hugo Ticona Salluca, Jordan Piero Borda Colque, Bernabé Canqui Flores, César Enrique Yupanqui Bendita, Juan Kenyhy Hanco Quispe, Fred Torres-Cruz

RESUMEN

La aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en la agricultura se ha vuelto cada vez más importante en los últimos años, ya que ofrece soluciones innovadoras para optimizar la producción, reducir costos y aumentar la eficiencia. En Perú, donde la agricultura es un sector económico clave, las aplicaciones de IA tienen el potencial de hacer contribuciones significativas. Este documento revisa varias aplicaciones de IA en la agricultura y analiza su impacto potencial en el sector agrícola peruano. Se discuten tres áreas principales de aplicación de IA: algoritmos de aprendizaje automático para el mapeo de macronutrientes del suelo, modelos de cloud-computing para procesos de agricultura inteligente y detección de enfermedades de plantas utilizando una arquitectura híbrida de aprendizaje profundo. El trabajo desarrollado concluye que la aplicación de la IA en la agricultura tiene un enorme potencial para mejorar la producción y la sostenibilidad agrícola en Perú. Sin embargo, todavía hay desafíos por superar, incluyendo la necesidad de desarrollo de infraestructura y la integración de soluciones de IA con prácticas agrícolas tradicionales. El documento sugiere que las inversiones en investigación, desarrollo e infraestructura pueden ayudar a desbloquear todo el potencial de la IA en la agricultura en Perú, y su aplicación puede contribuir a abordar algunos de los desafíos que enfrenta el sector. Sin embargo, se requiere un enfoque integral que considere las necesidades y características del sector agrícola peruano para la implementación exitosa de soluciones de IA.

Palabras Clave: inteligencia artificial; agricultura; Perú; aprendizaje automático; mapeo de nutrientes del suelo, cloud computing, agricultura inteligente, detección de enfermedades de plantas, aprendizaje profundo.

ABSTRACT

The application of Artificial Intelligence (AI) in agriculture has become increasingly important in recent years, as it offers innovative solutions to optimize production, reduce costs, and increase efficiency. In Peru, where agriculture is a key economic sector, AI applications have the potential to make significant contributions. This work reviews various AI applications in agriculture and analyzes their potential impact on the Peruvian agricultural sector. Three main areas of AI application are discussed: machine learning algorithms for soil macronutrient mapping, cloud-computing models for smart agriculture processes, and plant disease detection using hybrid deep learning architecture. The document concludes that the application of AI in agriculture has enormous potential to improve agricultural production and sustainability in Peru. However, there are still challenges to overcome, including the need for infrastructure development and the integration of AI solutions with traditional agricultural practices. The paper suggests that investments in research, development, and infrastructure can help unlock the full potential of AI in agriculture in Peru, and its application can contribute to addressing some of the challenges faced by the sector. However, a comprehensive approach that considers the needs and characteristics of the Peruvian agricultural sector is necessary for the successful implementation of AI solutions.

Keywords: artificial intelligence; agriculture; Peru; machine learning; soil nutrient mapping; cloud computing; smart agriculture; plant disease detection; deep learning.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades económicas más antiguas y esenciales para la humanidad, proporcionando alimentos y materias primas para diversas industrias. Sin embargo, la agricultura moderna enfrenta muchos desafíos, como la escasez de recursos naturales, el cambio climático, el aumento de la demanda de alimentos y la necesidad de reducir el impacto ambiental. La Inteligencia Artificial (IA) ofrece soluciones innovadoras para abordar estos desafíos en la agricultura.

La Inteligencia Artificial es una rama de la informática que se enfoca en la creación de algoritmos y modelos que permiten a las máquinas aprender y realizar tareas específicas. En la agricultura, la Inteligencia Artificial puede ayudar a los agricultores a mejorar la productividad y la eficiencia, reducir los costos y minimizar el impacto ambiental de la producción de alimentos. Algunas de las aplicaciones de Inteligencia Artificial en la agricultura incluyen el análisis de datos, la predicción del rendimiento de los cultivos, la agricultura de precisión, el monitoreo de cultivos, la optimización de riego y la recolección de datos del suelo.

El análisis de datos es una de las aplicaciones más comunes de Inteligencia Artificial en la agricultura, ya que puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la producción de cultivos en función de la información recopilada sobre el clima, el suelo, las variedades de semillas, las plagas y enfermedades, la cosecha y el mercado (Glackin, 2019). La Inteligencia Artificial también puede ayudar a predecir el rendimiento de los cultivos y la producción de alimentos en función de factores como el clima, el suelo y el riego, lo que puede ayudar a los agricultores a planificar la producción de alimentos.

La agricultura de precisión es otra aplicación de Inteligencia Artificial en la agricultura que permite a los agricultores aplicar fertilizantes y pesticidas de manera más precisa y efectiva, lo que puede reducir el uso de productos químicos y aumentar el rendimiento de los cultivos. El monitoreo de cultivos es otra aplicación de Inteligencia Artificial que permite a los agricultores detectar problemas como plagas y enfermedades y tomar medidas para abordarlos de manera oportuna. La optimización de riego es otra

aplicación de Inteligencia Artificial que puede ayudar a los agricultores a optimizar el uso del agua, y la recolección de datos del suelo puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la fertilidad y el pH del suelo.

La Inteligencia Artificial ofrece una amplia gama de aplicaciones en la agricultura y puede ayudar a los agricultores a enfrentar los desafíos actuales y futuros en la producción de alimentos. Desde el análisis de datos hasta la optimización de riego, la IA puede ayudar a mejorar la eficiencia, reducir los costos y minimizar el impacto ambiental de la producción de alimentos.

La aplicación de la Inteligencia Artificial en la agricultura ha evolucionado significativamente en los últimos años, permitiendo a los agricultores tener acceso a información detallada y en tiempo real sobre sus cultivos y el entorno en el que se desarrollan. El análisis de datos es una de las aplicaciones más importantes de la Inteligencia Artificial en la agricultura, ya que permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el uso de sus recursos y mejorar la eficiencia en la producción de alimentos.

El análisis de datos agrícolas puede incluir información sobre el clima, el suelo, las variedades de semillas, las plagas y enfermedades, la cosecha y el mercado. La Inteligencia Artificial puede procesar grandes cantidades de datos y generar información detallada y útil para los agricultores, lo que puede ayudarles a tomar decisiones informadas sobre cuándo y cómo plantar y cultivar sus cultivos, qué variedades de semillas usar, cuándo cosechar y cómo vender sus productos.

Otra aplicación importante de la Inteligencia Artificial en la agricultura es la predicción del rendimiento de los cultivos. La Inteligencia Artificial puede analizar factores como el clima, el suelo y el riego para predecir cuánto rendimiento se puede esperar de un cultivo en particular. Esto puede ayudar a los agricultores a planificar mejor la producción y la cosecha, y a tomar decisiones informadas sobre la cantidad de recursos que deben invertir en la producción de alimentos (Pascual, Ramírez y Ortiz, 2016).

La agricultura de precisión es otra aplicación clave de la Inteligencia Artificial en la agricultura. La agricultura de precisión se refiere al uso de tecnología avanzada para aplicar fertilizantes y pesticidas de manera más precisa y efectiva, lo que puede reducir el uso de

productos químicos y aumentar el rendimiento de los cultivos. La Inteligencia Artificial puede ayudar a los agricultores a identificar las áreas de un campo que necesitan más o menos agua, nutrientes o protección contra plagas y enfermedades.

El monitoreo de cultivos es otra aplicación importante de la Inteligencia Artificial en la agricultura. La Inteligencia Artificial puede monitorear los cultivos de forma remota utilizando imágenes satelitales y drones. Esto puede ayudar a los agricultores a detectar problemas como plagas y enfermedades y tomar medidas para abordarlos de manera oportuna, lo que puede reducir el riesgo de pérdida de cultivos y aumentar el rendimiento de los mismos (Plazas Aquite, Candro Cuineme y Diaz Rojas, 2022).

La aplicación de la Inteligencia Artificial en la agricultura ofrece una amplia gama de soluciones innovadoras para abordar los desafíos actuales y futuros en la producción de alimentos. Desde el análisis de datos hasta la agricultura de precisión, la Inteligencia Artificial puede ayudar a los agricultores a mejorar la eficiencia, reducir los costos y minimizar el impacto ambiental de la producción de alimentos, lo que puede contribuir significativamente a garantizar la seguridad alimentaria global (Beddington et al., 2011).

DESARROLLO

La IA (Inteligencia Artificial) está teniendo un impacto cada vez mayor en la agricultura, ofreciendo soluciones innovadoras para problemas clave que enfrentan los agricultores. Desarrollaremos algunas de las soluciones de IA más comunes en la agricultura con un enfoque en el PERU:

Algoritmos de Aprendizaje Automático para Mapear la Variabilidad de los Elementos Macronutrientes del Suelo con Datos Ambientales.

El uso de algoritmos de aprendizaje automático para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo con datos ambientales digitales es una aplicación prometedora de la inteligencia artificial en la agricultura.

Los algoritmos de aprendizaje automático pueden aprender patrones complejos y no lineales en los datos y luego aplicar estos patrones para hacer predicciones precisas. En el caso de la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo, estos algoritmos pueden analizar los datos ambientales digitales, como la topografía, la vegetación, la temperatura, la humedad y la precipitación, para identificar los factores que influyen en la distribución de los nutrientes en el suelo.

Una vez que se ha generado un modelo de aprendizaje automático, se puede utilizar para mapear la distribución de los nutrientes en el suelo. Esto permitiría a los agricultores identificar las áreas que requieren una fertilización específica, lo que podría aumentar la eficiencia de la aplicación de fertilizantes y mejorar la calidad y la cantidad de los cultivos.

Además, el uso de datos ambientales digitales y algoritmos de aprendizaje automático puede ayudar a reducir el costo y la complejidad del muestreo de suelo tradicional, lo que puede ser costoso y requiere mucho tiempo.

Los algoritmos de aprendizaje automático son una herramienta poderosa para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo utilizando datos ambientales digitales. Estos algoritmos pueden analizar grandes cantidades de datos para identificar patrones y relaciones que son difíciles de detectar a simple vista (Melo y Mora, 2022).

Uno de los algoritmos de aprendizaje automático más utilizados para esta tarea es la regresión múltiple. Este método permite modelar la relación entre múltiples variables independientes (por ejemplo, temperatura, precipitación, pH del suelo) y una variable dependiente (por ejemplo, el contenido de nitrógeno en el suelo). A través de la regresión múltiple, se pueden identificar las variables ambientales que tienen la mayor influencia en la variabilidad del contenido de macronutrientes en el suelo.

Otro algoritmo comúnmente utilizado es el análisis de componentes principales (PCA). El PCA es una técnica estadística que se utiliza para reducir la complejidad de los datos mediante la identificación de patrones en los datos de entrada (González García y Taborda Londoño, 2015). El resultado de esta técnica es un conjunto de componentes principales que explican la mayor parte de la variabilidad en los datos. Estos componentes

pueden ser utilizados como entradas para otros algoritmos de aprendizaje automático, como la regresión múltiple.

Finalmente, el aprendizaje profundo es otra técnica de aprendizaje automático que se utiliza cada vez más para el análisis de datos ambientales. Los modelos de aprendizaje profundo pueden ser entrenados en grandes conjuntos de datos para identificar patrones complejos en los datos. Estos modelos pueden ser particularmente útiles para mapear la variabilidad de los macronutrientes en el suelo, ya que pueden identificar relaciones no lineales y patrones que no son fáciles de detectar utilizando métodos más tradicionales.

Para profundizar en el uso de algoritmos de aprendizaje automático para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo en Perú, es necesario considerar varias variables ambientales que pueden influir en la distribución de nutrientes en el suelo (Cajo Hernandez y Rosales Caururu, 2022). Algunas de estas variables incluyen:

- **Clima:** Las condiciones climáticas pueden tener un impacto significativo en la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Por ejemplo, las regiones con altas precipitaciones pueden experimentar una mayor lixiviación de nutrientes del suelo, lo que puede afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. De manera similar, las regiones con temperaturas extremadamente altas o bajas pueden experimentar una mayor tasa de descomposición de materia orgánica, lo que puede afectar la calidad del suelo.
- **Tipo de suelo:** El tipo de suelo también puede influir en la distribución de nutrientes. Por ejemplo, los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad de retener nutrientes que los suelos arenosos. Los suelos con un pH más bajo pueden tener una mayor disponibilidad de ciertos nutrientes, mientras que los suelos con un pH más alto pueden tener una mayor disponibilidad de otros nutrientes.
- **Uso del suelo:** La forma en que se utiliza el suelo también puede influir en la distribución de nutrientes. Por ejemplo, el uso intensivo del suelo para la agricultura puede agotar los nutrientes del suelo y aumentar la necesidad de fertilización. De manera similar, la deforestación puede reducir la cantidad de materia orgánica en el suelo, lo que puede afectar su calidad y la disponibilidad de nutrientes.

- **Altitud:** La altitud puede influir en la distribución de nutrientes en el suelo debido a las diferencias en las condiciones climáticas y en los tipos de suelo en diferentes altitudes. Por ejemplo, las regiones de alta montaña pueden experimentar una mayor lixiviación de nutrientes debido a las altas precipitaciones y la menor capacidad de retención de nutrientes en el suelo.

Teniendo en cuenta estas variables, se pueden utilizar algoritmos de aprendizaje automático para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo en Perú. Por ejemplo, se puede utilizar un modelo de regresión múltiple para analizar la relación entre la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y otros factores ambientales, y el contenido de nitrógeno en el suelo en diferentes regiones de Perú. De manera similar, se puede utilizar el análisis de componentes principales para reducir la complejidad de los datos y identificar patrones en la distribución de nutrientes en el suelo en diferentes altitudes y tipos de suelo. El aprendizaje profundo también puede ser útil para identificar patrones complejos en grandes conjuntos de datos de suelos en diferentes regiones de Perú.

Una posible aplicación de los algoritmos de aprendizaje automático en el contexto de la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo en Perú podría ser el desarrollo de modelos de predicción para la concentración de nutrientes en diferentes regiones del país. Estos modelos podrían ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la aplicación de fertilizantes y otros insumos agrícolas, lo que podría mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y reducir los costos.

Para desarrollar un modelo de predicción, se podría utilizar un conjunto de datos que incluya información sobre la concentración de nutrientes en el suelo, así como información sobre las variables ambientales que podrían influir en la distribución de nutrientes, como la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y el uso del suelo. A partir de estos datos, se podrían utilizar diferentes técnicas de aprendizaje automático, como regresión lineal, regresión logística, árboles de decisión, redes neuronales, entre otros.

Un ejemplo concreto podría ser el siguiente:

- Se recopila un conjunto de datos que incluye información sobre la concentración de nitrógeno en el suelo en diferentes regiones de Perú, así como información sobre la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y el uso del suelo.
- Se divide el conjunto de datos en un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba.
- Se aplica un modelo de regresión lineal múltiple al conjunto de entrenamiento, utilizando la concentración de nitrógeno como variable dependiente y la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y el uso del suelo como variables independientes.
- Se evalúa el rendimiento del modelo utilizando diferentes métricas, como el error cuadrático medio y el coeficiente de determinación (R^2).
- Se ajusta el modelo según sea necesario y se evalúa de nuevo hasta obtener un modelo que tenga un buen rendimiento en el conjunto de prueba.
- Una vez que se ha desarrollado el modelo, se puede utilizar para predecir la concentración de nitrógeno en el suelo en diferentes regiones de Perú, utilizando las fórmulas respectivas del modelo.
- Los resultados de la predicción se pueden presentar en un tabla que muestre la concentración de nitrógeno en el suelo en diferentes regiones de Perú, así como las variables ambientales que se utilizaron para hacer la predicción. Esta tabla podría ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la aplicación de fertilizantes y otros insumos agrícolas, lo que podría mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y reducir los costos.

Aquí presento una tabla con más algoritmos de aprendizaje automático que se podrían aplicar para predecir la concentración de nutrientes en el suelo en Perú, junto con sus fórmulas respectivas:

Tabal 1

Algoritmo	Fórmula/Descripción
Regresión lineal	$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$
Regresión logística	$p = 1 / (1 + e^{-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n)})$
Árboles de decisión	Se construye un árbol que divide el conjunto de datos en subconjuntos cada vez más homogéneos con respecto a la variable de respuesta.
Redes neuronales	$y = f(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n)$
Máquinas de vectores de soporte (SVM)	$y = b_0 + \sum \alpha_i y_i K(x_i, x)$
Random Forest	Se construyen múltiples árboles de decisión y se promedian las predicciones de cada árbol.
Gradient Boosting	Se construyen múltiples árboles de decisión, cada uno de los cuales se enfoca en corregir los errores del árbol anterior.
K-Nearest Neighbors (KNN)	Se identifican los "k" puntos de datos más cercanos al punto a predecir y se utiliza su valor promedio como predicción.

Nota: elaboración propia.

En estas fórmulas, "y" representa la variable dependiente, es decir, la concentración de nutrientes en el suelo, mientras que "x₁", "x₂", ..., "x_n" representan las variables independientes, como la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y el uso del suelo. Los coeficientes "b₁", "b₂", ..., "b_n" y "w₂", ..., "w_n" son los parámetros que se ajustan durante el entrenamiento del modelo.

Es importante tener en cuenta que estas fórmulas son solo ejemplos y pueden variar según la implementación específica de cada algoritmo. Además, existen muchos otros algoritmos de aprendizaje automático que se podrían aplicar para resolver este problema, y la elección de un algoritmo en particular dependerá de las características específicas de los datos y del objetivo del modelo.

Modelo de Cloud-Computing para implementar agricultura inteligente

La agricultura es una de las industrias más antiguas y esenciales para la supervivencia humana. Sin embargo, a medida que la población mundial crece y los recursos naturales se vuelven más escasos, se hace necesario encontrar nuevas formas de mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura. La agricultura inteligente es un enfoque que utiliza tecnologías avanzadas como sensores, análisis de datos y aprendizaje automático para mejorar la eficiencia y la productividad en la agricultura.

La "nube" alude a una mezcla de redes, almacenamiento, hardware e interfaces para prestar un servicio (Namani y Gonen, 2020). Los modelos de computación en nube incluyen infraestructura como servicio (IaaS), Plataforma como servicio (PaaS), Software como servicio (SaaS), Base de datos como servicio (DBaaS), Backend móvil como servicio (BaaS) y Bigdata como servicio (BDaaS), que apoyan la agricultura inteligente.

SaaS, PaaS y IaaS son diferentes modelos de servicios en la nube que ofrecen diferentes niveles de control y responsabilidad a los usuarios. Aquí están los conceptos básicos de cada uno:

SaaS (Software as a Service): Es un modelo de servicio en la nube en el que se proporciona un software completamente funcional a los usuarios finales a través de la nube. En lugar de instalar y ejecutar el software en su propia infraestructura, los usuarios pueden acceder al software a través de una interfaz web o una aplicación específica. Los proveedores de SaaS se encargan de la gestión de la infraestructura, el mantenimiento, la seguridad y la actualización del software, lo que permite a los usuarios centrarse en utilizar el software para sus propias necesidades (Hernández y Flórez-Fuentes, 2014).

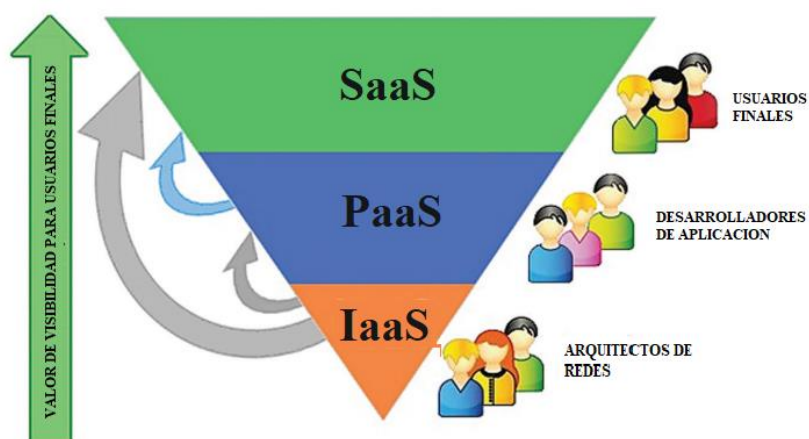
PaaS (Platform as a Service): Es un modelo de servicio en la nube en el que se proporciona una plataforma para que los desarrolladores puedan construir, probar y desplegar sus aplicaciones. Los proveedores de PaaS ofrecen una infraestructura preconfigurada, que incluye sistemas operativos, servidores web, bases de datos y herramientas de desarrollo, para permitir a los desarrolladores centrarse en el

desarrollo de aplicaciones. Los usuarios de PaaS tienen más control que los de SaaS, ya que pueden personalizar la plataforma según sus necesidades (Kamlofsky, 2022).

IaaS (Infrastructure as a Service): Es un modelo de servicio en la nube en el que se proporciona una infraestructura de TI virtualizada a los usuarios finales. Los proveedores de IaaS ofrecen recursos informáticos básicos, como servidores, almacenamiento y redes, que los usuarios pueden utilizar para construir y ejecutar sus propias aplicaciones. Los usuarios de IaaS tienen la responsabilidad de administrar su propia infraestructura, lo que les proporciona un mayor control y flexibilidad en la gestión de sus recursos de TI (Monroy, Noguera, Rojas Cordero y Satoba, 2016).

La Figura 1 muestra los tres modelos principales de computación en nube, donde SaaS se refiere a software basado en la nube que permite a los agricultores acceder a sus datos agrícolas desde cualquier dispositivo móvil conectado a Internet para mejorar la eficiencia operativa sobre la marcha. SaaS crea un entorno versátil, propicio y adaptable aprovechando las tecnologías de vanguardia tanto para el agricultor moderno como para el consumidor mediante la externalización estratégica, el almacenamiento cómodo de datos, la reducción del trabajo humano, la conservación de recursos y energía, así como mediante la gestión de la configuración de una infraestructura y/o a la agricultura inteligente para los agricultores marginados, ya que no tienen que informática.

Como tal, SaaS proporciona una forma más económica y escalable de adoptar y/o a la agricultura inteligente para los agricultores marginados, ya que no tienen que comprar e instalar software en ordenadores particulares. Empresas utilizan la monitorización por satélite y el ML para realizar un análisis predictivo y elaborar informes personalizados que ofrecen información práctica directamente en las pantallas de los agricultores. SaaS salva la brecha digital que puede sufrir el agricultor marginado, ya que le permite evaluar y gestionar todas sus operaciones agrícolas con un solo software. SaaS es una inversión de bajo riesgo con una suscripción mensual o anual.

Figura 1*Servicios de Cloud Computing*

Nota: elaboración propia.

En este contexto, un modelo de cloud-computing se presenta como una solución innovadora para la implementación de la agricultura inteligente. El cloud-computing permite la recopilación, el procesamiento y el análisis de datos de manera remota, lo que significa que los agricultores pueden acceder a información valiosa en tiempo real y tomar decisiones informadas para optimizar sus operaciones. Además, el cloud-computing ofrece escalabilidad y flexibilidad, lo que significa que los agricultores pueden ajustar sus operaciones y servicios según las necesidades cambiantes del mercado y de los cultivos.

La agricultura inteligente es un enfoque cada vez más popular para mejorar la eficiencia y la productividad en la agricultura. Un modelo de cloud-computing puede ser utilizado para implementar la agricultura inteligente, permitiendo a los agricultores recopilar y procesar datos de forma remota, y acceder a servicios de análisis de datos y de aprendizaje automático para tomar mejores decisiones (Pérez, Mendoza y Suarez, 2019).

En este modelo, los dispositivos de sensores en el campo recopilan datos en tiempo real sobre las condiciones del suelo, la humedad, la temperatura y otros factores ambientales. Estos datos se envían a la nube para su procesamiento y almacenamiento, y se utilizan para generar informes y recomendaciones personalizadas para los agricultores.

Algunos de los beneficios de un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente incluyen:

- Acceso a tecnologías avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático que pueden ayudar a predecir la producción y el rendimiento de los cultivos, así como a optimizar la gestión de recursos como el agua y los fertilizantes.
- Mayor eficiencia en la toma de decisiones gracias a la disponibilidad de información en tiempo real y a la capacidad de realizar un seguimiento de los cultivos y los recursos de manera más precisa.
- Mayor flexibilidad y escalabilidad, permitiendo a los agricultores ajustar sus operaciones y servicios de acuerdo con las necesidades cambiantes del mercado y de los cultivos.
- Reducción de costos, ya que los agricultores pueden compartir recursos y utilizar servicios en la nube en lugar de invertir en infraestructuras costosas de TI.

Un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente ayudara a mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura, al permitir a los agricultores tomar decisiones informadas y utilizar tecnologías avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático.

Ejemplo de aplicación hipotética de cloud-computing en la agricultura peruana.

En Perú, la agricultura es una de las principales actividades económicas, especialmente en áreas rurales donde la mayoría de la población depende de ella como medio de subsistencia. Sin embargo, la falta de tecnologías avanzadas y la limitada capacidad de acceso a la información dificultan la eficiencia y productividad de los agricultores peruanos.

La implementación de un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente en Perú podría ser una solución efectiva para mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura. El modelo permitiría la recopilación y análisis de datos en tiempo real, lo que significa que los agricultores pueden monitorear factores críticos como la humedad del suelo, la calidad del agua y las condiciones meteorológicas para tomar decisiones informadas sobre la aplicación de fertilizantes y pesticidas, la programación de riego y la cosecha de cultivos.

Además, el modelo de cloud-computing también permitiría la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles. Los agricultores podrían acceder a información sobre prácticas de conservación del suelo y agua, lo que les permitiría reducir la erosión del suelo, mejorar la calidad del agua y reducir el uso de agroquímicos (Pérez y Rics, 2020).

La implementación de este modelo también podría tener un impacto positivo en la economía peruana, ya que la agricultura es una de las principales fuentes de empleo y exportación. La mejora de la productividad y la sostenibilidad en la agricultura podría aumentar los ingresos y la competitividad de los agricultores peruanos en el mercado global.

La implementación de un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente en Perú implica varios pasos que se detallan a continuación:

1. Identificación de las necesidades de la agricultura peruana: Se deben identificar las necesidades específicas de la agricultura en el Perú, por ejemplo, el manejo de plagas y enfermedades, la optimización del riego, la selección de cultivos adecuados para diferentes zonas geográficas, entre otros.
2. Selección de la plataforma de Cloud-Computing: Una vez identificadas las necesidades, se debe seleccionar la plataforma de Cloud-Computing adecuada. En este caso, se puede utilizar una plataforma de nube pública como Amazon Web Services, Google Cloud Platform o Microsoft Azure, que ofrecen una variedad de herramientas y servicios para el procesamiento y análisis de datos.
3. Recopilación de datos: Se deben recopilar datos relevantes para las necesidades específicas de la agricultura peruana, por ejemplo, datos climáticos, de suelo, de cultivos, de plagas y enfermedades, entre otros.
4. Almacenamiento de datos en la nube: Los datos recopilados deben ser almacenados en la plataforma de Cloud-Computing seleccionada. Se pueden utilizar servicios como Amazon S3, Google Cloud Storage o Azure Blob Storage para almacenar y gestionar grandes cantidades de datos.
5. Procesamiento de datos: Los datos almacenados en la nube deben ser procesados para extraer información útil. Para ello, se pueden utilizar herramientas de procesamiento de datos como Apache Spark o Hadoop.

6. **Análisis de datos:** Una vez que los datos han sido procesados, se deben analizar para obtener información relevante. Por ejemplo, se pueden utilizar técnicas de aprendizaje automático para predecir la probabilidad de una plaga o enfermedad en una determinada zona geográfica, o para recomendar el mejor momento para el riego en función de las condiciones climáticas.
7. **Visualización de datos:** La información obtenida debe ser visualizada de manera clara y concisa para que los agricultores puedan comprenderla fácilmente. Se pueden utilizar herramientas de visualización de datos como Tableau o Power BI para crear gráficos y tablas interactivas.
8. **Integración con dispositivos IoT:** Se pueden utilizar dispositivos IoT para recopilar datos en tiempo real, por ejemplo, sensores de humedad del suelo, para mejorar la precisión de los análisis y recomendaciones.
9. **Implementación de recomendaciones:** Una vez que se han obtenido las recomendaciones, se deben implementar en la práctica. Por ejemplo, se pueden enviar alertas a los agricultores para que apliquen un tratamiento específico a un cultivo o para que ajusten la frecuencia de riego.
10. **Monitoreo y evaluación:** Finalmente, se debe monitorear y evaluar la efectividad de las recomendaciones implementadas y hacer ajustes en el modelo en caso de ser necesario.

Un ejemplo práctico de aplicación de este modelo de Cloud-Computing podría ser el uso de una plataforma en la nube para que los agricultores peruanos puedan ingresar información sobre la ubicación de sus tierras y recibir recomendaciones sobre los cultivos adecuados para esas áreas. Por ejemplo, un agricultor que posee una finca en la sierra peruana podría ingresar información sobre la altitud, la temperatura y el tipo de suelo de su finca en la plataforma, y recibir recomendaciones sobre los cultivos más adecuados para esa zona. Esto podría incluir cultivos como la papa, el maíz o la quinua, que son más resistentes a las bajas temperaturas y altitudes elevadas.

El "Modelo de Computación en la Nube para Procesos Agrícolas Inteligentes en Entornos con Limitaciones de Recursos (CSMARCE)"

El "Modelo de Computación en la Nube para Procesos Agrícolas Inteligentes en Entornos con Limitaciones de Recursos (CSMARCE)" se refiere a un modelo de computación en la nube para la agricultura inteligente en entornos con limitaciones de recursos. Este modelo utiliza tecnologías de la nube para proporcionar soluciones innovadoras y eficientes a los desafíos que enfrentan los agricultores en áreas con limitaciones de recursos, como la falta de agua, la falta de acceso a maquinaria y herramientas agrícolas modernas y la falta de conocimientos especializados (Zhou y Matsika, 2023).

El modelo CSMARCE se basa en la recopilación de datos a través de sensores en campo y su procesamiento en la nube para proporcionar información en tiempo real sobre el estado del cultivo, el clima, la calidad del suelo y otros factores relevantes. Los agricultores pueden acceder a esta información a través de una plataforma en línea y utilizarla para tomar decisiones informadas sobre el manejo de sus cultivos.

El uso de la tecnología de la nube permite a los agricultores acceder a soluciones de agricultura inteligente sin la necesidad de invertir en infraestructura costosa o tener conocimientos avanzados de TI. Además, al utilizar los recursos de la nube, se pueden reducir los costos de operación y mejorar la eficiencia en la gestión de los recursos agrícolas.

El modelo CSMARCE puede aplicarse en la agricultura peruana para mejorar la eficiencia y la productividad en entornos con limitaciones de recursos. Aquí hay algunos ejemplos de procesos agrícolas en los que se puede aplicar este modelo:

1. **Riego inteligente:** En Perú, una gran parte de la agricultura se basa en el riego por gravedad, lo que puede ser ineficiente y costoso en términos de agua y energía. El modelo CSMARCE se puede utilizar para monitorear el uso del agua y optimizar los procesos de riego, proporcionando información en tiempo real sobre la calidad del suelo, la humedad del suelo y las condiciones climáticas. Esto permitiría a los agricultores ajustar la cantidad de agua utilizada para el riego y reducir el desperdicio de agua.

2. **Monitoreo de plagas:** Las plagas son un problema común en la agricultura peruana, lo que puede afectar seriamente la producción de cultivos. El modelo CSMARCE se puede utilizar para monitorear las plagas mediante el uso de sensores y cámaras en el campo. La información recopilada se puede procesar en la nube y proporcionar recomendaciones de control de plagas basadas en datos precisos.
3. **Predicción del clima:** En Perú, el clima puede ser impredecible y extremo, lo que puede afectar la producción de cultivos. El modelo CSMARCE se puede utilizar para predecir el clima mediante el análisis de datos climáticos en tiempo real y proporcionar información actualizada a los agricultores. Esto permitiría a los agricultores tomar decisiones informadas sobre la selección de cultivos, el momento de la siembra y el uso de prácticas agrícolas adaptadas al clima.
4. **Gestión de inventario:** La gestión de inventario es un desafío importante en la agricultura peruana, especialmente para los pequeños agricultores que tienen recursos limitados. El modelo CSMARCE se puede utilizar para gestionar el inventario de insumos agrícolas, como semillas y fertilizantes, mediante el uso de tecnologías de identificación por radiofrecuencia (RFID) y el procesamiento de datos en la nube. Esto permitiría a los agricultores gestionar su inventario de manera más eficiente y reducir los costos.

Figura 2

Mapa Mental de aplicaciones CSMARCE para la agricultura peruana



Nota: elaboración propia.

Detección de enfermedades de plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo (Deep learning) en aplicaciones de agricultura inteligente

Es un proyecto que utiliza una arquitectura híbrida de aprendizaje profundo para la detección de enfermedades en plantas en aplicaciones de agricultura inteligente.

El proyecto se basa en la utilización de técnicas de procesamiento de imágenes para la identificación de patrones que permitan detectar la presencia de enfermedades en las plantas. Para ello, se utilizan redes neuronales convolucionales (CNN) y una técnica de transferencia de aprendizaje (Transfer Learning) que permite adaptar una red neuronal pre-entrenada para su uso en la detección de enfermedades en plantas.

La arquitectura híbrida de aprendizaje profundo combina dos técnicas de detección de enfermedades en plantas: el análisis de características de la imagen y el análisis de características de la textura. De esta manera, se logra una mayor precisión en la detección de enfermedades en plantas.

La aplicación de esta técnica en la agricultura inteligente permite una detección temprana y precisa de enfermedades en plantas, lo que puede mejorar significativamente la productividad y reducir los costos de producción en la agricultura (Acosta Henríquez y Mendoza Torres, 2017). Además, al utilizar técnicas de aprendizaje profundo, el modelo es capaz de aprender y mejorar continuamente a medida que se le presentan nuevos datos.

La aplicación de la tecnología de detección de enfermedades en plantas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial en la agricultura peruana podría tener una gran utilidad para los agricultores y mejorar la producción agrícola del país.

Un ejemplo de cómo esta tecnología podría ser aplicada en la agricultura peruana sería en la detección temprana de la enfermedad del “mal de Panamá” en los cultivos de banano. Esta enfermedad afecta a las raíces del banano y puede propagarse rápidamente a través del suelo y el agua, destruyendo los cultivos y causando pérdidas económicas significativas para los agricultores.

Utilizando técnicas de inteligencia artificial para la detección temprana de la enfermedad del “mal de Panamá”, los agricultores podrían tomar medidas preventivas a tiempo, como la eliminación de las plantas infectadas y la aplicación de fungicidas, para

evitar la propagación de la enfermedad y reducir los costos de producción (Guzmán-Álvarez, González-Zúñiga, Fernández y Calvo-Alvarado, 2022).

Otro ejemplo sería en la detección de la enfermedad del “tizón tardío” en los cultivos de papa. Esta enfermedad es causada por un hongo que afecta las hojas de la papa y puede causar la pérdida de los cultivos. Utilizando técnicas de inteligencia artificial, los agricultores podrían detectar la enfermedad tempranamente y aplicar medidas preventivas para evitar la propagación de la enfermedad y reducir las pérdidas económicas.

En general, la aplicación de la tecnología de detección de enfermedades en plantas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial en la agricultura peruana podría mejorar significativamente la eficacia de la detección temprana de enfermedades y, en consecuencia, reducir los costos de producción y mejorar la calidad y cantidad de los productos agrícolas en el país.

Especificamos algunos ejemplos adicionales de cómo la tecnología de detección de enfermedades en plantas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial podría aplicarse en la agricultura peruana:

En la detección de la enfermedad de la “roya amarilla” en los cultivos de café: Esta enfermedad afecta las hojas de los árboles de café y puede reducir significativamente la producción de granos de café. Utilizando técnicas de inteligencia artificial, los agricultores podrían detectar tempranamente la enfermedad y aplicar medidas preventivas, como la poda de las ramas afectadas y la aplicación de fungicidas, para evitar la propagación de la enfermedad y mejorar la calidad y cantidad del café producido (Espinoza Villafuerte, 2019).

En la detección de la enfermedad del “chahuistle” en los cultivos de maíz: Esta enfermedad es causada por un hongo y afecta las mazorcas de maíz, lo que puede reducir la cantidad y calidad del maíz producido (González, 2019). Utilizando técnicas de inteligencia artificial, los agricultores podrían detectar tempranamente la enfermedad y aplicar medidas preventivas, como la eliminación de las plantas infectadas y la aplicación de fungicidas, para evitar la propagación de la enfermedad y mejorar la calidad y cantidad del maíz producido.

En la detección de la enfermedad del “ojo de gallo” en los cultivos de tomate: Esta enfermedad es causada por un hongo y afecta los frutos del tomate, lo que puede reducir la

calidad y cantidad del tomate producido. Utilizando técnicas de inteligencia artificial, los agricultores podrían detectar tempranamente la enfermedad y aplicar medidas preventivas, como la eliminación de los frutos infectados y la aplicación de fungicidas, para evitar la propagación de la enfermedad y mejorar la calidad y cantidad del tomate producido.

En resumen, la tecnología de detección de enfermedades en plantas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial tiene el potencial de revolucionar la agricultura peruana, permitiendo una detección temprana y precisa de enfermedades, lo que a su vez permitiría tomar medidas preventivas oportunamente para evitar pérdidas económicas y mejorar la calidad y cantidad de los productos agrícolas producidos en el país.

Describimos en una tabla los pasos del proceso de detección de enfermedades en plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo en aplicaciones de agricultura inteligente:

Tabla 2

Pasos del proceso de detección de enfermedades

N°	Descripción	Procedimientos
1.	Adquisición de imágenes de plantas enfermas	Utilizar cámaras o drones para tomar imágenes de las plantas afectadas en los campos peruanos.
2.	Preprocesamiento de imágenes	Realizar la segmentación de la imagen para identificar la región de interés (ROI) de la planta. Realizar la normalización de la imagen para obtener la consistencia de la calidad de la imagen.
3.	Extracción de características	Usar técnicas de aprendizaje profundo, como redes neuronales convolucionales (CNN), para extraer características útiles de las imágenes de las plantas.
4.	Selección de características	Usar técnicas de selección de características para reducir la dimensionalidad y mejorar la eficiencia del modelo.
5.	Entrenamiento del modelo	Utilizar una combinación de técnicas de aprendizaje supervisado y no supervisado para entrenar el modelo de detección de enfermedades en plantas.

6.	Evaluación del modelo	Evaluar la precisión del modelo utilizando medidas de evaluación como la matriz de confusión, la precisión y el valor F1.
7.	Integración del modelo en una aplicación	Integrar el modelo de detección de enfermedades en una aplicación de agricultura inteligente para su uso en campo.
8.	Pruebas y validación en campo	Realizar pruebas y validaciones en campo en diferentes regiones de la agricultura peruana para verificar la eficacia del modelo en diferentes condiciones climáticas y tipos de plantas.
9.	Monitoreo y mejora continua	Monitorear continuamente el rendimiento del modelo y realizar mejoras y actualizaciones para garantizar la detección precisa de enfermedades en las plantas en todo momento.

Nota: elaboración propia.

Estos pasos se pueden aplicar en la agricultura peruana para desarrollar una aplicación de detección de enfermedades en plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo en aplicaciones de agricultura inteligente.

En cuanto a los últimos desarrollos aplicados en la detección de enfermedades en plantas utilizando arquitecturas híbridas de aprendizaje profundo en la agricultura inteligente, se han utilizado técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo para mejorar la precisión y la velocidad del proceso de detección.

Algunas de las últimas aplicaciones y desarrollos incluyen:

- Uso de redes neuronales convolucionales en cascada (*Cascaded CNN*) para mejorar la precisión de la detección de enfermedades en plantas.
- Implementación de técnicas de transferencia de aprendizaje para mejorar el rendimiento de las redes neuronales convolucionales en la detección de enfermedades en plantas.
- Uso de técnicas de segmentación semántica para identificar y segmentar las partes enfermas de las plantas en imágenes.
- Desarrollo de aplicaciones móviles para la detección de enfermedades en plantas utilizando arquitecturas de aprendizaje profundo y tecnología de realidad aumentada para mejorar la experiencia del usuario y la precisión de la detección.

Estos desarrollos y aplicaciones se están aplicando en la agricultura inteligente en todo el mundo, incluyendo la agricultura peruana, con el objetivo de mejorar la precisión y la eficiencia en la detección de enfermedades en plantas, lo que a su vez puede mejorar la productividad y la sostenibilidad de la agricultura.

Las aplicaciones existentes y actuales de esta tecnología en la agricultura peruana. Por ejemplo, en el 2019, la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima desarrolló una aplicación llamada "AgroNeural", que utiliza redes neuronales convolucionales para la detección de enfermedades en cultivos de papa, tomate y chirimoya.

La aplicación permite a los agricultores tomar fotos de las hojas de las plantas con su teléfono móvil y luego enviarlas a la aplicación para su análisis. La aplicación utiliza algoritmos de aprendizaje profundo para analizar las imágenes y detectar enfermedades en las plantas. Los resultados del análisis se envían de vuelta al agricultor, lo que le permite tomar decisiones más informadas sobre el cuidado de sus cultivos.

Además de la aplicación "AgroNeural" que mencioné anteriormente, existen otras aplicaciones de la tecnología de detección de enfermedades en la agricultura peruana, como por ejemplo:

- "Crop-R": Esta es una aplicación móvil que permite a los agricultores tomar fotos de las plantas y enviarlas a un equipo de expertos en agronomía, quienes utilizan técnicas de aprendizaje automático para analizar las imágenes y detectar enfermedades. La aplicación ha sido utilizada en cultivos de papa, maíz y quinua en Perú.
- "Plantix": Esta es una aplicación móvil que utiliza técnicas de visión por computadora para detectar enfermedades en plantas y proporcionar soluciones para combatirlas. La aplicación ha sido utilizada en cultivos de café, cacao y banano en Perú.
- "Agrapp": Esta es una plataforma web que utiliza inteligencia artificial para analizar datos sobre clima, suelo y cultivos para proporcionar recomendaciones personalizadas a los agricultores. La plataforma ha sido utilizada en cultivos de maíz, papa y arroz en Perú.
- "Farmspace": Esta es una aplicación móvil que utiliza datos de sensores remotos para monitorizar los cultivos y proporcionar información en tiempo real sobre el estado de

los cultivos. La aplicación ha sido utilizada en cultivos de cítricos, palta y uva en Perú.

Estas aplicaciones son ejemplos de cómo la tecnología de detección de enfermedades y el aprendizaje automático se están utilizando en la agricultura peruana para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción agrícola.

Algunas tecnologías que podrían implementarse en los ejemplos anteriores para mejorar la eficiencia y precisión de las aplicaciones son:

- Internet de las cosas (IoT): Para la monitorización de datos en tiempo real de las plantas, suelo y clima. Esto permitiría una toma de decisiones más rápida y precisa en cuanto a la gestión del cultivo.
- Robótica agrícola: Para la automatización de algunas tareas, como la siembra, fertilización y recolección. Esto reduciría la dependencia de mano de obra y aumentaría la eficiencia en la gestión del cultivo.
- Big Data y análisis de datos: Para el análisis de grandes cantidades de datos de los cultivos y clima. Esto permitiría una mejor comprensión de los patrones y tendencias en los cultivos, así como una toma de decisiones más informada.
- Drones: Para la monitorización del cultivo desde el aire. Esto permitiría una evaluación más rápida y precisa del estado de las plantas, la detección temprana de enfermedades y la identificación de áreas de cultivo que necesitan atención.
- Realidad virtual y aumentada: Para la capacitación de agricultores en técnicas de cultivo y en la identificación de enfermedades y plagas. Esto permitiría una capacitación más eficiente y accesible para los agricultores en zonas remotas.
- Agricultura de precisión: el uso de tecnologías como sensores remotos, drones y GPS para recolectar datos en tiempo real sobre la calidad del suelo, las condiciones climáticas y otros factores, permitiendo una toma de decisiones más informada y precisa.
- Internet de las cosas (IoT): el uso de dispositivos y sensores conectados a internet para recopilar y transmitir información sobre las condiciones de cultivo y el estado de las plantas en tiempo real, lo que permite una supervisión más eficiente y una respuesta rápida a los cambios en el campo.

- Robótica y automatización: el uso de robots y maquinaria automatizada para tareas como la siembra, el riego y la cosecha, lo que reduce la necesidad de mano de obra y aumenta la eficiencia.
- Blockchain: el uso de tecnología blockchain para mejorar la transparencia y la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos, lo que permite a los consumidores rastrear la procedencia y la calidad de los productos agrícolas.

Es importante destacar que la implementación de estas tecnologías debe hacerse de manera cuidadosa y con una planificación adecuada, considerando factores como la infraestructura disponible, la capacitación de los agricultores y el costo-beneficio de la implementación.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En conclusión, la implementación de tecnologías avanzadas en la agricultura peruana puede proporcionar numerosos beneficios, como la mejora de la eficiencia en la producción de cultivos, el aumento de la calidad de los productos, la reducción de los costos y la minimización del impacto ambiental.

El uso de algoritmos de aprendizaje automático puede ayudar a los agricultores a comprender mejor la variabilidad de los nutrientes del suelo, lo que les permite ajustar la cantidad de fertilizante utilizada y mejorar la salud del suelo.

El modelo de Cloud-Computing para implementar agricultura inteligente puede proporcionar a los agricultores acceso a una amplia gama de datos y análisis, lo que les permite tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia en la producción.

La detección de enfermedades de plantas utilizando arquitecturas híbridas de aprendizaje profundo puede ayudar a los agricultores a detectar enfermedades de manera temprana y tomar medidas preventivas para reducir la propagación de la enfermedad, lo que a su vez puede aumentar la calidad de los productos y reducir las pérdidas.

En general, la aplicación de estas tecnologías en la agricultura peruana puede mejorar significativamente la productividad y la sostenibilidad de la industria agrícola del país. Sin embargo, se deben abordar desafíos clave, como la disponibilidad de recursos y la formación de los agricultores, para garantizar una implementación exitosa y sostenible de estas tecnologías.

En cuanto a la implementación del modelo de Cloud-Computing para la agricultura inteligente, se puede destacar su gran importancia para la agricultura peruana, ya que este país cuenta con una gran variedad de cultivos y ecosistemas, lo que hace necesario un enfoque personalizado para cada tipo de cultivo y suelo. La aplicación de este modelo permitiría una mayor precisión en la toma de decisiones y una optimización en la gestión de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas, reduciendo costos y aumentando la eficiencia en la producción.

En cuanto a la detección de enfermedades de plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo, se puede destacar su gran potencial para la agricultura peruana, ya que permitiría una detección temprana y precisa de enfermedades de plantas, lo que a su vez reduciría el uso excesivo de pesticidas y fungicidas, disminuyendo su impacto ambiental y protegiendo la salud humana. Además, esta tecnología permitiría una mayor eficiencia en el monitoreo y cuidado de los cultivos, lo que se traduciría en una mayor productividad y rentabilidad para los agricultores.

En cuanto a la falta de aplicaciones de estas tecnologías en la agricultura peruana, existe una clara necesidad de implementar estas tecnologías en la agricultura peruana para mejorar la eficiencia y la productividad de los cultivos, así como para reducir los costos y el impacto ambiental de la agricultura.

La aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo con datos ambientales puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones más informadas sobre el uso de fertilizantes y otros insumos, lo que puede reducir los costos y mejorar la eficiencia de los cultivos.

La implementación de un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente puede ayudar a los agricultores peruanos a acceder a datos y herramientas de análisis de

manera más fácil y eficiente, lo que puede mejorar la toma de decisiones y la productividad de los cultivos.

La detección de enfermedades de plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo en aplicaciones de agricultura inteligente puede ayudar a los agricultores a identificar y tratar enfermedades de manera más rápida y precisa, lo que puede reducir las pérdidas de cultivos y mejorar la eficiencia de la producción agrícola. El desarrollo de estas tecnologías en la agricultura peruana puede tener un impacto positivo significativo en la productividad, eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola, y por lo tanto es importante que se promueva su uso en el sector agrícola del país.

En conclusión, la implementación de tecnologías como algoritmos de aprendizaje automático, modelos de Cloud-Computing y arquitecturas híbridas de aprendizaje profundo, representa una gran oportunidad para la agricultura peruana, permitiendo una mayor eficiencia en la gestión de recursos, una producción más sostenible y una mejor protección de la salud humana y del medio ambiente. Es importante que los agricultores y los tomadores de decisiones en el sector agrícola consideren la aplicación de estas tecnologías para seguir avanzando hacia una agricultura más inteligente y sostenible en el Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Glackin, M. (2019). Mejora de la predicción: el valor del conocimiento meteorológico sustentado en datos y en la colaboración pública y privada. *Boletín de la OMM*, 68(1), 59-63.
- Pascual, I. D. L. A., Ramírez, J. L. y Ortiz, A. (2016). Métodos de Inteligencia Artificial para la predicción del rendimiento y calidad de gramíneas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(12), 1-9.
- Plazas Aquite, L. O., Candro Cuineme, D. F. y Diaz Rojas, M. J. (2022). *Plan de negocios para la creación de una empresa de servicios de captura y analítica de datos, basados en tecnología UAV (drones) apoyado en inteligencia artificial (IA) para la planeación, seguimiento y control de proyectos agrícolas*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad EAN.
- Beddington, J. R., Asaduzzaman, M., Fernández, A., Clark, M. E., Guillou, M., Jahn, M. M. y Wakhungu, J. W. (2011). *Lograr la seguridad alimentaria ante el cambio climático: Resumen para responsables de la política de la Comisión sobre la Agricultura Sostenible y el Cambio Climático*. Programa de Investigación del CGIAR sobre el Cambio Climático, la Agricultura y la Seguridad Alimentaria.
- Melo, A. y Mora, B. (2022). La geoestadística: la estadística aplicada a las ciencias de la tierra. *Sigma*, 18(1), 15-22.
- González García, N. y Taborda Londoño, A. (2015). *Análisis de componentes principales Sparse: formulación, algoritmos e implicaciones en el análisis de datos*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad de Salamanca.
- Cajo Hernández, J. A. y Rosales Caururu, A. N. (2022). *Sistema de control y gestión para los cultivos agrícolas aplicando tecnologías emergentes en el Perú*. [Tesis de pregrado]. Repositorio UPC.
- Namani, S. y Gonen, B. (marzo 2020). Smart agriculture based on IoT and cloud computing. En *2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT)* (pp. 553-556). IEEE.

- Hernandez, N. L. y Florez-Fuentes, A. S. (2014). Computación en la nube. *Mundo Fesc*, 4(8), 46-51.
- Kamlofsky, J. (2022). Computación en la Nube: Fundamentos, Críticas y Desafíos. *Revista Abierta de Informática Aplicada*, 6(2), 3-30.
- Monroy, Y. T., Noguera, J. F., Rojas Cordero, A. y Satoba, D. (2016). *Prototipo para software de competencias de programación Boca en la nube*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Fundación Universitaria Politécnico Gran Colombiano.
- Pérez, M. R., Mendoza, M. A. y Suarez, M. J. (2019). Paradigma IoT: desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura. *Paradigma*, 40(18), 1-8.
- Pérez, D. y Rics, R. (2020). Implementación de Lora y Lorawan como escenario futuro de las industrias 4.0 en el sector agroindustrial peruano. *Revista Campus*, 25(29), 133-147. <https://doi.org/10.24265/campus.2020.v25n29.10>
- Zhou, M. y Matsika, C. (2023). A Cloud-Computing Model for Implementing Smart Agriculture. En *Artificial Intelligence and Smart Agriculture Applications* (pp. 47-62). Auerbach Publications.
- Acosta Henríquez, G. F. y Mendoza Torres, C. M. (2017). Aplicaciones de los drones en la agricultura. *Anuario de Investigación*, 4, 351-365. <http://hdl.handle.net/123456789/199>
- Guzmán-Álvarez, J. A., González-Zuñiga, M., Fernandez, J. A. S. y Calvo-Alvarado, J. C. (2022). Uso de sensores remotos en la agricultura: aplicaciones en el cultivo del banano. *Agronomy Mesoamerican*, 48279-48279.
- Espinoza Villafuerte, N. (2019). *Diagnóstico automatizado para la clasificación de café trillado con broca mediante procesamiento de imágenes con Deep Learning*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Peruana Unión.
- Gonzalez, G. V. (2019). Generating and Disseminating Technology. *Food Policy in Mexico: The Search for Self-Sufficiency*.