

Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería



Volumen I-N°3 Diciembre 2025

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto y asistencia de diseño

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Perú

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Uso de la inteligencia artificial para la detección de fallas en la producción de productos agroquímicos orgánicos en una empresa peruana

Srta. Yeni Choque Meza

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

correo electrónico: yeni.choque@unmsm.edu.pe

Srta. Gabriela del Pilar Vega Bernuy

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo electrónico: gabriela.vegab@unmsm.edu.pe

Resumen: El presente artículo se centra en el análisis del proceso de producción de la industria agroquímica en el Perú y los desafíos que este enfrenta debido a lo complejo que es el proceso de fabricación y cómo la aplicación de sistemas basados en la inteligencia artificial pueden detectar con anticipación los fallos en el proceso que resultan en pérdidas económicas, desperdicio de recursos, baja calidad de los productos y la ineficiencia en la producción. El método aplicado en esta investigación es el PICOC y a partir de la revisión sistemática de estudios se logra un resumen de datos de estudios relacionados a la investigación; de ello se extrae los artículos más relevantes en base a los parámetros de exclusión detallados en el diagrama prisma que se basan principalmente en el logro de los objetivos planteados y desarrollo de los ejes de estudio. Con los análisis de los estudios se resalta que la adopción de inteligencia artificial en la producción agroquímica orgánica, constituye una estrategia clave para mantener la competitividad, la integración del aprendizaje automático, sistemas de visión artificial y las tecnologías avanzadas como el análisis de infrarrojo cercano (NIR) que potencian la innovación, mejoran la precisión en el control de calidad, mejoran la productividad y la eficiencia operativa. Además, permite a las empresas cumplir con estándares de sostenibilidad y responsabilidad social, reforzando su compromiso ambiental.

Palabras Claves: Proceso de producción/ Inteligencia artificial/ Agroquímicos/ Detección de fallos/ Análisis de infrarrojo cercano/ Aprendizaje automático.

Abstract: This article focuses on the analysis of the production process of the agrochemical industry in Peru and the challenges it faces due to how complex the manufacturing process is and how the application of systems based on artificial intelligence can detect in advance the failures in the process that result in economic losses, waste of resources, low quality of products and inefficiency in production. The method applied in this research is the PICOC and from the systematic review of studies a summary of data from studies related to the research is achieved, from which the most relevant articles are extracted based on the exclusion parameters detailed in the prism diagram that They are based mainly on the achievement of the stated objectives and development of the study axes. The analysis of the studies highlights that the adoption of artificial intelligence in organic agrochemical production constitutes a key strategy to maintain competitiveness, the integration of machine learning, artificial vision systems and ad-

vanced technologies such as near infrared analysis (NIR).) that enhance innovation, improve precision in quality control, improve productivity and operational efficiency. In addition, it allows companies to comply with sustainability and social responsibility standards, reinforcing their environmental commitment.

Keyword: Production process/ Artificial intelligence/ Agrochemicals/ Fault detection/ Near-infrared analysis/ Machine learning.

Résumé : Cet article se concentre sur l'analyse du processus de production de l'industrie agrochimique au Pérou et les défis auxquels elle est confrontée en raison de la complexité du processus de fabrication et sur la manière dont l'application de systèmes basés sur l'intelligence artificielle peut détecter à l'avance les échecs du processus. qui entraînent des pertes économiques, un gaspillage de ressources, une mauvaise qualité des produits et une inefficacité de la production. La méthode appliquée dans cette recherche est le PICOC et à partir de l'examen systématique des études, on obtient un résumé des données des études liées à la recherche, à partir duquel les articles les plus pertinents sont extraits en fonction des paramètres d'exclusion détaillés dans le diagramme prismatique qu'ils sont. basé principalement sur l'atteinte des objectifs affichés et le développement des axes d'étude. L'analyse des études souligne que l'adoption de l'intelligence artificielle dans la production agrochimique biologique constitue une stratégie clé pour maintenir la compétitivité, l'intégration de l'apprentissage automatique, des systèmes de vision artificielle et des technologies avancées telles que l'analyse proche infrarouge (NIR) qui améliorent l'innovation. améliorer la précision du contrôle qualité, améliorer la productivité et l'efficacité opérationnelle. De plus, il permet aux entreprises de se conformer aux normes de durabilité et de responsabilité sociale, renforçant ainsi leur engagement environnemental.

Mots-clés: Processus de production/ Intelligence artificielle/ Agrochimie/ Détection de défauts/ Analyse proche infrarouge/ Machine learning.

1. Introducción:

La industria agroquímica en Perú enfrenta desafíos significativos debido a la complejidad de sus procesos productivos, que a menudo resultan en pérdidas económicas, desperdicio de recursos y baja calidad en los productos. Los métodos tradicionales de supervisión y control suelen ser insuficientes para detectar y corregir fallas a tiempo. En este contexto, la implementación de herramientas tecnológicas de la industria 4.0, particularmente la inteligencia artificial (IA), se presenta como una solución transformadora para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sector.

Investigaciones recientes destacan los beneficios de la IA en procesos agroindustriales. Según Hoyos Patiño (2023), el uso de IA y aprendizaje autónomo en el ámbito agropecuario optimiza recursos, reduce impactos ambientales y genera beneficios económicos y sociales. Por su parte, Niura Condori (2008) desarrolló un sistema de visión

artificial capaz de detectar errores de manera automática, superando las limitaciones del control manual.

Aplicaciones específicas de IA, como el modelo desarrollado por la Universidad Nacional Agraria La Molina, muestran cómo estas tecnologías pueden optimizar la producción, reducir desperdicios y ajustar procesos de forma automática. En particular, un sistema de IA para la detección de fallas en la producción de agroquímicos puede prever y corregir anomalías en tiempo real, minimizando costos y garantizando productos de alta calidad.

En conclusión, la IA es clave para transformar la producción agroquímica peruana, aumentando su competitividad y promoviendo prácticas sostenibles en un mercado global cada vez más exigente. (Hoyos Patiño, 2023; Niura Condori, 2008).

Problema general

P.G. ¿Cómo un sistema de inteligencia artificial puede mejorar la detección de fallos y la eficiencia en la producción de productos agroquímicos orgánicos en una empresa peruana?

Problemas específicos

P.E.1. ¿Cuál es el impacto de las fallas en la producción de productos agroquímicos orgánicos?

P.E.2. ¿Cuáles son las etapas críticas en la producción de productos agroquímicos orgánicos?

P.E.3. ¿Cuáles son las tecnologías que permiten el monitoreo y la detección de fallas en la producción de productos agroquímicos orgánicos?

Objetivo general:

O.G. Implementar un sistema basado en inteligencia artificial (IA) para detectar fallas en la producción de productos agroquímicos orgánicos en una empresa peruana.

Objetivo específicos:

O.E.1. Analizar el impacto de las fallas en la producción de productos agroquímicos orgánicos.

O.E.2. Identificar los puntos críticos en la producción de productos agroquímicos orgánicos.

O.E.3. Identificar las tecnologías de monitoreo y detección de fallas en la producción de productos agroquímicos orgánicos.

2. Metodología

2.1. Pregunta PICOC

La metodología PICOC es ampliamente utilizada para organizar los criterios de elegibilidad en informes de revisiones sistemáticas de literatura. Es esencial identificar y definir claramente la población, la intervención, la comparación y los resultados deseados, ya que esto facilita la búsqueda de información relevante (Page et al., 2021).

Se formuló la siguiente pregunta para la revisión sistemática de la literatura:

¿Cómo reducir las fallas en el proceso de producción de agroquímicos mediante un sistema basado en la inteligencia artificial en Perú?

2.2. Palabras claves especializadas pertinentes

Las palabras claves van acorde a lo formulado en la pregunta "PICOC", clasificando estas palabras con la estructura de la pregunta. La estructura se detalla de la siguiente manera.

Tabla N° 1: Estrategia del acrónimo PICOC

Código	Palabra clave en español	Palabra clave en ingles
P	Producción de agroquímicos, agroquímicos, agropecuaria	agrochemical production, agrochemical, agricultural
I	Inteligencia artificial, aprendizaje automático	artificial intelligence, machine learning
C	-	--
O	Detección, monitoreo	Detection, monitoring
C	Proceso de producción, producción, procesos	Production process, production, processes

Fuente: Elaboración propia

2.3. Ecuación de búsqueda

En este punto se analizaron las palabras claves para iniciar la realización de la ecuación de búsqueda y facilitar el alcance de las publicaciones relacionadas al tema de investigación. La ecuación de búsqueda realizada para la RSL (revisión sistemática de literatura) es la siguiente:

("Detection" OR "Monitoring") AND ("Production process" OR "Production" OR "processes") AND ("artificial intelligence" OR "machine learning") AND ("agrochemical" OR "agricultural" OR "agrochemical production")

2.4. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos científicos

Los criterios cumplen un papel fundamental al asegurar la coherencia, pertinencia y validez de un estudio, al tiempo que brindan protección a los participantes involucrados. Establecer criterios definidos de manera precisa contribuyen a mejorar la calidad de la investigación, facilitando la interpretación y aplicación generalizada de los resultados obtenidos. Los criterios seleccionados para la investigación son los siguientes:

Tabla N° 2 : Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
I1. Publicaciones de aplicaciones de herramientas de 4.0 en procesos productivos	E1. Publicaciones que incluyan temas administrativos, ambientales
I2. Publicaciones relacionadas al contexto de procesos productivos de agroquímicos y/o químicos	E2. Publicaciones que hablen sobre otras industrias diferentes a la agropecuaria, agroquímicos y/o químicos
I3. Publicaciones sobre aplicaciones de inteligencia artificial para monitoreo de fallos en el proceso de producción	E3. Publicaciones débilmente relacionadas con inteligencia artificial y sistemas de detección de fallas en la producción
I4. Publicaciones de aplicaciones de sistemas basados en inteligencia artificial para detección de fallos en la producción de agroquímicos	E4. Publicaciones con información parcialmente irrelevante

Fuente: Elaboración propia

2.5. Descripción del proceso de selección

Resultados obtenidos del proceso de búsqueda de literatura científica

El resultado obtenido mediante la ecuación de búsqueda introducida en la base de datos de ScienceDirect, muestra una cantidad de 406 publicaciones, entre artículos y RSL, de estas se seleccionan las publicaciones finales en la investigación.

Descripción de la lógica de selección considerada

Para la selección se consideran criterios básicos y principales que fueron contemplados al inicio de la investigación. Esos criterios se detallan como: incluir a la base de datos general (Scopus y ScienceDirect), otras bases de datos para la extracción de artículos adicionales (Scielo y Google académico), excluir las publicaciones que cuenten con acceso restringido y que no sean artículos y/o revisiones. Por otro lado, se detallan criterios más específicos, como los de inclusión y exclusión para la fase final de selección. Los criterios son señalados en la tabla n° 2, teniendo el propósito de determinar la can-

tividad final de publicaciones a considerar en la RSL (Revisión sistemática de la literatura) y el flujograma PRISMA.

Descripción detallada del proceso de selección y sus resultados

El diagrama PRISMA es una herramienta ampliamente utilizada en revisiones sistemáticas, ya que posibilita a los autores realizar análisis completos de manera ágil. Esto permite una comprensión profunda del tema de investigación, debido a que sintetiza eficientemente la evidencia relevante y genera nuevos conocimientos en el campo (Sohrabi et al., 2021). Por ello, el diagrama de flujo se realizó en base a cuatro puntos fundamentales para su desarrollo, entre ellos; la identificación, el cribado, la idoneidad y la inclusión.

Identificación

En este punto se identifican los estudios que muestran la ecuación de búsqueda formulada ($n=424$), asimismo, se cuenta con estudios identificados en registros de fuentes adicionales ($n=4$). Todo ello genera un total de estudios identificados ($n=428$), excluyendo las publicaciones duplicadas realizadas en otra base de datos ($n=0$).

Cribado

En base a las publicaciones identificadas ($n=428$), se excluyen publicaciones sin acceso, con fecha límite y que no sean artículos y/o revisiones ($n=315$). Como resultado se obtienen publicaciones recuperadas para evaluación ($n=113$), en el cual, se excluyen aquellas publicaciones que su título y/o resumen no tengan relación con inteligencia artificial, proceso de producción, detección de fallos, agroquímicos ($n=38$).

Idoneidad

De este modo se obtienen las publicaciones evaluadas para elegibilidad ($n=75$). Luego, se aplican los criterios de inclusión y exclusión para la selección definitiva ($e1=1$; $e2=5$; $e3=16$; $e4=6$), obteniendo el resultado de estudios excluyentes ($n=47$). Finalmente se retiran los estudios de lectura completa ($n=37$).

Inclusión

Finalmente se consigue la cantidad de estudios incluidos en la revisión ($n=10$), los que se tomarán en cuenta para el desarrollo del trabajo de revisión.

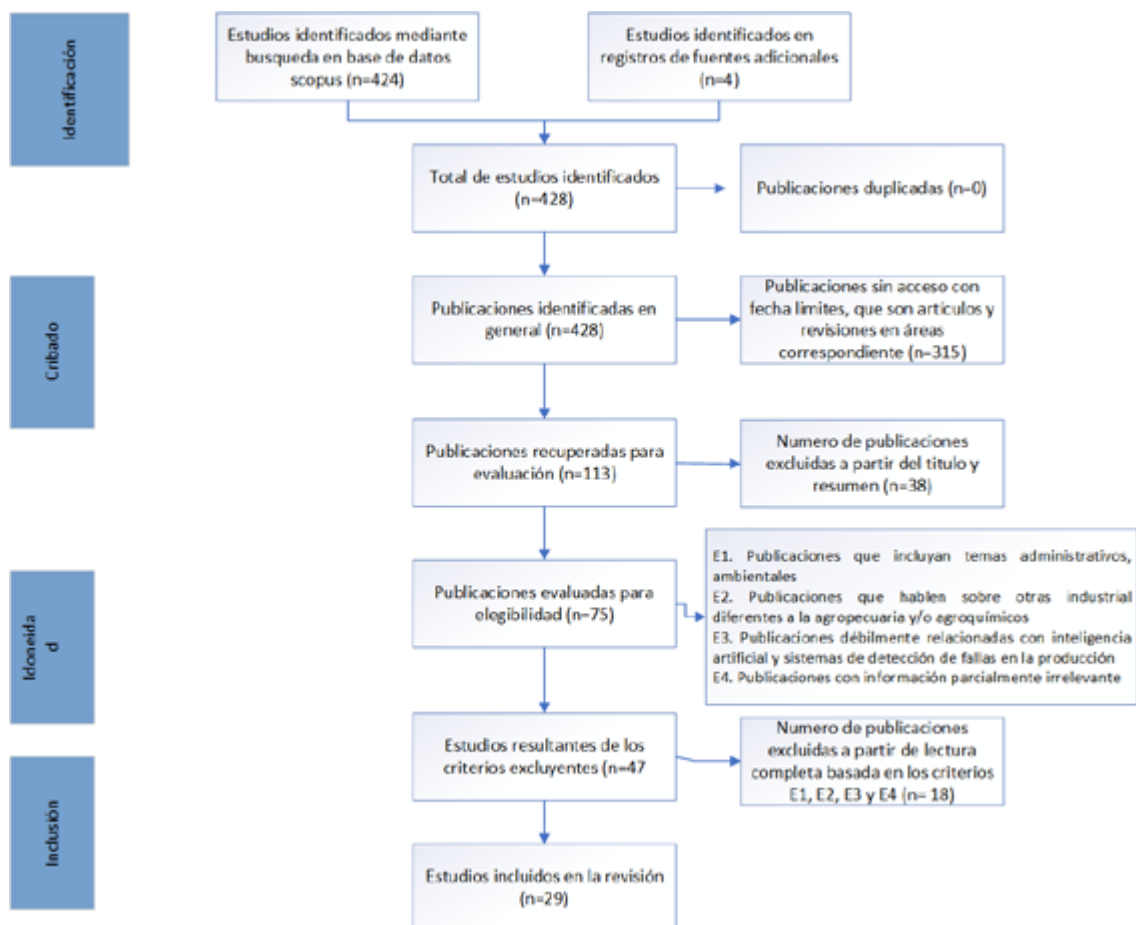
Figura N° 1: Proceso de elección del artículo para la RSL.**Fuente:** Elaboración propia

Tabla N° 3: Aportes de artículos y revisiones seleccionados

N	Año	Autor	Título	Aporte	País
1	2021	Arden N.S., Fisher A.C., Tyner K., Yu L.X., Lee S.L., Kopcha M.,	Industry 4.0 for pharmaceutical manufacturing: Preparing for the smart factories of the future	Este estudio proporcionó una descripción generalizada acerca de las tecnologías actuales para la fabricación farmacéutica como el internet de las cosas y la inteligencia artificial y que con ello se logra más agilidad en la producción y mayor calidad	United States
2	2023	Chen, Y., Sampat, C., Huang, Y.-S., Reklaitis, GV, Ierapetritou, M.	Un marco integrado de gestión de datos e informática para procesos de fabricación continua de productos farmacéuticos: un estudio de caso en dos plantas piloto	Este estudio da a conocer la importancia de la digitalización de los procesos, la implementación de herramientas tecnológicas y la gestión de datos	United States
3	2022	Ntamo, D., López-Montenegro, E., Mack, J., Moghadam, PZ, Zandi, M.	Industria 4.0 en acción: digitalización de un proceso continuo de fabricación de productos formulados	Este artículo proporciona información sobre la aplicación de un gemelo digital a un proceso de granulación húmeda y formación de comprimidos en base a sistemas de control de procesos avanzados y la aplicación de NIR (análisis de infrarrojo cercano)	Reino Unido
4	2023	Pullido, W., Castañeda, C.	La inteligencia artificial y su aporte en la optimización de la logística	Las investigaciones que profundizan en torno a la aplicación de la IA en determinados escenarios han revelado su utilidad para apoyar procedimientos en laboratorios clínicos para la productividad y eficiencia en las economías agrarias	Colombia
5	2023	Hoyos, J., Velásquez, B., Rico, D., García, N.	Impacto transformador de la inteligencia artificial y aprendizaje autónomo en la producción agropecuaria: un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia.	En este estudio, se llevó a cabo un mapeo sistemático de literatura con el propósito de explorar la viabilidad de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) en el ámbito agropecuario.	Colombia
6	2019	Ramírez, J., Sarmiento, H., Lopez, J.	Diagnóstico de fallas en procesos industriales mediante inteligencia artificial	En este artículo se presenta una revisión sobre el diagnóstico de fallas en procesos industriales mediante inteligencia artificial, se presentan las generalidades, principales estrategias inteligentes utilizadas en el diagnóstico como redes neuronales, lógica difusa,	Colombia

7	2022	Niño, A., Gomez, W.	La inteligencia artificial en la reducción de procesos industriales	Al aplicar la IA a la producción industrial podría creerse que los costos de los productos para el usuario final podrían llegar a ser más favorables, pero con el paso del tiempo se ha observado que su precio se mantiene estable y en ocasiones este presenta incrementos inaceptables	Colombia
8	2024	Calle, J., Pincay, M., Mendoza, B., Bravo, G.	Uso estratégico de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministro empresarial	Los resultados revelaron que la implementación de la IA conlleva beneficios significativos.	Perú
9	2018	Delgado-Ze- garra, Jaime Alvarez-Ris- co, Aldo Yáñez, Jaime A.	Uso indiscriminado de pesticidas y ausencia de control sanitario para el mercado interno en Perú	La información se ha obtenido de los informes incluidos en la página web del SENASA. Los datos considerados corresponden a los de los informes de evaluación de todos los tipos de alimentos de origen vegetal y animal analizados en el periodo comprendido entre 2011 y 2015.	Perú
10	2023	Johann Fer- nando Hoyos Patiño+Blan- ca Liliana Velásquez Carrascal+- Dewar Rico Bautista+Noel García Díaz+ Barrien- tos-Aven- daño, E., Coronel	Impacto transformador de la inteligencia artificial y aprendizaje autónomo en la producción agropecuaria: un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia	En este estudio, se llevó a cabo un mapeo sistemático de literatura con el propósito de explorar la viabilidad de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) en el ámbito agropecuario.	Colombia
11	2020	Rojas, Luisia- na, Estados Unidos, Cues- ta-Quintero, F., Rico-Bau- tista, D.	Sistema de gestión de ventas tienda a tienda: aplicación de técnicas de inteligencia artificial	Muestra los aspectos del desarrollo de un sistema de ventas tienda a tienda mediante técnicas de inteligencia artificial,	Colombia
12	2024	Manuel José Peñalver-Hi- guera Josía Jeseff Isea-Argüe- lles	Transformación hacia fábricas inteligentes: El papel de la IA en la industria 4.0	La industria 4.0 se ha visto significativamente afectada por las fábricas inteligentes impulsadas por la inteligencia artificial (IA).	Perú
13	2022	Ruiz Guajala, M. E.	Análisis espacial de la eficiencia de las empresas manufactureras del Ecuador	Determinar el índice de eficiencia de las empresas del sector manufacturero del Ecuador en un enfoque espacial tanto a nivel provincial como regional.	Ecuador

14	2016	Cecilie Esperbent	<p>Robots: la próxima revolución del campo</p> <p>En un futuro cercano, la incorporación de la inteligencia artificial a lo agropecuario permitirá tomar mejores decisiones y optimizar aún más las prácticas agrícolas. Desarrollos argentinos que transformaron el trabajo en el campo.</p>	El uso de la IA para el desarrollo del sector agropecuario	Argentina
15	2023	<p>Hugo Ticona Salluca, Jordan Piero Borda Colque, Bernabé Canqui Flores, César Enrique</p> <p>Yupanqui Bendita, Juan Kenyhy Hanco Quispe, Fred Torres-Cruz Dylan Andrés Barreto Mendoza,</p> <p>Roberto David Cedeño Mendoza,</p> <p>Evelyn Jamileth Chavarria Mendoza</p> <p>Suly Gabriela Caicedo Mero</p> <p>Cristhian Marcony Villa Palma</p>	<p>APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA</p> <p>AGRICULTURA PERUANA</p> <p>Aplicación de la inteligencia artificial en la producción de sembrío de ciclo corto en el sector agro productivo</p>	<p>La implementación de tecnologías avanzadas en la agricultura peruana</p> <p>pueden proporcionar numerosos beneficios, como la mejora de la eficiencia en la producción de cultivos</p> <p>Los resultados obtenidos reflejan su afectación no solo por plagas o factores ambientales, la producción genera diferentes impactos sean climáticos o económicos orientados en sus cultivos y las predicciones mitigan su productividad desde el inicio hasta la culminación de la cosecha; esto genera información valiosa al momento de tomar alguna decisión de mejora.</p>	Perú
16	2024				Perú
17	2020	Ginette Rocío Moreno Cañas	Inteligencia artificial: herramienta al servicio de la agroindustria en Colombia	El desarrollo de la agroindustria con el uso de la inteligencia artificial.	Colombia

18	2023	Luis Tonatiuh Castellanos Serrano	Optimización de sistemas de soporte de decisiones en agricultura mediante IA: un enfoque integrado	El uso de la inteligencia artificial para el mejoramiento de la agricultura.	Mexico
19	2004	ROBIN ROSE 1, DIANE L. HAASE 1, EDUARDO ARELLANO 2	Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación	Los fertilizantes de entrega controlada (FEC) presentan un gran potencial para aumentar la competitividad de las plantas forestales para una variedad de sitios de reforestación.	Chile
20	2017	Aldo Ortiz	El uso de fertilizantes químicos y el crecimiento de la agricultura paraguaya	Se describe el comportamiento del consumo de fertilizantes químicos compuestos en Paraguay y el crecimiento de la agricultura en la última década.	Argentina
21	2023	Alegría-Campo, D., Zúñiga-Escobar, O., Huerta-Barrientos, A	Evaluación de la productividad y calidad del grano de cacao según la teoría de la práctica (TP) e inteligencia artificial: una revisión sistemática	Se describe el involucramiento de teoría de práctica y la inteligencia artificial como elementos en el sistema de productividad y calidad de los granos de café, mediante una revisión sistemática de artículos relacionados a dichos campos de interés	Colombia
22	2018	Ramírez, J.A., Sarmiento, H.O., López-Lezama, J.M.	Diagnóstico de fallas en procesos industriales mediante inteligencia artificial	Este artículo presenta una revisión sobre el diagnóstico de fallas en procesos industriales mediante inteligencia artificial; también presenta las generalidades, principales estrategias inteligentes utilizadas en el diagnóstico y un análisis comparativo de los trabajos encontrados en la literatura.	Colombia
23	2019	Teles, CA, Freitas, ACDP, Rodrigues, AC	Comparación de métodos de detección de fallas en procesos químicos utilizando inteligencia artificial	Se centra en el estudio de fallas de equipos industriales, para el estudio se aplicaron tres métodos diferentes (redes neuronales artificiales, lógica difusa y máquina de vectores de soporte). Todos ellos fueron aplicados como sistemas de detección y clasificación de fallas en los procesos de un caso de estudio y poder comparar la eficiencia de cada método	Brasil

24	2024	El Khaoudi, M., El Bakkali, M., Mess-naoui, R., Cherkaoui, O., Al-Soulhi, A.	Revisión bibliográfica sobre la inteligencia artificial en los procesos de tintura y acabado	Esta revisión de la literatura tiene como objetivo proporcionar información relevante sobre el uso de la ingeniería digital en el campo del acabado textil. En esta investigación se utilizó una metodología de revisión sistemática de la literatura para examinar cómo se aplica la ingeniería digital en el proceso de teñido y acabado. Se basa en la automatización de dos procesos de la finca, que son la producción de fertilizante orgánico en lombricultura y de forraje verde hidropónico. Las tareas repetitivas que realizaba la mano de obra, fueron sustituidas por dispositivos electrónicos. La implementación se realizó con sistemas de bajo costo como Arduino y Raspberry logrando cumplir con la mayoría de los requisitos solicitados para la automatización.	Marruecos
25	2020	Cañas, J.J.L., Jaimes, L.M.S.	Automatización de la producción de forraje verde hidropónico y abono orgánico en la granja cunícola autosustentable en el municipio de mutiscua-Colombia	En el sector agrícola del Ecuador los productores no tienen la capacidad de negociar con los compradores, ya que, los precios de ventas de su producto son establecidos de acuerdo a un listado de referencia. Esto genera varias barreras en los agricultores y en la comercialización de sus productos puesto que las inversiones iniciales son muy elevadas, adicionalmente, los cambios y fenómenos climáticos y el tiempo entre siembra y cosecha son factores que demandan una alta inversión entre las personas que se dedican a esta actividad.	Colombia
26	2021	Juan Sebastian Bonilla Segovia1, Francisco Andrés Dávila Rojas, Manuel William Villa Quishpe3	Estudio del uso de técnicas de inteligencia artificial aplicadas para análisis de suelos para el sector agrícola	La aplicación de la inteligencia artificial (IA) ha sido evidente en el sector agrícola. Hoy en día, la agricultura se enfrenta a numerosos desafíos para maximizar su rendimiento, incluidos tratamientos inadecuados del suelo, infestación de enfermedades, plagas, entre otros, por lo que la necesidad del manejo de big data se ha vuelto un requisito fundamental en este sector para incrementar el conocimiento entre los agricultores y la tecnología.	Ecuador
27	2021	Bonilla Segovia, J. S., Dávila Rojas, F. A., & Villa Quishpe, M. W. (2021)	Estudio del uso de técnicas de inteligencia artificial aplicadas para análisis de suelos para el sector agrícola		Ecuador

28	2022	Segundo Alexander Toasa Tipantúa, Jeverson Santiago Quishpe Gaibor	Aplicación de la inteligencia artificial en el sector agrícola	El proyecto que se ha decidido plantear tiene como fin, el proporcionar al sector agrícola un sistema que permita la adquisición y monitoreo de datos, por medio de un sensor de temperatura y humedad.	Ecuador
29	2023	A. Cortez Vásquez, N. E. Cortez Vásquez, y R. U. García Conde,	IMPACTO DEL USO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN	Como resultado de estas investigaciones puede afirmarse con seguridad que la agricultura de precisión ha provocado la reconfiguración de los procesos agrícolas en el campo, lo que permite tomar decisiones productivas precisas para incrementar su rendimiento y rentabilidad, al tiempo que sirve como instrumento de evaluación.	Lima

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis descriptivo de los artículos

El número de publicaciones de artículos de investigación relacionados con el tema de inteligencia artificial y la detección de fallas en los procesos productivos ha tenido un aumento como se aprecia en la figura n° 2.

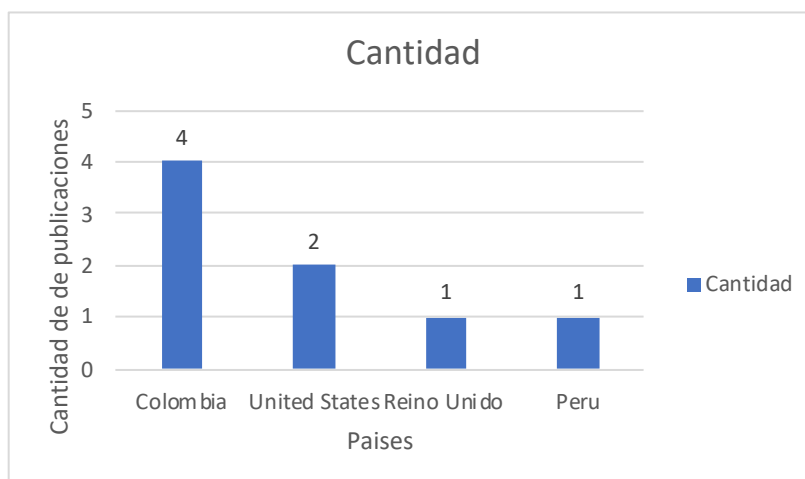
Figura N° 2: Cantidad de artículos publicados entre los años 2019-2024



Fuente: Elaboración propia

En la figura n° 3 se aprecia la cantidad de publicaciones por país, contando con el aporte de países para esta revisión sistemática de la literatura, asimismo se presenta la lista de los países respectivos, así como el total de los 10 artículos mencionados en el punto 3.1.

Figura N° 3: Cantidad de publicaciones por país.



Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis de correlación de los artículos seleccionados por eje temático

En este punto se realizó un análisis de correlación entre las preguntas específicas planteadas inicialmente y los artículos seleccionados.

3.2.1. Impacto de la inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) ha transformado múltiples sectores y la industria química no es una excepción. Su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos y ofrecer predicciones precisas ha permitido optimizar procesos, mejorar la calidad del producto y reducir costos. En el contexto de la producción de químicos, la IA está redefiniendo el modo en que se diseñan, implementan y supervisan los procesos productivos.

3.2.2. Descripción del proceso de producción de químicos

El proceso de producción implica varias etapas clave:

Investigación y desarrollo (I+D): Esta es la etapa inicial donde se diseñan nuevos compuestos químicos. Aquí, la IA puede acelerar el descubrimiento de nuevos materiales mediante simulaciones y modelado predictivo, analizando cómo las diferentes moléculas interactúan entre sí.

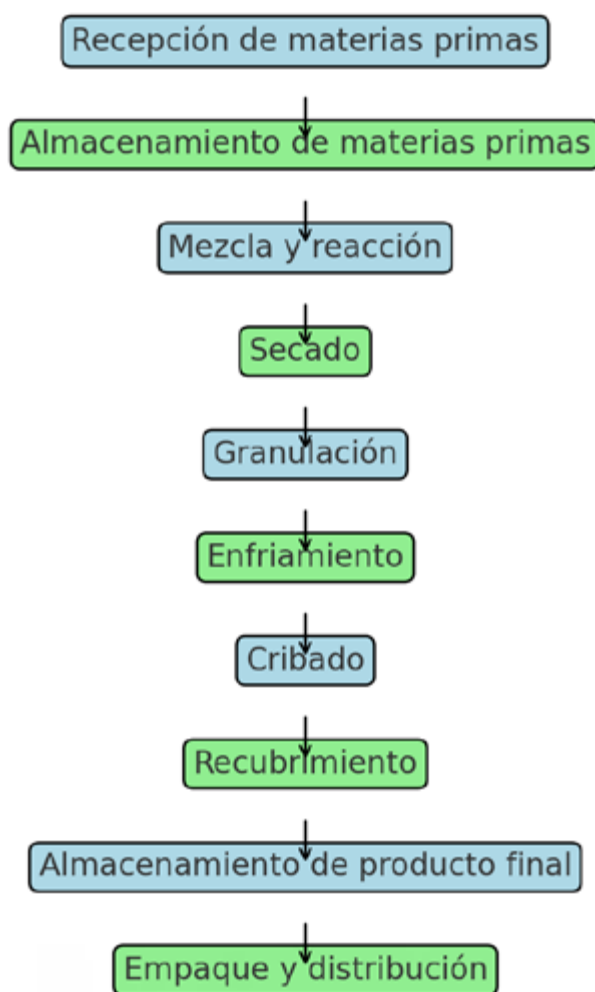
Producción: Una vez que se ha formulado un producto, comienza la producción a gran escala. Este proceso incluye la mezcla de materias primas, reacciones químicas y

separación de productos. La IA contribuye en esta fase mediante la optimización de parámetros, como temperatura y presión, asegurando una producción eficiente.

Control de calidad: Es fundamental garantizar que los productos químicos cumplan con los estándares requeridos. Las técnicas de IA, como el aprendizaje automático, son aplicadas para identificar patrones en datos de varios lotes y prever desviaciones antes de que ocurran.

Logística y distribución: La IA también mejora la logística, desde la gestión de inventario hasta la optimización de rutas de distribución, asegurando que los productos lleguen a tiempo y en buenas condiciones. (Serena Doria. 2024. Principales tipos de fertilizantes y sus procesos químicos. Wika)

Figura N° 3: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de fertilizante orgánicos en una empresa peruana.



Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Tecnologías que permiten la detección de fallos como los análisis de infrarrojo cercano (NIR)

Dentro del ámbito de la producción de químicos, las tecnologías para la detección de fallos son cruciales para garantizar la eficiencia y la calidad. Una de las técnicas más prometedoras en este sentido es la tecnología de análisis de infrarrojo cercano (NIR por sus siglas en inglés).

Análisis de infrarrojo cercano (NIR)

El análisis de infrarrojo cercano es una técnica espectroscópica que permite la identificación y cuantificación de sustancias químicas en diferentes matrices. Se basa en la absorción de luz en la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, la cual proporciona información sobre las estructuras moleculares de los compuestos analizados.

Aplicaciones en la industria química:

- Identificación de materias primas: Antes de iniciar la producción, es crucial validar la calidad de las materias primas. La espectroscopia NIR permite detectar impurezas y verificar la composición de los materiales entrantes de manera rápida y no destructiva.
- Monitoreo en tiempo real: Durante la producción, el NIR se puede utilizar para monitorear las reacciones químicas en tiempo real. Esto ofrece información instantánea que permite ajustes inmediatos en los parámetros operativos para evitar desviaciones y fallos.
- Control de calidad: Una vez finalizado el proceso, el NIR puede ser empleado para garantizar que los productos químicos cumplan con las especificaciones necesarias, reduciendo el riesgo de lotes defectuosos.
- Detección de fallos: La implementación de IA puede potenciar la capacidad del NIR para detectar patrones que indiquen problemas en la producción. Por ejemplo, al combinar análisis NIR con algoritmos de machine learning, se pueden identificar desviaciones que puedan llevar a fallos antes de que se materialicen. (Armes-to Marta. 2019. Estudio para la determinación de acrilamida mediante tecnología NIR en alimentos procesados. Universidad de Valladolid. Facultad de Ciencias, 48, <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/38448>)

3.2.4. Predicción de demanda y mercado mediante inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) desempeña un papel crucial en la predicción de la demanda y en la gestión del mercado de fertilizantes, gracias a su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes y generar proyecciones precisas. Este enfoque permite a los productores y distribuidores ajustar sus estrategias de producción y comercialización para maximizar la optimización en sus objetivos.

Análisis de datos climáticos y agrícolas

La IA recopila y analiza información climática en tiempo real, como patrones de lluvias, temperaturas y fenómenos meteorológicos extremos, para predecir cómo afectarán estas variables.

En regiones con lluvias escasas, los agricultores pueden requerir fertilizantes específicos que mejoren la calidad del cultivo.

Ajuste de la producción y distribución

Con las predicciones generadas, las empresas pueden ajustar sus volúmenes de producción para evitar la sobreproducción o la falta de suministro. Por ejemplo:

- En áreas donde se prevé una alta demanda, pueden aumentar la capacidad de producción y reforzar la distribución.
- En regiones con menor actividad agrícola, pueden reducir los volúmenes y evitar excedentes que generen costos adicionales.

Además, la IA ayuda a optimizar las rutas de distribución para garantizar que los fertilizantes lleguen a los agricultores en el momento adecuado, minimizando retrasos y costos logísticos.

Establecimiento de precios competitivos

La IA analiza factores como la demanda, los costos de producción, la competencia y las condiciones del mercado local para establecer precios dinámicos que sean atractivos para los agricultores y rentables para los productores. Por ejemplo:

- En momentos de alta demanda, puede recomendar precios que maximicen las ganancias sin perjudicar la competitividad.
- Durante temporadas bajas, puede sugerir descuentos o promociones para incentivar la compra.

Beneficios adicionales

- Reducción de riesgos: La IA permite a las empresas prepararse para fluctuaciones en la demanda causadas por eventos inesperados, como cambios climáticos extremos o crisis económicas.
- Sostenibilidad: Al ajustar la producción a la demanda real, se evita el desperdicio de recursos y se promueve una producción más sostenible.
- Mejora en la toma de decisiones: Las proyecciones basadas en datos proporcionan a los responsables de las empresas información valiosa para planificar a corto, mediano y largo plazo (IA en demandas, 2022)

3.2.5. La IA en el manejo de calidad de la producción de fertilizantes orgánicos.

La inteligencia artificial (IA) mejora significativamente la calidad en la fabricación de fertilizantes orgánicos al optimizar procesos, garantizar consistencia, reducir desperdicios y promover prácticas sostenibles. A continuación, se describen los principales beneficios:

Optimización de fórmulas

- Ajustes basados en retroalimentación: Utiliza información de campo para mejorar continuamente las formulaciones, adaptándose a nuevas condiciones o demandas específicas.

Reducción de variabilidad en el producto final

- Estabilidad en la producción: La IA minimiza las variaciones entre lotes al regular automáticamente los procesos de mezcla, fermentación y compostaje, asegurando que cada lote cumpla con los estándares establecidos.
- Uniformidad en los nutrientes: Algoritmos ajustan las proporciones de materia prima para garantizar una distribución homogénea de nutrientes en el producto final.

Automatización de procesos críticos

- Control de fermentación: La IA gestiona la fermentación de los residuos orgánicos, ajustando factores como el suministro de oxígeno y la temperatura para acelerar el proceso y mejorar la calidad del compost.
- Secado y molienda: Sistemas automatizados supervisados por IA optimizan estos pasos para conservar la máxima cantidad de nutrientes sin comprometer la integridad del fertilizante.

Predicción y prevención de problemas.

- Mantenimiento predictivo: Sensores y modelos de IA identifican posibles fallos en equipos de producción antes de que ocurran, evitando interrupciones que puedan afectar la calidad del producto.
- Control de contaminantes: La IA detecta la presencia de materiales no deseados o contaminantes, asegurando la pureza y seguridad del fertilizante orgánico.

Gestión eficiente de materias primas

- Selección de materiales óptimos: Algoritmos analizan la calidad de los residuos orgánicos disponibles y seleccionan las mejores combinaciones para maximizar la calidad del producto final.
- Minimización de residuos: Los sistemas de IA optimizan el uso de materias primas para reducir desperdicios y aprovechar al máximo cada recurso.

Cumplimiento de normativas y certificaciones

- Verificación automática: La IA compara la composición del fertilizante con estándares regulatorios, asegurando que cumpla con las normativas locales e internacionales.
- Documentación y trazabilidad: Los sistemas inteligentes generan informes detallados que facilitan las certificaciones de calidad y garantizan la confianza del consumidor.

Mejora continua del proceso

- Análisis de datos históricos: La IA revisa datos de producción pasada para identificar áreas de mejora y sugerir ajustes en los procesos.
- Simulación de escenarios: Modela diferentes condiciones de producción para encontrar configuraciones óptimas que incrementen la calidad del producto.

Beneficios clave

- Mayor confianza del consumidor: Los productos consistentes y de alta calidad generan confianza en el mercado de fertilizantes orgánicos.
- Reducción de costos: Al optimizar procesos y evitar desperdicios, se disminuyen los costos de producción sin comprometer la calidad.
- Sostenibilidad: La IA fomenta prácticas más eficientes y ecológicas, contribuyendo a una agricultura más sostenible. (Historia de Agrofertilizantes, 2021)

3.2.6. Optimización de fórmulas y composición en la producción de fertilizantes orgánicos con inteligencia artificial

La optimización de fórmulas y composición en la producción de fertilizantes orgánicos es un proceso fundamental que impacta directamente en la calidad del producto final, su eficacia en el campo y su sostenibilidad. Gracias a la inteligencia artificial (IA), se han abierto nuevas posibilidades para hacer que este proceso sea más eficiente, preciso y adaptado a las condiciones específicas de los suelos y cultivos. La IA permite una personalización más exacta de los fertilizantes, mejora la productividad y reduce tanto los costos como el impacto ambiental de la agricultura. Aquí exploramos cómo la IA puede transformar la optimización de las fórmulas y composición en la producción de fertilizantes orgánicos.

Análisis avanzado de materias primas

La producción de fertilizantes orgánicos comienza con la selección y preparación de materias primas como estiércol, compost, residuos agrícolas y otros materiales orgánicos. Cada uno de estos ingredientes tiene propiedades nutricionales y químicas únicas, que influyen directamente en la efectividad del fertilizante. La IA puede facilitar el análisis de estas materias primas de varias formas:

- **Análisis de composición química:** Mediante sensores avanzados y técnicas de aprendizaje automático, la IA puede analizar los componentes químicos de los materiales orgánicos. Esto incluye medir concentraciones de nutrientes clave como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes. Con esta información, se pueden elegir las mejores materias primas disponibles y ajustar las fórmulas para maximizar la eficiencia de los nutrientes.
- **Detección de contaminantes o impurezas:** Además de los nutrientes, es importante detectar cualquier tipo de contaminante o impureza que pueda afectar la calidad del fertilizante o incluso dañar los cultivos. Los algoritmos de IA pueden identificar patrones en los datos y detectar elementos no deseados como metales pesados, patógenos o sustancias químicas perjudiciales.
- **Evaluación de la variabilidad en los ingredientes:** Dado que las propiedades de los materiales orgánicos pueden variar de un lote a otro, la IA puede analizar esta variabilidad para asegurarse de que la mezcla final mantenga una calidad constante, adaptándose a las diferencias de los lotes de materia prima y garantizando una composición uniforme del fertilizante. (Formulación en fertilizantes, 2020)

Optimización de la mezcla de ingredientes

La IA juega un papel clave en la optimización de las mezclas de ingredientes para crear fertilizantes orgánicos de alta calidad. A través de algoritmos avanzados, como los algoritmos genéticos, redes neuronales y algoritmos de optimización de enjambre, la IA puede determinar las proporciones exactas de cada materia prima para lograr la mezcla más eficiente en términos de nutrientes, costos y tiempo de liberación.

- **Optimización multivariable:** La mezcla ideal de fertilizantes no depende solo de las cantidades exactas de cada nutriente, sino también de otros factores como la textura del suelo, las condiciones climáticas y el tipo de cultivo. Los algoritmos de IA pueden tener en cuenta múltiples variables a la vez, considerando no solo las necesidades nutricionales del suelo y las plantas, sino también otros aspectos como la eficiencia de los procesos de fabricación y los costos operativos.
- **Simulaciones de interacciones químicas:** La IA puede modelar cómo interactúan los diferentes ingredientes en el fertilizante, previendo cómo la mezcla afectará la disolución de los nutrientes en el suelo. Esto permite a los fabricantes de fertilizantes prever la liberación controlada de nutrientes, un aspecto clave de los fertilizantes orgánicos que favorecen una liberación más gradual y eficiente de los nutrientes en el tiempo.
- **Reducción de residuos:** Los modelos predictivos de la IA también pueden ayudar a evitar el desperdicio de materiales, optimizando la cantidad de cada ingrediente y reduciendo el sobrante. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también tiene un impacto positivo en los costos de producción.

Personalización de fórmulas para diferentes tipos de suelo y cultivos

Cada tipo de suelo tiene características únicas que requieren una atención especial cuando se diseñan fórmulas de fertilizantes orgánicos. De manera similar, los diferentes cultivos tienen diferentes necesidades nutricionales a lo largo de su ciclo de vida. La IA puede contribuir enormemente en la personalización de las fórmulas de fertilizantes para asegurar que se adapten a las características específicas de cada suelo y cultivo.

- **Análisis de características del suelo:** La IA puede integrar datos geoespaciales y de sensores sobre las propiedades del suelo (como pH, textura, contenido de materia orgánica, capacidad de retención de agua, entre otros) para diseñar fórmulas de fertilizantes personalizadas. Por ejemplo, en suelos ácidos, la IA podría sugerir el uso de fertilizantes ricos en calcio y magnesio, mientras que en suelos alcalinos se podría optimizar el uso de fertilizantes con nutrientes que ayuden a equilibrar el pH del suelo.
- **Recomendaciones basadas en cultivos:** Dependiendo del tipo de cultivo (frutales, hortalizas, cereales, etc.), la IA puede generar fórmulas de fertilizantes adaptadas a las necesidades nutricionales de cada uno, maximizando su absorción y reduciendo el riesgo de deficiencias o exceso de nutrientes.
- **Sistemas inteligentes de asesoría:** Los agricultores pueden utilizar plataformas basadas en IA que les proporcionen recomendaciones personalizadas sobre la mezcla más adecuada para sus campos, basándose en análisis de datos en tiempo real sobre el suelo y el cultivo. Esto facilita una gestión más precisa y eficiente de los recursos agrícolas.

Optimización de la liberación controlada de nutrientes

Una de las principales ventajas de los fertilizantes orgánicos es su capacidad para liberar los nutrientes de manera más gradual que los fertilizantes químicos, lo que permite a las plantas absorberlos durante un período más largo sin riesgo de sobrecarga. La IA puede optimizar aún más este proceso; mediante el análisis de las tasas de liberación de nutrientes y el diseño de fórmulas que ajusten esa liberación según las necesidades del cultivo.

- **Modelos predictivos de liberación:** A través de modelos predictivos basados en IA, es posible determinar la tasa ideal de liberación de nutrientes en función de factores como la demanda del cultivo, las condiciones del suelo y la tasa de descomposición de los materiales orgánicos. Esto garantiza que los nutrientes estén disponibles cuando las plantas más los necesiten, favoreciendo un crecimiento saludable y sostenible.
- **Análisis de biodegradabilidad y microbiología del suelo:** La IA también puede analizar la descomposición de los fertilizantes orgánicos en el suelo, previendo la velocidad a la que los microorganismos transforman los materiales orgánicos en nutrientes disponibles para las plantas. Esto permite optimizar la composición del fertilizante para asegurar que la liberación de nutrientes se ajuste a los ciclos biológicos del suelo y del cultivo. (*Interpretación de análisis de suelos, 1994*)

Minimización del impacto ambiental

En la producción de fertilizantes orgánicos, uno de los mayores desafíos es reducir el impacto ambiental asociado con el exceso de nutrientes y la sobre-aplicación de productos. La IA puede contribuir significativamente en este aspecto, no solo optimizando la formulación del fertilizante, sino también ayudando a garantizar que su aplicación sea precisa y eficiente.

- Reducción de emisiones y residuos: Gracias al análisis avanzado de datos, la IA puede identificar las mejores formas de procesar los materiales orgánicos, minimizando las emisiones de gases de efecto invernadero y reduciendo los residuos generados durante la producción del fertilizante.
- Optimización de la dosificación y distribución: En combinación con sistemas de agricultura de precisión, la IA puede ayudar a aplicar la cantidad exacta de fertilizante en cada área del campo, reduciendo el riesgo de escorrentías y contaminación de cuerpos de agua cercanos. Esto asegura una utilización más eficiente de los recursos y una menor huella ambiental.

Desarrollo y pruebas rápidas de nuevas fórmulas

La IA puede acelerar la investigación y desarrollo (I+D) de nuevas fórmulas de fertilizantes orgánicos. Usando grandes volúmenes de datos y simulaciones, los sistemas de IA pueden ayudar a diseñar nuevas mezclas de fertilizantes sin necesidad de realizar pruebas físicas costosas y que consumen tiempo. Esto acelera la innovación y permite crear fertilizantes más eficaces y sostenibles.

- Simulaciones y análisis computacional: La IA puede realizar simulaciones para predecir el comportamiento de nuevas fórmulas sin tener que crear cada variante física. Esto reduce el tiempo de desarrollo y permite probar muchas combinaciones de ingredientes sin riesgos.
- Identificación de nuevas fuentes de nutrientes: Además, la IA puede analizar datos sobre nuevos materiales orgánicos, subproductos agrícolas o biológicos (como algas, hongos, microorganismos) que puedan mejorar la eficacia de los fertilizantes orgánicos, contribuyendo a la innovación sostenible en la industria.

4. Aportes y discusiones

En el apartado de aportes y discusiones se enfatiza la relevancia de la IA en el mejoramiento de procesos productivos, específicamente en la detección temprana de fallos. Se resalta cómo la implementación de tecnologías avanzadas, como el aprendizaje automático y los sistemas de visión artificial, pueden optimizar la eficiencia operativa y mejorar la calidad del producto final. También se destacan herramientas como la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR), que permite detectar defectos en tiempo real y prevenir pérdidas asociadas a reprocesos.

Los puntos críticos en el proceso de fabricación incluyen la etapa de mezclado, donde la precisión en las mediciones y la supervisión son clave para garantizar la calidad del producto. El uso de IA ayuda a superar estas limitaciones, permitiendo una supervisión más efectiva y la identificación de irregularidades antes de que afecten significativamente al producto final.

Los principales aportes que se señalan son los siguientes:

Detección temprana de fallas:

La implementación de IA en combinación con tecnologías como el aprendizaje automático y la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) permite identificar defectos en las etapas iniciales del proceso productivo, reduciendo pérdidas económicas y reprocesos.

Optimización de procesos:

Se destaca el uso de sistemas basados en IA para mejorar la mezcla, fermentación y control de calidad, asegurando una producción más uniforme y eficiente.

Impacto en la sostenibilidad:

La IA fomenta prácticas que reducen desperdicios y minimizan el impacto ambiental, fortaleciendo los estándares de sostenibilidad de las empresas agroquímicas.

Capacitación del personal:

El documento resalta la importancia de programas de formación continua para operadores y supervisores, con el fin de maximizar los beneficios del uso de herramientas de IA.

Predicción y adaptación a la demanda:

La IA analiza datos climáticos y de mercado para ajustar la producción, evitando la sobreproducción y garantizando un suministro adecuado.

Discusión:

El texto enfatiza cómo la integración de IA no solo optimiza los procesos operativos, sino que también posiciona a las empresas como líderes en innovación y sostenibilidad. Este enfoque permite cumplir con estándares regulatorios y ambientales, fortaleciendo la competitividad en el mercado agroquímico.

5. Conclusiones y recomendaciones**5.1. Conclusión**

- La inteligencia artificial (IA) se posiciona como una solución fundamental para enfrentar los retos de la producción de productos agroquímicos orgánicos en el Perú. Su implementación permite detectar fallas en etapas tempranas del proceso productivo, reduciendo pérdidas económicas y desperdicios, lo que optimiza la eficiencia operativa de las empresas peruanas y que estas sean más competitivas en el mercado.
- Los puntos críticos en el proceso de fabricación de los agroquímicos se encuentran en la etapa de mezclado debido a la complejidad en las mediciones de las cantidades exactas que se requieren para que el producto final sea de calidad y cumpla con los requisitos, asimismo la supervisión visual del personal no es eficiente al 100% lo que lleva a detecciones tardías de fallas en el producto final.
- La integración de tecnologías avanzadas, como el aprendizaje automático y los sistemas de visión artificial, mejoran la productividad y eficiencia operativa. Además, permite a las empresas cumplir con estándares de sostenibilidad y responsabilidad social, reforzando su compromiso ambiental. Las aplicaciones del análisis de infrarrojo cercano pueden detectar fallas con anticipación y no generar pérdidas por reprocesos.

5.2. Recomendaciones

- Medir los beneficios económicos, como la reducción de costos y mejora de calidad, y los impactos sociales, como generación de empleo especializado. Comunicar estos resultados para posicionar a la empresa como líder en innovación y sostenibilidad dentro del sector.
- Establecer programas de formación continua para operadores y supervisores, enfocados en el uso y gestión de herramientas de IA. Estos programas deben incluir sesiones prácticas y teóricas, así como talleres específicos para resolver problemas mediante tecnologías avanzadas.
- Desarrollar un sistema de IA adaptado a las necesidades de la empresa agroquímica, incorporando tecnologías como aprendizaje automático y redes neuronales. Este sistema debe permitir la detección y predicción de fallas en tiempo real, mejorando la calidad del producto y optimizando los tiempos de producción. Adoptar cámaras de alta precisión, sistemas de visión artificial y sensores especializados, como espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR), para monitorear en tiempo real la

calidad de los productos. Estas herramientas permiten detectar defectos visuales o irregularidades químicas antes de que afecten al producto final. Implementar un sistema de monitoreo continuo con indicadores clave de rendimiento (KPIs), como reducción de fallas y optimización de costos. Realizar auditorías internas y externas periódicas para garantizar que los sistemas de IA se alineen con los objetivos empresariales.

6. Agradecimiento

Deseo expresar mi agradecimiento a las personas e institución que contribuyeron al desarrollo de esta investigación. Al Ing. Jorge Luis Roca Becerra, , por su guía experta, paciencia y aportes invaluable a lo largo de este trabajo. Su experiencia y dedicación fueron esenciales para alcanzar los objetivos planteados.

Agradezco también a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el apoyo técnico, informático y logístico que permitió llevar a cabo este estudio. Asimismo, extendiendo mi gratitud al equipo de trabajo por su colaboración y valiosas discusiones, que enriquecieron significativamente el enfoque y los resultados de esta investigación.

7. Literatura citada

- AGHMASHHADI, A. H., CIRELLA, G. T., ZAHEDI, S., KAZEMI (2019) " WATER RESOURCE POLICY SUPPORT SYSTEM OF THE CASPIAN BASIN. AIMS ENVIRONMENTAL SCIENCE"
- ALEGRÍA CAMPO, D., ZUÑIGA ESCOBAR, O., & HUERTA BARRIENTOS, A. (2023). EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL GRANO DE CACAO SEGÚN LA TEORÍA DE LA PRÁCTICA (TP) E INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA. SCOPUS. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85156146106&origin=resultslist&sort=PLF-F&SRC=s&SID=27CB0507278327E25D9D996689D48516&SOT=B&SDT=B&S=TITLE%28EVALUACI%C3%B3N+AND++PRODUCTIVIDAD+AND+CALIDAD+AND++GRANO+AND+CACAO%29&SL=154&SESSIONSEARCHID=27>
- ALIANZA. (2019, AUGUST 12). LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL AYUDA A LOS PRODUCTORES DE BANANO A PROTEGER LA FRUTA FAVORITA DEL PLANETA | ALLIANCE BIOVERSITY INTERNATIONAL - CIAT. <https://alliancebioversityciat.org/es/node/18015>
- ARDEN N.S., FISHER A.C., TYNER K., YU L.X., LEE S.L., KOPCHA M.(2021), "INDUSTRY 4.0 FOR PHARMACEUTICAL MANUFACTURING: PREPARING FOR THE SMART FACTORIES OF THE FUTURE" ,,"INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACEUTICS", UNITED STATES SYSTEMS IN AGRICULTURE USING AI: AN INTEGRATED APPROACH. E-CUCBA, (21), 150–155.
- BARRETO MENDOZA, D. A., CEDEÑO MENDOZA, R. D., CHAVARRIA MENDOZA, E. J., CAICEDO MERO, S. G., & VILLA PALMA, C. M. (2024). APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA PRODUCCIÓN DE SEMBRÍO DE CICLO CORTO EN EL SECTOR AGRO PRODUCTIVO.

- CALLE, J., PINCAY, M., MENDOZA, B., BRAVO, G. (2024) "USO ESTRATÉGICO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO EMPRESARIAL, PERÚ
- CASTELLANOS SERRANO, L. T., GÓMEZ AGUILA, M. V., CASTELLANOS SUÁREZ, J. A., & PÉREZ VIVAR, M. A. (2024). OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE SOPORTE DE DECISIONES EN AGRICULTURA MEDIANTE IA: UN ENFOQUE INTEGRADO: OPTIMIZATION OF DECISION SUPPORT NTAMO, D. , LÓPEZ-MONTERO, E. , MACK, J. , MOGHADAM, PZ , ZANDI, M." INDUSTRIA 4.0 EN ACCIÓN: DIGITALIZACIÓN DE UN PROCESO CONTINUO DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FORMULADOS", 2022, REINO UNIDO
- CHEN, Y. , SAMPAT, C. , HUANG, Y.-S. , REKLAITIS, GV , IERAPETRITOU, M. (2023) "UN MARCO INTEGRADO DE GESTIÓN DE DATOS E INFORMÁTICA PARA PROCESOS DE FABRICACIÓN CONTINUA DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS: UN ESTUDIO DE CASO EN DOS PLANTAS PILOTO" , UNITED STATES
- DING B.(2018), "PHARMA INDUSTRY 4.0: LITERATURE REVIEW AND RESEARCH OPPORTUNITIES IN SUSTAINABLE PHARMACEUTICAL SUPPLY CHAINS", "PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION", "119", "115", "130", "228", "10.1016/J.PSEP.2018.06.031", "2-s2.0-85051146494
- EL KHAOUDI, M., EL BAKKALI, M., MESSNAOUI, R., CHERKAOU, O., & SOULHI, A. (2024). REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LOS PROCESOS DE TINTURA Y ACABADO. SCOPUS, 3. [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85197440746&origin=RESULTS&sort=PLF-F&src=s&sid=27CB0507278327E25D9D996689D48516&sot=-B&SDT=B&s=TITLE%28REVISI%C3%B3N+BIBLIOGR%C3%A1FICA+SOBRE+LA+INTELIGENCIA+ARTIFICIAL+EN+LOS+PROCESOS+DE+TINTURA%29&file:///C:/Users/HP/Downloads/DIALNET-ESTUDIODELUSODETÉCNICASDEINTELIGENCIAARTIFICIALAPL-7941075%20\(1\).PDF](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85197440746&origin=RESULTS&sort=PLF-F&src=s&sid=27CB0507278327E25D9D996689D48516&sot=-B&SDT=B&s=TITLE%28REVISI%C3%B3N+BIBLIOGR%C3%A1FICA+SOBRE+LA+INTELIGENCIA+ARTIFICIAL+EN+LOS+PROCESOS+DE+TINTURA%29&file:///C:/Users/HP/Downloads/DIALNET-ESTUDIODELUSODETÉCNICASDEINTELIGENCIAARTIFICIALAPL-7941075%20(1).PDF)
- FENG, Y., LIU, Y., HAN, Z. (2011). LAND USE SIMULATION AND LANDSCAPE ASSESSMENT BY USING GENETIC ALGORITHM BASED ON CELLULAR AUTOMATA UNDER DIFFERENT SAMPLING SCHEMES. CHINESE JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY
- HOYOS, J., VELÁSQUEZ, B., RICO, D., GARCIA, N (2023) "IMPACTO TRANSFORMADOR DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y APRENDIZAJE AUTÓNOMO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA: UN ENFOQUE EN LA SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA." , COLOMBIA
- LIZCANO CAÑAS, J. J., & SANTOS JAIMES, L. M. (2020). AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO Y ABONO ORGÁNICO EN LA GRANJA CUNÍCULA AUTOSUSTENTABLE EN EL MUNICIPIO DE MUTISCUA-COLOMBIA. SCOPUS, 2020. [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85078754115&origin=RESULTS&sort=PLF-F&src=s&sid=27CB0507278327E25D9D996689D48516&sot=B&SDT=B&s=TITLE%28AUTOMATIZACI%C3%B3N+AND+DE+AND+LA+AND+PRODUCCI%C3%B3N+AND+DE+AND+FORRAJE+AND+VERDE+AND+HIDROP%C3%B3nico%29&file:///C:/Users/HP/Downloads/DIALNET-ESTUDIODELUSODETÉCNICASDEINTELIGENCIAARTIFICIALAPL-7941075%20\(1\).PDF](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85078754115&origin=RESULTS&sort=PLF-F&src=s&sid=27CB0507278327E25D9D996689D48516&sot=B&SDT=B&s=TITLE%28AUTOMATIZACI%C3%B3N+AND+DE+AND+LA+AND+PRODUCCI%C3%B3N+AND+DE+AND+FORRAJE+AND+VERDE+AND+HIDROP%C3%B3nico%29&file:///C:/Users/HP/Downloads/DIALNET-ESTUDIODELUSODETÉCNICASDEINTELIGENCIAARTIFICIALAPL-7941075%20(1).PDF)
- RAMÍREZ, J., SARMIENTO, H., & LOPEZ LEZAMA, J. (2018). DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL. SCOPUS, 39.

- TELES, A. C., FREITAS, A. C., & CRUZ RODRÍGUEZ, A. (2019). COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FALLAS EN PROCESOS QUÍMICOS UTILIZANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL. SCOPUS, 16. [HTTPS://WWW.SCOPIUS.COM/RECORD/DISPLAY.URI?EID=2-S2.0-85071562531&ORIGIN=RESULTSLIST&SORT=PLF-F&SRC=S&SID=27CB0507278327E25D9D996689D48516&SOT=B&SDT=-B&S=TITLE%28PROCESOS+OR+QU%28MICOS+AND+UTILIZANDO+AND+INTELIGENCIA+AND+ARTIFICIAL%29&SL=154&SESSIONSEARCH](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85071562531&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=27cb0507278327e25d9d996689d48516&sot=b&sdt=-b&s=TITLE%28PROCESOS+OR+QU%28MICOS+AND+UTILIZANDO+AND+INTELIGENCIA+AND+ARTIFICIAL%29&sl=154&sessionSearch)
- PULLIDO, W., CASTAÑEDA, C. (2023) "LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SU APOORTE EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA", COLOMBIA
- RAMÍREZ, J., SARMIENTO, H., LÓPEZ, J.(2019) "DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL" , COLOMBIA
- NIÑO, A., GÓMEZ, W. (2022)"LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA REDUCCIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES" , COLOMBIA.
- JAIME DELGADO-ZEGARRA, ALDO ALVAREZ-RISCO Y JAIME A. YÁÑEZ (S/F). "USO INDISCRIMINADO DE PESTICIDAS Y AUSENCIA DE CONTROL SANITARIO PARA EL MERCADO INTERNO EN PERÚ"
- PELEGRI, J. (2022, MAY 16). "ROBOTS PARA AGRICULTURA: HACIA UN MAYOR APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS"
- TAJAMMAL MUNIR, M., YU, W., YOUNG, B. R., & WILSON, D. I. (2015). "THE CURRENT STATUS OF PROCESS ANALYTICAL TECHNOLOGIES IN THE DAIRY INDUSTRY. TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY"
- PEÑALVER-HIGUERA, M. J., & ISEA-ARGÜELLES, J. J. (2024). TRANSFORMACIÓN HACIA FÁBRICAS INTELIGENTES: EL PAPEL DE LA IA EN LA INDUSTRIA 4.0. INGENIUM ET POTENTIA, 6(10), 38–53.
- RUÍZ GUAJALA, M. (2022). ANÁLISIS ESPACIAL DE LA EFICIENCIA DE LAS EMPRESAS MANUFACTURERAS DEL ECUADOR. [SPATIAL ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF MANUFACTURING FIRMS IN ECUADOR]. REVISTA SAN GREGORIO, 1(52), 51-73.
- PÉREZ LEÓN, E. V., & ROJAS AREVALO, D. I. (2019). IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LAS EMPRESAS CON UN ENFOQUE GLOBAL. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS (UPC), LIMA, PERÚ
- MORENO CAÑAS, G. R. . (2020). INTELIGENCIA ARTIFICIAL: HERRAMIENTA AL SERVICIO DE LA AGROINDUSTRIA EN COLOMBIA. UNIVERSITAS CIENTÍFICA, 38–41.
- ORTIZ, A., & VENIALGO, M. (2017). EL USO DE FERTILIZANTES QUÍMICOS Y EL CRECIMIENTO DE LA AGRICULTURA PARAGUAYA. CONTABILIDAD, MARKETING Y EMPRESA, 3(1). RECUPERADO A PARTIR DE [HTTPS://WWW.UNAE.EDU.PY/OJS/INDEX.PHP/FACEM/ARTICLE/VIEW/81](https://www.unae.edu.py/ojs/index.php/facem/article/view/81)

ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. <https://www.durespo.com/importancia-de-la-nutricion-animal/>
2. <https://es.pinterest.com/irelenart/>
3. <https://apttperu.com/costos-en-la-industria-textil/>https://stock.adobe.com/pe/images/warehouse-metal-blank-electroplating-plant-for-the-metal/194755542?prev_url=detail
4. <https://www.instagram.com/smartmarketingby/?hl=en&epik=djoy-JnU9NFgzWG1Qc3UwYnZRR3dRRXRyZHJCS1ZMaXpGMXNUdGEmcD-owJm49eDRDM244Voo2OXVsYVVpV2ZPOXhGdyZoPUFBQUFBR2xT-cU13>
5. <https://es.pinterest.com/priyankaminnu/>
6. Vega (2025)

Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>
Volumen I- N° 3 Diciembre 2025

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

Página Web:
<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>