

Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería



Volumen I-N°2 Agosto 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

Análisis de la aplicación de inteligencia artificial para mejorar el control de calidad del arándano

Sr. Bruce Isaías Mejía Cruz

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo Electrónico: bruce.mejia@unmsm.edu.pe

Sr. Jonathan Alfredo Paredes Laura

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo Electrónico: jonathan.paredes@unmsm.edu.pe

Resumen: Este estudio realiza una revisión sistemática de la literatura sobre el impacto de la inteligencia artificial en los procesos de inspección y selección para optimizar el control de calidad de arándanos. Se aplicó la metodología PRISMA con una estrategia de búsqueda basada en PICOC, identificando 20 estudios relevantes. Los resultados destacan el uso de herramientas avanzadas como redes neuronales, imágenes hiperespectrales y visión por computadora para mejorar la detección de defectos y la precisión en la selección. A pesar de los avances, persisten desafíos como la complejidad técnica, los costos y la necesidad de capacitación. Se propone integrar la IA con tecnologías IoT para optimizar la producción, asegurar la calidad y reducir pérdidas postcosecha, mejorando la competitividad y sostenibilidad del sector agroindustrial.

Palabras Claves: Arándano/ Detección/ Selección/ Inteligencia artificial.

Abstract: This study conducts a systematic literature review on the impact of artificial intelligence on inspection and selection processes to optimize blueberry quality control. The PRISMA methodology was applied with a search strategy based on PICOC, identifying 20 relevant studies. The results highlight the use of advanced tools such as neural networks, hyperspectral imaging, and computer vision to improve defect detection and selection accuracy. Despite the progress, challenges such as technical complexity, costs, and the need for training persist. The integration of AI with IoT technologies is proposed to optimize production, ensure quality, and reduce post-harvest losses, thereby improving the competitiveness and sustainability of the agro-industrial sector.

Keywords: Blueberry/ Detection/ Selection/ Artificial intelligence.

Résumé : Cette étude effectue une revue systématique de la littérature sur l'impact de l'intelligence artificielle dans les processus d'inspection et de sélection pour optimiser le contrôle de qualité des myrtilles. La méthodologie PRISMA a été appliquée avec une stratégie de recherche basée sur PICOC, identifiant 20 études pertinentes. Les résultats mettent en évidence l'utilisation d'outils avancés tels que les réseaux neuronaux, l'imagerie hyperspectrale et la vision par ordinateur pour améliorer la détection des défauts et la précision de la sélection. Malgré les progrès réalisés, des défis subsistent,

notamment la complexité technique, les coûts et le besoin de formation. L'intégration de l'IA avec les technologies IoT est proposée pour optimiser la production, garantir la qualité et réduire les pertes post-récolte, améliorant ainsi la compétitivité et la durabilité du secteur agro-industriel.

Mots-clés : Myrtille/ Détection/ Sélection/ Intelligence artificielle.

1. Introducción

El arándano ha ganado una relevancia significativa en el comercio agrícola internacional en los últimos años. Este fruto, originario de América del Norte, se cultiva ahora en diversas regiones del mundo, incluyendo Europa, Sudamérica y Oceanía. Los principales productores y exportadores de arándanos son Estados Unidos, Perú, Chile y México, aprovechando sus ventajas climáticas y capacidad de producción a gran escala. La demanda global de arándanos ha crecido debido a sus beneficios para la salud, como su alto contenido en antioxidantes, vitaminas y bajo contenido calórico, lo que lo convierte en un superalimento muy apreciado (Ninaquispe et al., 2024).

El sector agroexportador peruano, particularmente en productos como el arándano, enfrenta grandes desafíos en el control de calidad debido a la dependencia de métodos tradicionales de inspección visual. Estos métodos presentan limitaciones significativas en la consistencia y precisión de la evaluación, lo que impacta la capacidad de los productos peruanos para cumplir con los estrictos estándares de calidad requeridos en mercados internacionales (Ninaquispe et al., 2024). Además, la variabilidad en la calidad de los arándanos, influenciada por diversos factores, presenta desafíos significativos para mantener la consistencia en el control de calidad. Esta falta de uniformidad afecta la competitividad en mercados internacionales, y subraya la necesidad de estrategias sostenibles (Liu et al., 2021). La inteligencia artificial ha emergido como una herramienta clave para abordar los desafíos en el control de calidad de frutas y vegetales. Mediante el uso de algoritmos de deep learning y tecnologías de visión por computadora, la inteligencia artificial permite una detección precisa de defectos en productos durante su procesamiento (Liu et al., 2021). Por otro lado, la inteligencia artificial tiene un gran potencial para proporcionar beneficios económicos mediante la reducción de costos operativos, así como mejoras ambientales al disminuir el uso de insumos y minimizar el desperdicio, lo que contribuye a la sostenibilidad del sector (Zhang et al., 2024).

A pesar de los avances en la tecnología aplicada al control de calidad, la industria del arándano aún enfrenta importantes desafíos relacionados con la variabilidad en la calidad del producto y la eficiencia en los procesos de selección. Si bien existen numerosos estudios que exploran la implementación de la inteligencia artificial en distintos sectores agrícolas, aún no se ha realizado una revisión exhaustiva que sintetice los resultados y desafíos para esta industria (Papadopoulos et al., 2024). Esto destaca la necesidad de una revisión sistemática de la literatura que analice el impacto de la Inteligencia artificial en la mejora del control de calidad del arándano, proporcionando una visión crítica y una base sólida para la toma de decisiones informadas por parte de

productores y empresarios que deseen impulsar la adopción de la inteligencia artificial en este sector que constantemente busca innovar.

Problemática

La revisión actual se fundamenta en una revisión sistemática de la literatura (RSL) que estructura y expande la perspectiva sobre las herramientas de inteligencia artificial existentes en la literatura. Con el fin de orientar esta investigación, se formuló la siguiente pregunta general: ¿Qué impacto tiene la aplicación de inteligencia artificial en los procesos de inspección y selección para mejorar el control de calidad de los arándanos? Adicionalmente, se establecieron varias preguntas específicas para realizar un análisis más profundo:

RQ1: ¿Qué es la inteligencia artificial y cuál es su importancia en el ámbito del control de calidad?

RQ2: ¿Cuáles son las herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el control de calidad de los arándanos en los procesos de inspección y selección?

RQ3: ¿Por qué es importante los procesos de inspección y selección dentro del control de calidad de los arándanos?

RQ4: ¿Cuáles son los desafíos al integrar sistemas de inteligencia artificial en los procesos de control de calidad de arándanos?

Objetivo

El presente estudio tiene como objetivo analizar el impacto de la implementación de inteligencia artificial (IA) en los procesos de inspección y selección, con el propósito de mejorar el control de calidad de arándanos. Para lograr esto, se definirán los conceptos clave de la inteligencia artificial y su relevancia en el control de calidad. A través de la identificación de las herramientas de IA utilizadas en este ámbito, se busca analizar las más efectivas para asegurar la calidad de los arándanos en los procesos de inspección y selección. Adicionalmente, este estudio pretende resaltar la importancia crítica de estos procesos en la cadena de suministro, así como explorar los desafíos que plantea la integración de inteligencia artificial en los sistemas de control de calidad. Finalmente, se propondrá un aporte basado en los hallazgos obtenidos, que guiará futuras investigaciones y aplicaciones prácticas de la inteligencia artificial en la industria del arándano, impulsando su incorporación para optimizar el control de calidad.

2. Material y métodos

Estrategia de búsqueda

El presente análisis se realizó siguiendo el protocolo PRISMA, lo que asegura una presentación detallada y estructurada de los procedimientos y resultados obtenidos, de acuerdo con lineamientos establecidos. En este contexto, se implementó una estrategia de búsqueda empleando el acrónimo PICOC (Problema, Intervención, Comparador, Resultados, Contexto). Esto permitió identificar y definir las palabras claves que conforman la ecuación booleana utilizada en la búsqueda, las cuales se detallan en la Tabla 1, en relación con la aplicación de inteligencia artificial para optimizar el control de calidad del arándano.

Tabla N°1: Análisis de elementos PICOC y palabras claves

Componentes		Keywords
P	Arándanos	"Blueberry Production" OR "Quality Blueberries"
I	Inteligencia artificial	"Convolutional neural networks" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning" OR "Chemometrics" OR "Mathematical Models"
C	Métodos tradicionales de inspección	"Manual Monitoring" OR "Visual control"
O	Mejora del control de calidad	"Loss Reduction" OR "Machine Vision System" OR "Infrared Spectroscopy" OR "Active Monitoring with Drones"
C	Sector agroindustrial	"Food industry" OR "Food processing" OR "Technological innovation"

Fuente: Elaboración propia

Las palabras claves identificadas, junto con los operadores booleanos, fueron empleadas para estructurar la ecuación de búsqueda de este análisis. La estrategia se desarrolló utilizando las siguientes combinaciones: (TITLE-ABS-KEY ("Blueberry Production" OR "Quality Blueberries") AND TITLE-ABS-KEY ("Convolutional neural networks" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning" OR "Chemometrics" OR "Mathematical Models") AND TITLE-ABS-KEY ("Manual Monitoring" OR "Visual control") AND TITLE-ABS-KEY ("Loss Reduction" OR "Machine Vision System" OR "Infrared Spectroscopy" OR "Active Monitoring with Drones") AND TITLE-ABS-KEY ("Food industry" OR "Food processing" OR "Technological innovation")). Esta ecuación de búsqueda fue aplicada en la base de datos SCOPUS. Se aplicaron filtros de tiempo (2018-2024) limitando los resultados a publicaciones recientes y a "artículos" enfocados en la aplicación de inte-

ligencia artificial en el control de calidad de los arándanos obteniendo un total de 50 registros iniciales.

Criterios de elegibilidad

Para llevar a cabo el protocolo PRISMA, se definieron criterios de elegibilidad, tanto de inclusión como de exclusión, con el objetivo de asegurar que los resultados obtenidos en la ecuación de búsqueda estén alineados con el tema de investigación de esta revisión sistemática.

Criterios de inclusión

CI.1: Artículos publicados en los últimos 6 años (2018-2024) para garantizar que la información sea reciente y relevante.

CI.2: Solo artículos en inglés y español, facilitando la comprensión y análisis de la información.

CI.3: Estudios que se centren en la aplicación de la inteligencia artificial en el control de calidad, especialmente en los procesos de inspección y selección de arándanos.

CI.4: Artículos que discutan herramientas de inteligencia artificial aplicadas en el sector agroindustrial, con especial énfasis en frutas o productos perecederos.

CI.5: Estudios que comparen métodos tradicionales de inspección con enfoques basados en inteligencia artificial para el control de calidad.

CI.6: Artículos de investigación primaria, revisiones sistemáticas, o meta-análisis que aporten datos y evidencias sobre la mejora en el control de calidad de arándanos mediante IA.

Criterios de exclusión

CE.1: Artículos publicados antes de 2018.

CE.2: Artículos en otros idiomas que no sean inglés o español.

CE.3: Estudios que no traten la aplicación de inteligencia artificial o se centren solo en tecnologías tradicionales sin comparación con IA

CE.4: Artículos que aborden la inteligencia artificial de manera general sin una conexión clara con el control de calidad en el sector agroindustrial o en productos específicos como los arándanos.

CE.5: Fuentes que no hayan sido revisadas por pares, como reportes internos, artículos de opinión o blogs, para asegurar la fiabilidad de la información.

CE.6: Aquellos que no mencionen tecnologías o enfoques actuales, o que no reflejen avances recientes en el campo.

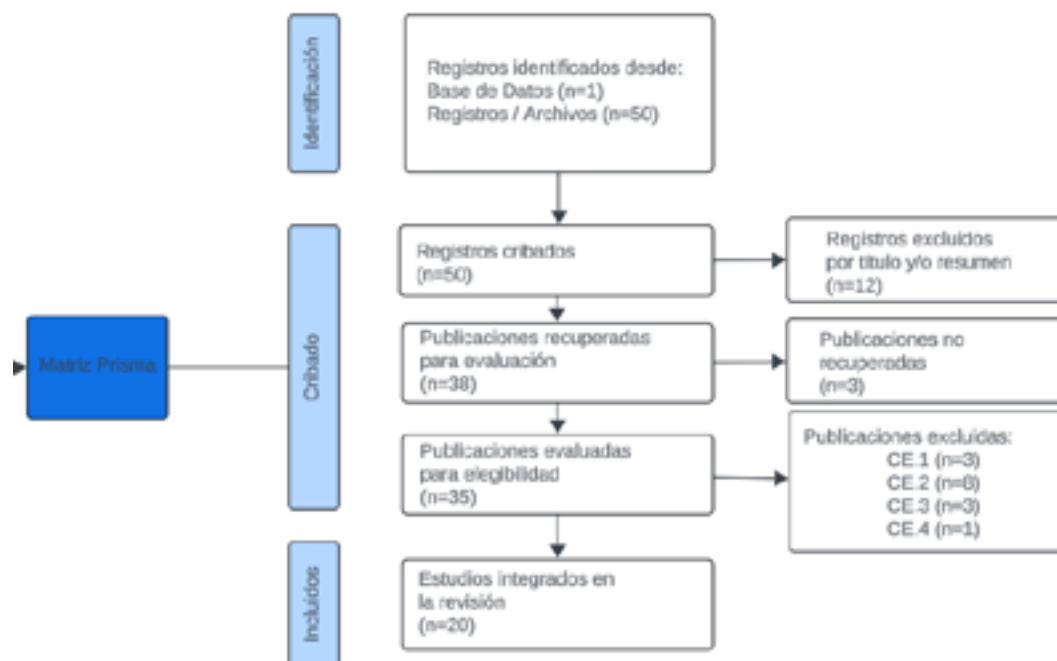
Tabla N°2: Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos publicados en los últimos 6 años (2018-2024) para garantizar que la información sea reciente y relevante.	Artículos publicados antes de 2018.
Solo artículos en inglés y español, facilitando la comprensión y análisis de la información.	Artículos en otros idiomas que no sean inglés o español.
Estudios que se centren en la aplicación de la inteligencia artificial en el control de calidad, especialmente en los procesos de inspección y selección de arándanos.	Estudios que no traten la aplicación de inteligencia artificial o se centren solo en tecnologías tradicionales sin comparación con IA
Artículos que discutan herramientas de inteligencia artificial aplicadas en el sector agroindustrial, con especial énfasis en frutas o productos perecederos.	Artículos que aborden la inteligencia artificial de manera general sin una conexión clara con el control de calidad en el sector agroindustrial o en productos específicos como los arándanos.
Estudios que comparen métodos tradicionales de inspección con enfoques basados en inteligencia artificial para el control de calidad.	Fuentes que no hayan sido revisadas por pares, como reportes internos, artículos de opinión o blogs, para asegurar la fiabilidad de la información.
Artículos de investigación primaria, revisiones sistemáticas, o meta-análisis que aporten datos y evidencias sobre la mejora en el control de calidad de arándanos mediante IA.	Aquellos que no mencionen tecnologías o enfoques actuales, o que no reflejen avances recientes en el campo.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de filtración y selección

El proceso de selección se realizó en varias etapas (Figura 1). En primer lugar, en la fase de identificación, no se detectaron duplicados, por lo que los 50 registros iniciales avanzaron a la fase de cribado. Luego, se revisaron los títulos y resúmenes para verificar su adecuación a los criterios de inclusión, lo que resultó en la exclusión de 12 registros y dejó 38 para su recuperación. Tras evaluar la accesibilidad y disponibilidad en línea de estos estudios, se descartaron 3 debido a restricciones de acceso, reteniendo 35 estudios preseleccionados. Finalmente, al aplicar los criterios de exclusión a los estudios restantes, se eliminaron 15, quedando 20 estudios seleccionados para la revisión sistemática (Tabla 2).

Figura N°1: Flujograma PRISMA de la filtración y selección de datos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3: Tabla de aportes

REFERENCIA	TÍTULO	COMENTARIO
(Haydar et al., 2023)	Deep learning supported machine vision system to precisely automate the wild blueberry harvester header	Se desarrolló un sistema de control automatizado basado en visión por computadora y deep learning para ajustar la altura de la cosechadora de arándanos, reduciendo la fatiga del operador.
(Zhang et al., 2020)	Fully convolutional networks for blueberry bruising and calyx segmentation using hyperspectral transmittance imaging	Se utilizó un sistema de imágenes hiperespectrales y redes neuronales para detectar magulladuras internas en arándanos con 81.2% de precisión, mejorando el control de calidad.
(Wieme et al., 2022)	Application of hyperspectral imaging systems and artificial intelligence for quality assessment of fruit, vegetables and mushrooms: A review	La imagen hiperespectral se está consolidando como una herramienta eficaz para evaluar la calidad de frutas, enfrentando desafíos de integración con inteligencia artificial.
(Ghazal et al., 2024)	Computer vision in smart agriculture and precision farming: Techniques and applications	La integración de visión por computadora e inteligencia artificial en la agricultura de precisión promete mejorar la productividad, explorando técnicas de imagen en la última fase del ciclo agrícola digital.
(Ktenioudaki et al., 2021)	Blueberry supply chain: Critical steps impacting fruit quality and application of a boosted regression tree model to predict weight loss	El estudio analizó cómo las condiciones de la cadena de suministro afectan la calidad y vida útil de los arándanos, destacando la importancia del control de temperatura en etapas críticas.
(Park et al., 2023)	Improving blueberry firmness classification with spectral and textural features of microstructures using hyperspectral microscope imaging and deep learning	Este estudio utilizó imágenes hiperespectrales y deep learning para analizar cambios microestructurales en arándanos, logrando clasificar la firmeza con un 95% de precisión, mejorando técnicas no destructivas.

(Ferrão et al., 2023)	Machine learning applications to improve flavor and nutritional content of horticultural crops through breeding and genetics	Este artículo analiza cómo la inteligencia artificial puede mejorar el control de calidad durante la cosecha, ayudando a desarrollar cultivos más sabrosos y nutritivos.
(Tan et al., 2018)	Recognising blueberry fruit of different maturity using histogram-oriented gradients and colour features in outdoor scenes	Este estudio desarrolló un algoritmo para reconocer la madurez de arándanos utilizando imágenes a color, logrando una precisión de hasta 96%, mejorando el control de calidad en la cosecha.
(Wang et al., 2024)	Fruits and vegetables preservation based on AI technology: Research progress and application prospects	El estudio destaca cómo la inteligencia artificial optimiza la preservación de frutas en la cadena de suministro, mejorando el control de calidad, predicción de vida útil y monitoreo ambiental.
(Deng et al., 2024)	Fusing spectral and spatial features of hyperspectral reflectance imagery to differentiate between normal and defective blueberries	Este estudio investiga la detección de defectos en arándanos mediante imágenes hiperespectrales y machine learning, con el objetivo de asegurar productos de alta calidad para el mercado fresco.
(Huang et al., 2024)	"Improvement of a flexible multimode pressure-strain sensor (FMPSS) for blueberry firmness tactile sensing and tamper-evident packaging	Este estudio presenta un sensor flexible multimodal (FMPSS) diseñado para evaluar la firmeza de los arándanos y detectar alteraciones en el empaque
(Shicheng et al., 2021)	Nondestructive detection of decayed blueberry based on information fusion of hyperspectral imaging (HSI) and low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR)	Este estudio presenta un método para la detección no destructiva de arándanos en descomposición mediante la fusión de imágenes hiperespectrales (HSI) y resonancia magnética nuclear de campo bajo (LF-NMR).
(Zhang & Dai., 2022)	A survey of machine vision applications for fruit recognition	Este artículo destaca el uso creciente de la visión por computadora en la recolección de frutas, enfocándose en la identificación, detección de madurez y clasificación.

(Mu et al., 2020)	Non destructive detection of blueberry skin pigments and intrinsic fruit qualities based on deep learning	Este estudio propone un método novedoso para mejorar la precisión y eficiencia en la detección de la calidad de los arándanos utilizando deep learning.
(Basri et al., 2018)	Faster R-CNN implementation method for multi-fruit detection using tensorflow platform	Este estudio propone el uso de deep learning mediante faster R-CNN para la clasificación de múltiples frutas, específicamente mango y pitahaya, durante la cosecha.
(Zhang et al., 2022)	Artificial neural network assisted multiobjective optimization of postharvest blanching and drying of blueberries	Este estudio se centró en optimizar el proceso de escaldado y secado poscosecha de arándanos utilizando un sistema novedoso de escaldado/secado asistido por infrarrojos y aire caliente.
(Houhou & Bocklitz, 2021)	Trends in artificial intelligence, machine learning, and chemometrics applied to chemical data	Este artículo subraya cómo las herramientas basadas en inteligencia artificial, como la quimiometría, el machine learning y el deep learning, son esenciales para maximizar el uso de los datos y su comprensión
(Niedbała et al., 2022)	Prediction of blueberry (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) yield based on artificial intelligence methods	Este artículo describe el uso de modelos de machine learning para predecir el rendimiento de cultivos de arándanos con alta precisión, utilizando conjuntos de datos innovadores.
(Wang et al., 2022)	Advanced detection techniques using artificial intelligence in processing of berries	Este artículo enfatiza cómo las tecnologías avanzadas y los métodos basados en inteligencia artificial están transformando el procesamiento de bayas.
(Li et al., 2019)	Optical non-destructive techniques for small berry fruits: A review	Este artículo destaca la importancia de las técnicas ópticas no destructivas en el control de calidad y seguridad de frutas pequeñas como el arándano.

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

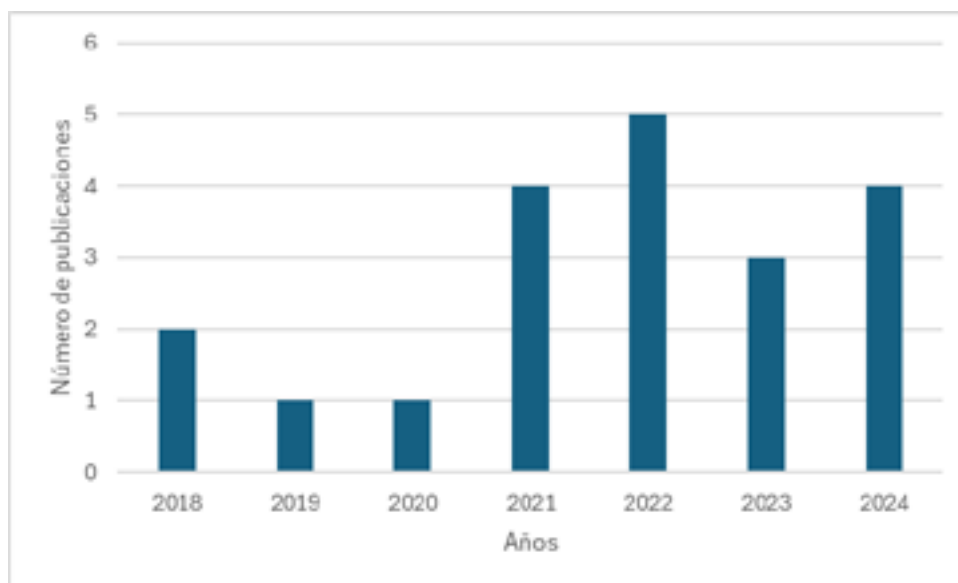
Los resultados se organizaron en dos secciones principales: primero, un análisis descriptivo de los artículos seleccionados, Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las publicaciones con el objetivo de obtener datos que permitieran responder a las interrogantes planteadas en el marco de la investigación

3.1. Análisis descriptivo

3.1.1. Publicaciones por año

El análisis de las publicaciones relacionadas con la inteligencia artificial y tecnologías aplicadas en la industria de arándanos, abarcando desde 2018 hasta 2024, muestra que las publicaciones están aumentando. (Figura 2). El año con mayor número de publicaciones es 2022, con un total de cinco artículos, lo que indica un notable aumento en la investigación reciente sobre el uso de tecnologías avanzadas en la preservación y calidad de frutas. En 2023 y 2024 también se observa una actividad significativa, con tres publicaciones en cada año. Estos años destacan como periodos clave en los que el interés académico ha crecido de manera consistente. Entre 2018 y 2021, el número de publicaciones publicadas ha ido creciendo, con uno o dos artículos por año. Esta tendencia creciente sugiere que la aplicación de inteligencia artificial y tecnologías de visión por computadora en la industria alimentaria, especialmente en la gestión de calidad de arándanos, ha captado mayor atención en los últimos años, probablemente debido a la necesidad de mejorar los procesos de cosecha, conservación y distribución.

Figura N°2: Contribución de publicaciones por año

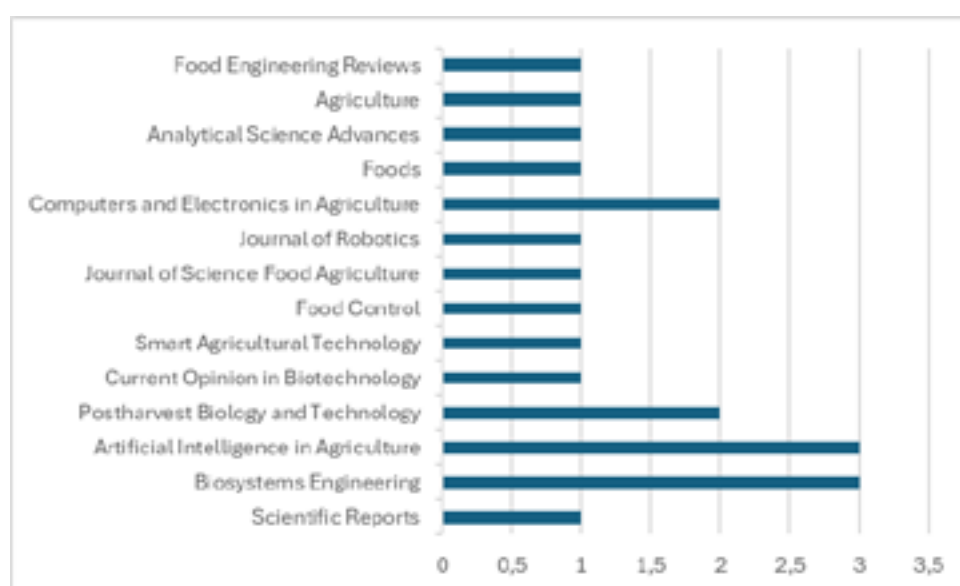


Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Publicaciones por revista

El análisis de las publicaciones por revista muestra que Biosystems Engineering es la revista que más contribuye al campo de estudio, con al menos tres artículos indexados (Figura 3). Esta revista se destaca por ser un foro clave en la investigación relacionada con la ingeniería de biosistemas, enfocándose en innovaciones tecnológicas aplicadas a la agricultura y la industria alimentaria. Artificial Intelligence in Agriculture, también juega un papel importante en el área, con tres publicaciones relevantes, lo que resalta el creciente interés en el uso de inteligencia artificial en la agricultura de precisión y la gestión postcosecha. Las publicaciones en estas revistas son fundamentales para el avance del conocimiento en el uso de tecnologías avanzadas en la preservación y calidad de los productos agrícolas, brindando valiosos aportes tanto a la comunidad académica como a la industria.

Figura N°3: Distribución de publicaciones por revista



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Publicaciones por países

La distribución de publicaciones por países muestra una predominancia de investigaciones provenientes de Estados Unidos, China y otros países de Europa, en donde se han realizado importantes avances en el uso de inteligencia artificial para mejorar el control de calidad de frutas, especialmente arándanos (Figura 4). Estos países lideran en el desarrollo de herramientas basadas en visión artificial y machine learning, reflejando el interés global por aplicar tecnologías avanzadas en el sector agrícola.

Figura N°4: Distribución de publicaciones por países

Fuente: Elaboración propia

El mapa coroplético del artículo ilustra la distribución geográfica de publicaciones sobre inteligencia artificial aplicada al control de calidad de arándanos, con un claro liderazgo de Estados Unidos y China (Figura 5). Estos países son clave en la investigación de tecnologías avanzadas, como la visión por computadora y el deep learning, utilizadas para evaluar la calidad y frescura del fruto. Esta concentración de estudios responde a la necesidad de mejorar la precisión y eficiencia en la cadena de suministro del arándano, asegurando estándares de calidad en mercados globales exigentes

Figura N°5: Mapa coroplético

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Incidencia de las palabras claves

El análisis de la incidencia de palabras clave, derivado a la búsqueda PRISMA, identificó 4 grupos principales (Figura. 6).

Figura N°6: Diagrama neuronal de incidencia de palabras claves



Fuente: Elaboración propia

El primer grupo (rojo) se centra en calidad, asociado con términos como "control de calidad", "análisis de alimentos", "estudio controlado", "límites de detección" y "espectrometría de masas". El segundo grupo (azul) se centra en las características del arándano y su taxonomía, asociado con términos como "arándano", "vaccinum", "fruta", "plantas de arándanos", y con "alimento de calidad". El tercer grupo (amarillo) se centra en la inteligencia artificial aplicada a la clasificación de frutas, asociado con términos como "deep learning", "calidad de la fruta", "redes neuronales convolucionales", "sistemas de aprendizaje" y "redes neuronales". El cuarto grupo (verde) se centra en el uso de técnicas de imagen no destructivas para el análisis de muestras, asociado con términos como "imágenes hiperespectrales", "procesamiento de imágenes", "espectroscopía", "espectroscopía de infrarrojo cercano", "técnicas de imagen" y "detección no destructiva". Estas agrupaciones indican que los temas más relevantes están relacionados con la calidad de los alimentos, especialmente la del arándano y cómo se utilizan tecnologías avanzadas, inteligencia artificial y métodos de imagen no destructivos para evaluar, clasificar y mejorar esa calidad.

3.2. Características del contexto de estudio

Los estudios seleccionados mostraron una gran variedad de aplicaciones y enfoques de herramientas de inteligencia artificial en el control de calidad de los arándanos, con mayor énfasis en la mejora de la clasificación, detección de defectos y optimización de procesos durante la cosecha y poscosecha.

Algunos de estos estudios se enfocan en la implementación de sistemas automatizados basados en visión por computadora y deep learning para mejorar la precisión en la cosecha y clasificación de arándanos. Por ejemplo, en un estudio se propuso un sistema automatizado para ajustar la altura de las cosechadoras de arándanos, para optimizar el proceso y disminuir la fatiga del operador (Haydar et al., 2023). En otro estudio se desarrolló un algoritmo para reconocer la madurez de los arándanos con una precisión del 96%, en la que se utilizaron imágenes a color (Tan et al., 2018). Estos avances han demostrado mejoras en el control de calidad garantizando que solo los frutos maduros sean cosechados y clasificados.

Una parte significativa de los estudios utiliza la aplicación de imágenes hiperespectrales e inteligencia artificial para la detección de defectos internos y la evaluación de la calidad de los arándanos. Por ejemplo, Zhang et al. (2020) utilizaron imágenes hiperespectrales y redes neuronales para detectar partes maltratadas internas en los frutos, alcanzando una precisión del 81.2%. Por otro lado, Deng et al. (2024) combinaron características espectrales y espaciales de imágenes hiperespectrales para diferenciar entre arándanos normales y defectuosos. El control de calidad se ha enfocado en la detección de defectos y en la evaluación de las características sensoriales del fruto. Para clasificar la firmeza de los arándanos se utilizó imágenes hiperespectrales y machine learning, esto para mejorar el proceso de selección en función de las características organolépticas del arándano (Park et al., 2023). Resalta como la inteligencia artificial es utilizada para mejorar el sabor y el contenido nutricional de los cultivos (Ferrão et al., 2023). Así también se han diseñado sensores para la evaluación de la firmeza de los arándanos, se presenta un sensor flexible multimodal (FMPSS) diseñado para evaluar la firmeza de los arándanos y detectar alteraciones (Huang et al., 2024).

Finalmente, se utilizaron técnicas de detección no destructivas que pudieran preservar la integridad del arándano. Se presentó un método para la detección no destructiva de arándanos en descomposición, fusionando imágenes hiperespectrales y resonancia magnética nuclear de campo bajo (Shicheng et al., 2021), así como la aplicación de técnicas ópticas no destructivas, sistema de visión artificial, método inducido por láser e imágenes térmicas para el control de calidad de pequeñas bayas (Li et al., 2019).

La información descrita se resume en la Tabla 3, donde se presentan las principales características del contexto de los estudios seleccionados, incluyendo sus objetivos y las tecnologías aplicadas. Esta recopilación permite apreciar cómo diversas herramientas de inteligencia artificial y técnicas avanzadas se han empleado para abordar diferentes aspectos del control de calidad en arándanos.

Tabla N°4: Características del contexto de los estudios seleccionados

REFERENCIA	OBJETIVO	TECNOLOGÍAS / ÁREAS APLICADAS
(Haydar et al., 2023)	Desarrollar un sistema automatizado para ajustar la altura de la cosechadora de arándanos	Visión por computadora, deep learning, automatización en la cosecha de arándanos.
Zhang et al. (2020)	Detectar magulladuras internas en los arándanos utilizando imágenes hiperespectrales y redes neuronales	Imágenes hiperespectrales, redes neuronales, detección de defectos en arándanos
Wieme et al. (2022)	Revisar el uso de imágenes hiperespectrales para la evaluación de la calidad de frutas	Imágenes hiperespectrales, deep learning, machine learning, evaluación de calidad de frutas
(Ghazal et al., 2024)	Explorar cómo la visión por computadora y la IA pueden mejorar la productividad en la agricultura de precisión.	Visión por computadora, imágenes hiperespectrales, térmicas, agricultura de precisión
(Ktenioudaki et al., 2021)	Estudiar el impacto de la cadena de suministro en la calidad de los arándanos y predecir la pérdida de peso	Modelo de árbol de regresión potenciado, cadena de suministro, control de calidad
Park et al. (2023)	Mejorar la clasificación de la firmeza de los arándanos utilizando imágenes hiperespectrales	Imágenes hiperespectrales, deep learning, clasificación de firmeza en arándanos
(Ferrão et al., 2023)	Mejorar el sabor y contenido nutricional de los cultivos aplicando deep learning	Machine learning, mejoramiento genético, cosechas de arándanos
Tan et al. (2018)	Desarrollar y aplicar un algoritmo para reconocer y clasificar los arándanos en las diferentes etapas de su madurez	Visión por computadora, deep learning, clasificación de arándanos
Wang et al. (2024)	Aplicar inteligencia artificial para optimizar la preservación de frutas en la cadena de suministro	Machine learning, redes neuronales artificiales, deep learning, cadena de suministro

(Deng et al., 2024)	Detectar defectos en arándanos utilizando imágenes hiperespectrales y machine learning para diferenciar entre arándanos normales y defectuosos	Imágenes hiperespectrales, machine learning, detección de defectos en arándanos
(Huang et al., 2024)	Aplicar un sensor flexible multimodal para evaluar la firmeza de los arándanos y detectar defectos	Sensor flexible multimodal, evaluación de firmeza, detección de defectos
Shicheng et al. (2021)	Aplicar un método no destructivo para la detección de arándanos en descomposición	Imágenes hiperespectrales, resonancia magnética nuclear de campo bajo, redes neuronales probabilísticas, redes neuronales de propagación.
Zhang & Dai (2022)	Identificar, detectar y clasificar la madurez de las frutas mediante el uso de visión por computadora en la recolección de frutas	Visión por computadora, recolección de frutas, clasificación y detección
(Mu et al., 2020)	Mejorar la precisión y eficiencia en la detección (pigmentos) de la calidad de los arándanos utilizando un método basado en deep learning.	Deep learning, espectrofotómetro, cámara, detección de calidad de arándanos.
(Basri et al., 2018)	Detectar y clasificar múltiples frutas (mango y pitahaya) mediante el uso de deep learning durante la cosecha	Deep learning, redes neuronales convolucionales, clasificación de frutas
Zhang et al. (2022)	Optimizar el proceso de escaldado y secado poscosecha de arándanos mediante un sistema asistido por infrarrojos y aire caliente	Machine learning, redes neuronales artificiales, infrarrojos, secado poscosecha
(Houhou & Bocklitz, 2021)	Maximizar el uso y comprensión de datos químicos utilizando machine learning y deep learning.	Machine learning, deep learning, quimiometría
(Niedbała et al., 2022)	Utilizar modelos de machine learning para predecir el rendimiento de cultivos de arándano	Machine learning, modelos predictivos, predicción de rendimiento de cultivos

Wang et al. (2022)	Analizar las aplicaciones de técnica de detección avanzadas, basadas en inteligencia artificial, para detectar y predecir el procesamiento de bayas	Machine learning, deep learning, redes neuronales artificiales, sistemas de visión 3D, imágenes hiperespectrales, clasificación, secado, desinfección y congelación de bayas
(Li et al., 2019)	Revisar las técnicas ópticas no destructivas empleadas para evaluar la calidad y seguridad de frutas pequeñas como fresas y arándanos.	Espectroscopía, visión por computadora, imágenes hiperespectrales, imágenes térmicas

Fuente: Elaboración propia

3.3. Definición e importancia de la inteligencia artificial en el control de calidad

La inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta clave para mejorar la eficiencia en los procesos de control de calidad, especialmente mediante la automatización de inspecciones. Esto permite reducir los tiempos operativos y aumentar la velocidad en la detección de defectos, optimizando los recursos para garantizar que solo los productos que cumplen con los estándares avancen en la cadena de producción. Asimismo, facilita la recolección y procesamiento ágiles, incrementando la capacidad operativa sin comprometer la precisión (Ferrão et al., 2023; Zhang et al., 2020).

Además, la IA asegura altos niveles de calidad y consistencia en productos sometidos a estrictas evaluaciones. Herramientas como redes neuronales y sistemas de visión por computadora permiten realizar evaluaciones continuas y precisas, superando las limitaciones de métodos tradicionales (Wieme et al., 2022; Ghazal et al., 2024; Tan et al., 2018).

La sostenibilidad es otro aspecto destacado, ya que el análisis automatizado minimiza el desperdicio y optimiza el uso de insumos, promoviendo prácticas responsables. Esto no solo mejora la rentabilidad al hacer un uso eficiente de los recursos, sino que también reduce el impacto ambiental, un factor crucial en sectores como el agroindustrial (Ktenioudaki et al., 2021; Park et al., 2023; Huang et al., 2024).

En cuanto a precisión, la IA permite un análisis detallado que mejora significativamente la detección de defectos internos y externos mediante tecnologías como imágenes hiperespectrales y machine learning. Esto garantiza que solo productos de alta calidad lleguen al mercado, incrementando la satisfacción del consumidor y reduciendo devoluciones (Houhou & Bocklitz, 2021; Shicheng et al., 2021; Zhang et al., 2022).

Asimismo, la inteligencia artificial favorece el uso de métodos no destructivos en el control de calidad, lo que preserva la integridad de los productos durante las evaluaciones. Esto es especialmente crucial en la industria alimentaria y de exportación, asegurando que los productos lleguen a su destino en óptimas condiciones de frescura y calidad (Li et al., 2019).

Finalmente, la inteligencia artificial aporta valor mediante técnicas avanzadas de clasificación y selección, esenciales para evaluar con precisión la madurez de los productos. Estas tecnologías optimizan la selección y garantizan que solo los productos listos para el mercado sean procesados, maximizando la calidad en la cadena de suministro y satisfaciendo las expectativas de los consumidores en términos de frescura y sabor (Basri et al., 2018; Houhou & Bocklitz, 2021).

La relevancia de estas aplicaciones y beneficios de la inteligencia artificial en el control de calidad se detalla en la Tabla 4, donde se agrupan los estudios más destacados según su contribución específica.

Tabla N°5: Importancia de la inteligencia artificial en el control de calidad

Artículos	Importancia
(Ferrão et al., 2023 ; Haydar et al., 2023 ; Zhang et al., 2020)	Mejora de la eficiencia en procesos mediante automatización.
(Wieme et al., 2022 ; Ghazal et al., 2024 ; Tan et al., 2018)	Aseguramiento de calidad y consistencia en control, mejorando uniformidad.
(Ktenioudaki et al., 2021 ; Park et al., 2023 ; Huang et al., 2024)	Fomento de la sostenibilidad al disminuir el desperdicio de productos.
(Houhou & Bocklitz, 2021; Shicheng et al., 2021; Zhang et al., 2022)	Precisión mejorada en la detección de defectos y control de calidad.
(Li et al., 2019)	Evaluación no destructiva para preservar integridad de productos.
(Basri et al., 2018 ; Zhang & Dai, 2022)	Técnicas avanzadas para clasificación y selección en etapas de madurez.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el control de calidad del arándano

Las herramientas recurrentes utilizadas en el control de calidad del arándano observadas en los artículos incluyeron redes neuronales, algoritmos de visión por computadora, modelos de machine learning e imágenes hiperespectrales. Esto indica que las herramientas de inteligencia artificial utilizadas son bastante amplias.

Las imágenes hiperespectrales fueron una de las herramientas más utilizadas. Los estudios destacaron herramientas como, visión computarizada en combinación con la espectroscopía. Estas herramientas analizaron atributos de madurez, color y defectos en los arándanos, optimizaron la inspección rápida y precisa en línea (Wang et al., 2021; Li et al., 2019). Además, también se identificó que realizaron evaluaciones no destructivas en función de las características espectrales y espaciales en imágenes hiperespectrales (Wieme et al., 2022; Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021).

Otras herramientas utilizadas fueron las redes neuronales, especialmente redes neuronales convolucionales y redes totalmente convolucionales. Estas herramientas fueron utilizadas para evaluar la firmeza, segmentar áreas magulladas internas, evaluar la textura y defectos de los arándanos para diferenciar entre arándanos sanos y dañados (Zhang et al., 2020; Park et al., 2023; Wang et al., 2024; Mu et al., 2020).

También se detectaron algoritmos de visión por computadora, como se detalla en el artículo (Ghazal et al., 2024), utilizados en sistemas de visión asistida para la cosecha de arándanos. Por ejemplo, YOLOv4-tiny detectó la altura de los arándanos y ajustó el sistema de recolección en función de una medida establecida, aplicado al proceso de selección (Haydar et al., 2023). Además, se implementó la plataforma TensorFlow junto con MobileNet, para clasificar de manera rápida y precisa en tiempo real los arándanos (Basri et al., 2018).

Aunque no fueron utilizados en el proceso de selección e inspección, se utilizaron modelos de regresión, como árboles de regresión mejorada. Se observa que estos árboles de regresión mejorada permitieron monitorear la pérdida de peso y la firmeza de los arándanos durante la cadena de suministro (Ktenioudaki et al., 2021). Además, se utilizaron redes neuronales artificiales y el algoritmo genético de ordenamiento no dominado-II para optimizar el proceso de secado, asegurar objetivos de calidad y reducir tiempos de procesamiento (Zhang et al., 2022).

La variedad de herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el control de calidad del arándano, junto con sus propósitos específicos, se presenta en la Tabla 5. Esta tabla sistematiza cómo cada tecnología contribuye a diversas etapas del proceso de evaluación, desde la detección rápida y no destructiva de defectos hasta la optimización de procesos como el secado y la clasificación en tiempo real.

Tabla N°6: Herramientas de inteligencia artificial identificadas en el control de calidad del arándano

Artículos	Herramientas	Propósito
(Wieme et al., 2022; Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021; Wang et al., 2021; Li et al., 2019)	Imágenes hiperespectrales	Análisis de madurez, color y detección de defectos; optimización de inspección rápida y precisa; evaluación no destructiva
(Park et al., 2023 ; Wang et al., 2024)	Redes neuronales convolucionales (CNN)	Evaluación de firmeza, textura y defectos en arándanos; clasificación entre arándanos sanos y dañados
(Mu et al., 2020; Zhang et al., 2020)	Redes totalmente convolucionales (FCN)	Segmentación de áreas magulladas y tejido del arándano para identificar su calidad interna
(Haydar et al., 2023; Ghazal et al., 2024; Basri et al., 2018)	Algoritmos de visión por computadora You Only Look Once V4 (YOLO V4-tiny), MobileNet	Detección y clasificación rápida en tiempo real; ajuste del sistema de recolección según la altura y condiciones de los arándanos
(Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021)	Modelos de machine learning	Evaluación espectral y espacial en imágenes hiperespectrales para diferenciación de arándanos sanos y defectuosos
(Ktenioudaki et al., 2021; Zhang et al., 2022)	Modelos de regresión, árboles de regresión mejorada y redes neuronales artificiales	Monitoreo de pérdida de peso y firmeza durante la cadena de suministro; optimización del proceso de secado

Fuente: Elaboración propia

3.5. Proceso de inspección y selección en el control de calidad del arándano

El análisis de los estudios seleccionados mostró la importancia de los procesos de inspección y selección en el control de calidad de los arándanos, mejorando la recolección y reducción de pérdidas durante el proceso inicial de recolección. Por ejemplo, se implementaron sistemas de visión por computadora asistido con deep learning para ajustar automáticamente la altura del cabezal de recolección, se aseguró que los arándanos sean recogidos de manera eficiente, sin dañar los frutos (Haydar et al., 2023; Basri et al., 2018).

Otro aspecto crítico observado fue la detección temprana de magulladuras mediante redes neuronales y tecnologías de imagen hiperespectral. Estas herramientas permitieron evitar la comercialización de arándanos dañados, asegurando que solo frutos en

buen estado llegaran al consumidor y reduciendo las pérdidas económicas asociadas con la selección de frutas propensas a un rápido deterioro (Zhang et al., 2020; Park et al., 2023; Wang et al., 2024). Además, las tecnologías de imagen hiperespectrales permitieron una evaluación precisa de la firmeza de los frutos. Estos tipos de inspección no destructiva aseguraron que los frutos de alta calidad fueran seleccionados para su distribución; se prolongó su vida útil y mejoró la satisfacción del cliente (Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021; Wang et al., 2021; Li et al., 2019).

Asimismo, la aplicación de inteligencia artificial en la segmentación de características de los arándanos, como el análisis de pigmentos de la piel y el contenido interno de los frutos, permitió evaluar su frescura y calidad. A partir de indicadores internos se seleccionaron solo los frutos que cumplieran con altos estándares de calidad para su comercialización (Mu et al., 2020).

Las inspecciones avanzadas que utilizaron técnicas de visión por computadora permitieron detectar los cambios de madurez y defectos físicos de los frutos sin afectarlos. Por ejemplo, Tan et al. (2018) reportaron el uso de técnicas de visión por computadora para clasificar arándanos en diferentes etapas de madurez, asegurando que solo los arándanos adecuadamente maduros fueran recolectados y distribuidos.

La Tabla 6 resume la importancia de las tecnologías utilizadas en los procesos de inspección y selección del control de calidad del arándano. Estas tecnologías aseguran una recolección eficiente, una selección precisa de frutos de alta calidad, y una distribución optimizada basada en el nivel de madurez y las condiciones internas del producto.

Tabla N°7: Importancia en los procesos de inspección y selección

Artículos	Importancia
(Haydar et al., 2023; Basri et al., 2018)	Ajustar de manera automática la altura del recolector; mayor eficiencia sin dañar los arándanos
(Zhang et al., 2020 ; Park et al., 2023 ; Wang et al., 2024)	Evitar la comercialización de frutos dañados; seleccionar frutos menos propensos a deterioro
(Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021; Wang et al., 2021; Li et al., 2019)	Prolongar la vida útil de frutos de alta calidad, mejorar la satisfacción del cliente
(Mu et al., 2020)	Seleccionar frutos que cumplan con altos estándares de calidad
(Tan et al., 2018)	Seleccionar frutos en el punto óptimo de madurez, garantizar la distribución de frutos maduros

Fuente: Elaboración propia

3.6. Desafíos en la integración de sistemas de inteligencia artificial

Para que los modelos de inteligencia artificial (IA) sean efectivos, es crucial contar con datos de alta calidad y consistencia. Los estudios de Haydar et al. (2023), Ktenioudaki et al. (2021) y Mu et al. (2020) indican que la falta de datos suficientes o la variabilidad en los mismos limita el rendimiento y precisión de los algoritmos, dificultando su implementación exitosa en el control de calidad. Además, los altos costos asociados con equipos especializados, como sistemas de imagen hiperespectral, y el procesamiento intensivo de datos representan barreras significativas (Deng et al., 2024; Huang et al., 2024; Zhang et al., 2020).

Por otro lado, la integración de tecnologías de IA con sistemas existentes presenta desafíos técnicos considerables. Los estudios de Basri et al. (2018), Ghazal et al. (2024) y Shicheng et al. (2021) destacan que la combinación de diferentes tecnologías y la necesidad de sistemas en tiempo real implican la búsqueda de soluciones complejas, lo que puede retrasar o complicar su implementación efectiva.

Asimismo, se destaca la necesidad de personal capacitado con habilidades especializadas para manejar y mantener sistemas de inteligencia artificial. Según Houhou y Bocklitz (2021), Park et al. (2023) y Zhang y Dai (2022), la falta de formación adecuada puede limitar la eficiencia y eficacia de estas tecnologías, lo que subraya la importancia de invertir en capacitación y en el desarrollo de competencias técnicas. Por otra parte, la resistencia al cambio dentro de las organizaciones puede dificultar la adopción de nuevas tecnologías (Ferrão et al., 2023; Wang et al., 2024).

Además, la escalabilidad de las soluciones de inteligencia artificial y la complejidad computacional asociada con procesos avanzados representan desafíos adicionales. Los estudios de Ktenioudaki et al. (2022) y Li et al. (2019) indican que, a medida que se busca ampliar el uso de estas tecnologías, las limitaciones en la capacidad de procesamiento y adaptación a mayores volúmenes de datos pueden restringir su efectividad. Asimismo, factores externos como las condiciones ambientales pueden influir negativamente en la precisión de los modelos de inteligencia artificial. Las investigaciones Niedbała et al. (2022) y Tan et al. (2018) muestran que variaciones en iluminación o condiciones climáticas afectan la calidad de los datos de entrada, reduciendo la exactitud y generalización de los algoritmos utilizados.

Asimismo, el manejo de datos genéticos presenta desafíos únicos debido a su complejidad y volumen. El artículo de Ferrão et al. (2023) resalta que se requiere el desarrollo de algoritmos avanzados y potentes capacidades de procesamiento para analizar y extraer información útil, lo que puede ser técnicamente demandante. Por último, la implementación exitosa de IA en control de calidad a menudo exige el uso de algoritmos sofisticados. El estudio de Wieme et al. (2022) señala que la disponibilidad limitada de estos algoritmos y la necesidad de desarrollarlos específicamente para ciertas aplicaciones pueden ser obstáculos significativos.

La Tabla 7 sintetiza los principales desafíos identificados en la integración de sistemas de inteligencia artificial en el control de calidad del arándano. Estos incluyen limitaciones en la calidad y cantidad de datos, altos costos de implementación, necesidad de personal capacitado, resistencia organizacional al cambio, y problemas técnicos como la escalabilidad y complejidad computacional.

Tabla N°8: Desafíos en la integración de sistemas de inteligencia artificial

Artículos	Desafíos
(Haydar et al., 2023 ; Ktenioudaki et al., 2021 ; Mu et al., 2020)	Disponibilidad y calidad de datos limitan la efectividad de los modelos de inteligencia artificial.
(Deng et al., 2024; Huang et al., 2024 ; Zhang et al., 2020)	Altos costos de implementación en equipos y procesamiento de datos
(Basri et al., 2018 ; Ghazal et al., 2024; Shicheng et al., 2021)	Complejidad técnica en la integración de sistemas y tecnologías.
(Houhou & Bocklitz, 2021 ; Park et al., 2023; Zhang & Dai, 2022)	Necesidad de habilidades especializadas y capacitación técnica
(Wang et al., 2022 ; Wang et al., 2024)	Oposición organizacional al cambio y adopción de nuevas tecnologías.
(Li et al., 2019; Zhang et al., 2022)	Problemas de escalabilidad y complejidad computacional en procesos avanzados.
(Ferrão et al., 2023; Wieme et al., 2022)	Complejidad en el manejo de datos y necesidad de algoritmos avanzados

Fuente: Elaboración propia

4. Discusión

En esta revisión sistemática, se ha consolidado el conocimiento sobre la importancia de la inteligencia artificial en el control de calidad de arándanos, subrayando cómo la inteligencia artificial permite una inspección precisa y una mejora en la calidad del producto final (Wieme et al., 2022; Tan et al., 2018). Estudios clave destacan que, al automatizar procesos, la IA contribuye significativamente a la eficiencia y sostenibilidad, alineándose con la necesidad de reducir desperdicios y optimizar recursos (Ktenioudaki et al., 2021; Huang et al., 2024). Esta tecnología es esencial para mejorar la competitividad de productos perecederos en mercados internacionales, cumpliendo con estándares de calidad rigurosos.

Por otro lado, se identificaron varias herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el control de calidad de arándanos, como la visión por computadora y las redes neuronales convolucionales, que permiten detectar defectos y evaluar atributos de madurez y firmeza sin dañar el producto (Haydar et al., 2023; Park et al., 2023; Wang et al., 2024). La implementación de estas herramientas ha mostrado efectividad en la

selección y clasificación de frutos de alta calidad, asegurando que solo los productos óptimos lleguen al mercado.

Asimismo, el proceso de inspección y selección en el control de calidad resulta fundamental. Al aplicar técnicas avanzadas de inteligencia artificial, como las imágenes hiperespectrales, se facilita una evaluación más precisa y no destructiva de la calidad del fruto. Esto asegura una mayor vida útil del producto y responde a las expectativas del consumidor en términos de frescura y calidad (Tan et al., 2018).

Finalmente, se abordaron los desafíos en la integración de sistemas de IA, incluyendo la disponibilidad de datos de alta calidad, los costos elevados de implementación y la necesidad de habilidades técnicas especializadas (Basri et al., 2018; Haydar et al., 2023; Ktenioudaki et al., 2021; Zhang et al., 2020). Estos factores limitan la adopción de la IA en algunas empresas y resaltan la importancia de invertir en capacitación y en la infraestructura tecnológica necesaria para aprovechar al máximo el potencial de la IA en el control de calidad de arándanos.

En la actualidad el avance vertiginoso de la tecnología implica grandes cambios y mejoras en el control de calidad. Se plantea integrar la inteligencia artificial con el internet de las cosas (IoT), a diferencia de los artículos observados que se centran en el análisis interno o superficial del arándano mediante el uso de herramientas de inteligencia artificial a partir de datos obtenidos por equipos de detección avanzada, imágenes hiperespectrales y térmicas, se utilizan sensores IoT (Internet de las cosas) que permiten recopilar datos en tiempo real sobre las condiciones del ambiente, tales como la temperatura y humedad durante las diferentes etapas (cultivo, cosecha, almacenamiento) del proceso de producción. La combinación de estos datos combinados con herramientas de inteligencia artificial posibilita un monitoreo preciso y continuo de la calidad del arándano. Se optimizan las condiciones del proceso de producción para reducir deterioros y pérdidas poscosecha.

Otro avance interesante es la aplicación de la inteligencia artificial en la mejora genética del arándano. A partir del análisis de grandes volúmenes de datos genómicos, se puede identificar características genéticas que contribuyen a mejorar la calidad del fruto, como la firmeza, valor nutricional y resistencia a enfermedades. Esto abre un camino lleno de nuevas posibilidades en la que los científicos pueden desarrollar nuevas variedades de arándanos que no solo sean de alta calidad, sino también más resistentes y sostenibles.

5. Conclusiones

La aplicación de inteligencia artificial produce un impacto positivo en los procesos de inspección y selección para mejorar el control de calidad de los arándanos. La inteligencia artificial mejora el control de calidad de arándanos al hacer más precisa y rápida la detección de defectos, garantizando que solo los frutos de alta calidad lleguen al mercado. Esto optimiza la eficiencia y fortalece la competitividad en mercados internacionales.

La inteligencia artificial es clave en el control de calidad de los arándanos, ya que permite automatizar y hacer más precisos los procesos de inspección. Utilizando visión por computadora y redes neuronales, la IA optimiza tiempos y reduce errores, mejorando la competitividad, clasificación y selección de arándanos para cumplir con los altos estándares de calidad.

Las herramientas de inteligencia artificial en el control de calidad de los arándanos incluyeron imágenes hiperspectrales, redes neuronales, visión computarizada, deep learning, machine learning permitiendo inspecciones no destructivas y precisas de atributos clave como madurez, firmeza y defectos superficiales e internos. Además, los modelos de regresión y optimización mejoraron el monitoreo de calidad en la cadena de suministro, asegurando frutos de alta calidad.

El análisis de los estudios mostró que los procesos de inspección y selección, apoyados en herramientas de IA como visión computarizada y redes neuronales, optimizaron la recolección de arándanos y redujeron pérdidas. La detección temprana de defectos y la evaluación precisa de atributos como firmeza y madurez aseguraron que solo los frutos de alta calidad llegaran al consumidor, prolongando su vida útil y mejorando la satisfacción del cliente.

La integración de sistemas de inteligencia artificial en el control de calidad de los arándanos enfrenta varios desafíos significativos. Uno de los principales es la necesidad de datos de alta calidad y consistentes para asegurar el rendimiento óptimo de los modelos de IA, ya que la variabilidad en los datos puede limitar la precisión de los algoritmos. También se presentan obstáculos financieros, pues el costo de los equipos especializados y el procesamiento intensivo de datos resultan elevados. A nivel técnico, la complejidad de integrar diversas tecnologías en tiempo real y la falta de personal capacitado dificultan la adopción eficaz de estos sistemas.

6. Literatura citada

- BASRI, H., SYARIF, I., & SUKARIDHOTO, S. (2018). FASTER R-CNN IMPLEMENTATION METHOD FOR MULTI-FRUIT DETECTION USING TENSORFLOW PLATFORM. 2018 INTERNATIONAL ELECTRONICS SYMPOSIUM ON KNOWLEDGE CREATION AND INTELLIGENT COMPUTING (IES-KCIC), 337–340. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/KCIC.2018.8628566](https://doi.org/10.1109/KCIC.2018.8628566)
- DENG, B., LU, Y., & STAFNE, E. (2024). FUSING SPECTRAL AND SPATIAL FEATURES OF HYPERSPECTRAL REFLECTANCE IMAGERY FOR DIFFERENTIATING BETWEEN NORMAL AND DEFECTIVE BLUEBERRIES. SMART AGRICULTURAL TECHNOLOGY, 8(100473), 100473. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ATECH.2024.100473](https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100473)
- FERRÃO, L. F. V., DHAKAL, R., DIAS, R., TIEMAN, D., WHITAKER, V., GORE, M. A., MESSINA, C., & RESENDE, M. F. R., JR. (2023). MACHINE LEARNING APPLICATIONS TO IMPROVE FLAVOR AND NUTRITIONAL CONTENT OF HORTICULTURAL CROPS THROUGH BREEDING AND GENETICS. CURRENT OPINION IN BIOTECHNOLOGY, 83(102968), 102968. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.COPBIO.2023.102968](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102968)
- GHAZAL, S., MUNIR, A., & QURESHI, W. S. (2024). COMPUTER VISION IN SMART AGRICULTURE AND PRECISION FARMING: TECHNIQUES AND APPLICATIONS. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE, 13, 64–83. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AIIA.2024.06.004](https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2024.06.004)
- HAYDAR, Z., ESAU, T. J., FAROOQUE, A. A., ZAMAN, Q. U., HENNESSY, P. J., SINGH, K., & ABBAS, F. (2023). DEEP LEARNING SUPPORTED MACHINE VISION SYSTEM TO PRECISELY AUTOMATE THE WILD BLUEBERRY HARVESTER HEADER. SCIENTIFIC REPORTS, 13(1), 10198. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/s41598-023-37087-z](https://doi.org/10.1038/s41598-023-37087-z)
- HOUHOU, R., & BOCKLITZ, T. (2021). TRENDS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MACHINE LEARNING, AND CHEMOMETRICS APPLIED TO CHEMICAL DATA. ANALYTICAL SCIENCE ADVANCES, 2(3–4), 128–141. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/ANSA.202000162](https://doi.org/10.1002/ansa.202000162)
- HUANG, W., XIA, J., LI, N., ZHU, H., & ZHANG, X. (2024). IMPROVEMENT OF A FLEXIBLE MULTIMODE PRESSURE-STRAIN SENSOR (FMPSS) FOR BLUEBERRY FIRMNESS TACTILE SENSING AND TAMPER-EVIDENT PACKAGING. FOOD CONTROL, 156(110129), 110129. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FOODCONT.2023.110129](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110129)
- KTENIOUDAKI, A., O'DONNELL, C. P., EMOND, J. P., & DO NASCIMENTO NUNES, M. C. (2021). BLUEBERRY SUPPLY CHAIN: CRITICAL STEPS IMPACTING FRUIT QUALITY AND APPLICATION OF A BOOSTED REGRESSION TREE MODEL TO PREDICT WEIGHT LOSS. POSTHARVEST BIOLOGY AND TECHNOLOGY, 179(111590), 111590. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111590](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111590)
- LI, S., LUO, H., HU, M., ZHANG, M., FENG, J., LIU, Y., DONG, Q., & LIU, B. (2019). OPTICAL NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES FOR SMALL BERRY FRUITS: A REVIEW. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE, 2, 85–98. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AIIA.2019.07.002](https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.07.002)

- LIU, H., QIN, S., SIROHI, R., AHLUWALIA, V., ZHOU, Y., SINDHU, R., BINOD, P., RANI SINGHIA, R., KUMAR PATEL, A., JUNEJA, A., KUMAR, D., ZHANG, Z., KUMAR, J., TAHERZADEH, M. J., & KUMAR AWASTHI, M. (2021). SUSTAINABLE BLUEBERRY WASTE RECYCLING TOWARDS BIOREFINERY STRATEGY AND CIRCULAR BIOECONOMY: A REVIEW. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, 332(125181), 125181. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BIORTECH.2021.125181](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125181)
- MONTES NINAQUISPE, J. C., LIZANA GUEVARA, N. P., CHAVESTA PAICO, S. J., CORONEL BENITES, C. V., CHOMBO JACO, J. A., ARIAS GONZALES, H. P., & MORÁN SANTAMARÍA, R. O. (2024). DIVERSIFICATION OF MARKETS AND ENTERPRISES IN THE EXPORTATION OF PERUVIAN BLUEBERRIES. *PROCEEDINGS OF THE 22ND LACCEI INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE FOR ENGINEERING, EDUCATION AND TECHNOLOGY (LACCEI 2024)*: “SUSTAINABLE ENGINEERING FOR A DIVERSE, EQUITABLE, AND INCLUSIVE FUTURE AT THE SERVICE OF EDUCATION, RESEARCH, AND INDUSTRY FOR A SOCIETY 5.0.” [HTTPS://DOI.ORG/10.18687/LACCEI2024.1.1.240](https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.240)
- MONTES NINAQUISPE, J. C., PANTALEÓN SANTA MARÍA, A. L., LUDEÑA JUGO, D. A., CASTRO MUÑOZ, W. T., FARIAS RODRIGUEZ, J. C., MACO ELERA, B. H., & VASQUEZ HUATAY, K. C. (2024). PERUVIAN AGRO-EXPORTS’ COMPETITIVENESS: AN ASSESSMENT OF THE EXPORT DEVELOPMENT OF ITS MAIN PRODUCTS. *ECONOMIES*, 12(6), 156. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/ECONOMIES12060156](https://doi.org/10.3390/economies12060156)
- MU, C., YUAN, Z., OUYANG, X., SUN, P., & WANG, B. (2021). NON-DESTRUCTIVE DETECTION OF BLUEBERRY SKIN PIGMENTS AND INTRINSIC FRUIT QUALITIES BASED ON DEEP LEARNING. *JOURNAL OF THE SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE*, 101(8), 3165–3175. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/JSFA.10945](https://doi.org/10.1002/jsfa.10945)
- NIEDBAŁA, G., KUREK, J., ŚWIDERSKI, B., WOJCIECHOWSKI, T., ANTONIUK, I., & BOBRAN, K. (2022). PREDICTION OF BLUEBERRY (*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.) YIELD BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS. *AGRICULTURE*, 12(12), 2089. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/AGRICULTURE12122089](https://doi.org/10.3390/agriculture12122089)
- PAPADOPOULOS, G., ARDUINI, S., UYAR, H., PSIROUKIS, V., KASIMATI, A., & FOUNTAS, S. (2024). ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL BENEFITS OF DIGITAL AGRICULTURAL TECHNOLOGIES IN CROP PRODUCTION: A REVIEW. *SMART AGRICULTURAL TECHNOLOGY*, 8(100441), 100441. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ATECH.2024.100441](https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100441)
- PARK, B., SHIN, T., CHO, J.-S., LIM, J.-H., & PARK, K.-J. (2023). IMPROVING BLUEBERRY FIRMNESS CLASSIFICATION WITH SPECTRAL AND TEXTURAL FEATURES OF MICROSTRUCTURES USING HYPERSPECTRAL MICROSCOPE IMAGING AND DEEP LEARNING. *POSTHARVEST BIOLOGY AND TECHNOLOGY*, 195(112154), 112154. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.POSTHARVBIO.2022.112154](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112154)
- SHICHENG, Q., YOUWEN, T., QINGHU, W., SHIYUAN, S., & PING, S. (2021). NONDESTRUCTIVE DETECTION OF DECAYED BLUEBERRY BASED ON INFORMATION FUSION OF HYPERSPECTRAL IMAGING (HSI) AND LOW-FIELD NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE (LF-NMR). *COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE*, 184(106100), 106100. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.COMPAG.2021.106100](https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106100)

- TAN, K., LEE, W. S., GAN, H., & WANG, S. (2018). RECOGNISING BLUEBERRY FRUIT OF DIFFERENT MATURITY USING HISTOGRAM ORIENTED GRADIENTS AND COLOUR FEATURES IN OUTDOOR SCENES. *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, 176, 59–72. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2018.08.011](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.08.011)
- WANG, D., ZHANG, M., LI, M., & LIN, J. (2024). FRUITS AND VEGETABLES PRESERVATION BASED ON AI TECHNOLOGY: RESEARCH PROGRESS AND APPLICATION PROSPECTS. *COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE*, 226(109382), 109382. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.COMPAG.2024.109382](https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109382)
- WANG, D., ZHANG, M., MUJUMDAR, A. S., & YU, D. (2022). ADVANCED DETECTION TECHNIQUES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROCESSING OF BERRIES. *FOOD ENGINEERING REVIEWS*, 14(1), 176–199. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S12393-021-09298-5](https://doi.org/10.1007/s12393-021-09298-5)
- WIEME, J., MOLLAZADE, K., MALOUNAS, I., ZUDE-SASSE, M., ZHAO, M., GOWEN, A., ARGYROPOULOS, D., FOUNTAS, S., & VAN BEEK, J. (2022). APPLICATION OF HYPERSPECTRAL IMAGING SYSTEMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR QUALITY ASSESSMENT OF FRUIT, VEGETABLES AND MUSHROOMS: A REVIEW. *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, 222, 156–176. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2022.07.013](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.07.013)
- ZHANG, L., ZHANG, M., MUJUMDAR, A. S., & CHEN, Y. (2024). FROM FARM TO MARKET: RESEARCH PROGRESS AND APPLICATION PROSPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FROZEN FRUITS AND VEGETABLES SUPPLY CHAIN. *TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY*, 153(104730), 104730. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.TIFS.2024.104730](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104730)
- ZHANG, M., JIANG, Y., LI, C., & YANG, F. (2020). FULLY CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR BLUEBERRY BRUISING AND CALYX SEGMENTATION USING HYPERSPECTRAL TRANSMITTANCE IMAGING. *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, 192, 159–175. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2020.01.018](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.01.018)
- ZHANG, T., & DAI, F. (2022). *JOURNAL OF ROBOTICS NETWORKING AND ARTIFICIAL LIFE*, 9(3), 285–288. [HTTPS://DOI.ORG/10.57417/JRNAL.9.3_285](https://doi.org/10.57417/JRNAL.9.3_285)
- ZHANG, W., WANG, K., & CHEN, C. (2022). ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ASSISTED MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION OF POSTHARVEST BLANCHING AND DRYING OF BLUEBERRIES. *FOODS (BASEL, SWITZERLAND)*, 11(21), 3347. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/FOODS11213347](https://doi.org/10.3390/foods11213347)

ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. <https://www.agroperu.pe/peru-inicio-la-campana-2025-2026-de-arandanos-con-resultados-muy-positivos/>
2. <https://agraria.pe/noticias/minagri-y-regiones-impulsaran-el-mercado-interno-de-fibra-de-21635>
3. https://stock.adobe.com/pe/images/eyeshadow-palette-and-brushes/213607157?prev_url=detail
4. https://stock.adobe.com/pe/images/warehouse-metal-blank-electroplating-plant-for-the-metal/194755542?prev_url=detail
5. https://stock.adobe.com/pe/images/a-toy-truck-carrying-fresh-feijoa-yellow-background-delivery-concept-for-large-sized-items-and-fresh-tropical-fruits-from-the-new-harvest/464837972?prev_url=detail y https://stock.adobe.com/pe/images/e-commerce-outline-icon/575813205?prev_url=de-

Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>
Volumen I- N° 2 Agosto 2025

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

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