





Systematic Review on How Technological Innovation Can Improve the Cocoa Industry

Estephanie A. Flores-Rosales, Bach.¹ , Luis F. Valdez-Zavaleta, Bach.² , Antonio Malpartida, Mag.³ , and William C. Algoner, Ph.D.⁴ 





^{1,2,3,4}First, Second, Third and Fourth Author's Universidad Tecnológica del Perú, Lima-Perú, u19310266@utp.edu.pe, u17203988@utp.edu.pe, amalpartid@utp.edu.pe, walgoner@utp.edu.pe

Abstract– Several innovations, such as artificial intelligence, deep learning, and automation technologies, are being implemented in the cocoa industry's cultivation, production, and logistics processes to improve product quality through process optimization and resource sustainability. This systematic review aims to review the contributions of scientific literature regarding innovations made to improve the cocoa transformation process by implementing sustainable innovations and practices. To this end, it was decided to use the PICO article search strategy, managing to collect 3221 articles in total, carried out in the Scopus, Emerald Insight, Science Direct, and IEEE Xplore databases by carrying out the screening and selection process by criteria such as year, languages, open access and by exclusion and inclusion criteria, it was possible to obtain 25 articles for the realization of the Systematic Review Of Literature (RSL). The results found were that the utility of 4k drone technology allows one to identify the state of the fruit in the crops. In contrast, the e-tongue and e-nose technologies recognize the aromas and flavors of the product. It was concluded that technologies such as YOLOv5, WSN e Lot technologies, 4K DRONE, SCANET, and UW are applicable in production processes using technologies such as CNN AND DNN, ANN, KNN, CIBER, E-NOSE, E-TONGUE, HSI In the supply chain process, DAVIS and blockchain models and technologies aimed at sustainability are ANFIS systems.

Keywords-- Cacao, Technological Innovation, Sustainability

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Revisión Sistemática sobre cómo la Innovación Tecnológica Puede mejorar la Industria del Cacao

Estephanie A. Flores-Rosales, Bach.¹ , Luis F. Valdez-Zavaleta, Bach.² , Antonio Malpartida, Mag.³ , and William C. Algoner, Ph.D.⁴ 

^{1,2,3,4}First, Second, Third and Fourth Author's Universidad Tecnológica del Perú, Lima-Perú, u19310266@utp.edu.pe, u17203988@utp.edu.pe, amalpartid@utp.edu.pe, walgoner@utp.edu.pe

Resumen – *Se están implementando varias innovaciones, como inteligencia artificial, aprendizaje profundo y tecnologías de automatización, en los procesos de cultivo, producción y logística de la industria del cacao para mejorar la calidad del producto mediante la optimización de procesos y la sostenibilidad de los recursos. Esta revisión sistemática tiene como objetivo revisar los aportes de la literatura científica sobre las innovaciones realizadas para mejorar el proceso de transformación del cacao mediante la implementación de innovaciones y prácticas sostenibles. Para ello se decidió utilizar la estrategia de búsqueda de artículos PICO, logrando recolectar 3221 artículos en total, realizada en las bases de datos Scopus, Emerald Insight, Science Direct e IEEE Xplore realizando el proceso de cribado y selección por criterios como según año, idiomas, acceso abierto y por criterios de exclusión e inclusión, se logró obtener 25 artículos para la realización de la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL). Los resultados encontrados fueron que la utilidad de la tecnología de drones 4k permite identificar el estado del fruto en los cultivos. Por el contrario, las tecnologías e-tongue y e-nose reconocen los aromas y sabores del producto. Se concluyó que tecnologías como YOLOv5, tecnologías WSN e Lot, 4K DRONE, SCANET y UW son aplicables en procesos productivos utilizando tecnologías como CNN AND DNN, ANN, KNN, CIBER, E-NOSE, E-TONGUE, HSI. En el proceso de la cadena de suministro, los modelos y tecnologías DAVIS y blockchain orientados a la sostenibilidad son sistemas ANFIS.*

Palabras Clave-- Cacao, Innovación Tecnológica, Sostenibilidad.

I. INTRODUCCION

El continente de África es conocido por ser una de las economías con más altos niveles de pobreza a nivel mundial, y con un lento crecimiento, pero algunos países como Ghana están implantando innovaciones tecnológicas y metodológicas enfocados en usos sostenibles de sus recursos, ya que en dicho país, se ha registrado una disminución en la producción del cacao en estos últimos años, debido al cambio climático ocasionando que el patrón de lluvias se desacelere y la aparición de sequías aumente [1]. Por ello que se viene realizando investigaciones para utilizar tecnologías que permitan el aprovechamientos de aguas subterráneas y riegos más tecnificados [2], al igual que en sus procesos de logística, como el uso de blockchain en la cadena de suministros de la semilla de cacao [3]. Asimismo, Nueva Guinea, es uno de los principales productores de cacao del mundo, y gran parte de su materia prima se destina al consumo humano, con una proporción limitada dirigida a la producción y transformación

de este fruto en su localidad. Por otro lado, a pesar de que el chocolate es altamente cotizado en el comercio exterior, el sector industrial de este país se encuentra en un proceso de desarrollo lento debido a la falta de procesos estandarizados y automatizados en muchas de sus industrias, lo que evidencia una falta de eficiencia y competitividad en el mercado internacional, ocasionando utilidades mínimas, agravadas por la generación de residuos no procesados [4] lo que implica costos adicionales para las empresas. La producción de cacao es un proceso complejo que requiere de una atención especial para conservar las características sensoriales del producto y prevenir riesgos laborales. En este sentido, se busca revisar los aportes de investigaciones para mejorar los procesos en la industria del cacao mediante la implementación de innovaciones y prácticas sostenibles.

En este contexto, muchas industrias de manufactura, especialmente dedicadas a la transformación del cacao, presentan una producción poco automatizada y carecen de implementaciones de inteligencias artificiales y tecnologías de automatización. Por esta razón, se realiza esta investigación de literatura, cuyo objetivo principal se centra en estudiar las investigaciones realizadas por autores que proporcionen información sobre las innovaciones implementadas en muchas industrias para mejorar la calidad de sus productos incluyendo la sostenibilidad. Así mismo, la investigación busca evaluar, contribuir y detallar los beneficios de implementar procesos automatizados y sostenibles con el medio ambiente, cultivo y temas afines [5], [6][7]. En particular, la fabricación de chocolates enfrenta grandes desafíos en todo el mundo, ya que los consumidores demandan productos saludables y de alta calidad. En este contexto, se busca mejorar los procesos de la industria del cacao para incrementar la producción y la calidad del producto, y así satisfacer las necesidades del mercado y los consumidores.

El cacao en un producto agroindustrial que se consume a nivel global Europa representa el 46%, seguido por América 36%, Oceanía y Asia 18% [7][8].

Por ello se realiza esta revisión sistemática de literatura (RSL) para identificar las más apropiadas innovaciones que permitan obtener productos de alta calidad y con un gran aporte nutricional, sin dejar de lado temas relacionados a la sostenibilidad [9] y los beneficios económicos para estas industrias que se obtienen con la implementación.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

II. METHODOLOGY

La Revisión Sistemática de Literatura (RSL) es un método que permite realizar una búsqueda adecuada y un análisis detallado, basado en diversas metodologías estructuradas, lo que facilita obtener información específica sobre un tema determinado desde diversos artículos científicos, brindando una data con un alto nivel de calidad con relación a otras revisiones que se presentan de manera imparcial. Además, la RSL se enfoca en identificar, evaluar y combinar información recaudada basada en una pregunta de investigación específica [7].

Asimismo, se basa en tres etapas tales como: la planificación, la realización y la presentación de la información como se presenta en la siguiente Fig. 1.

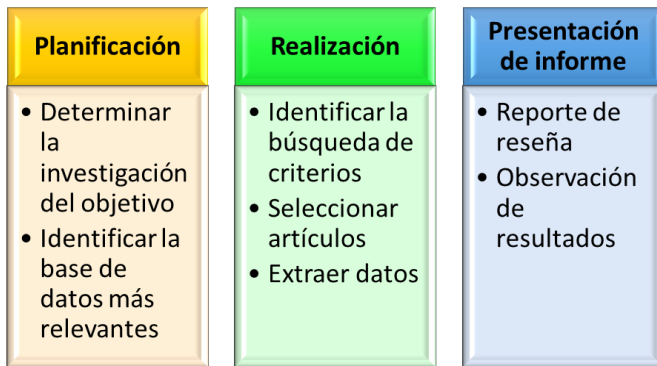


Fig. 1 Etapas de estudios de la revisión

Para llevar a cabo la presente Revisión Sistemática de Literatura (RSL), se optó por utilizar una metodología sistemática conformado de tres componentes (PIO), que permite realizar una investigación más exhaustiva y minuciosa, con el propósito de definir claramente la población de estudio y los resultados con relación a un tema específico, lo que facilita la formulación de una pregunta de búsqueda precisa y la recopilación de estudios pertinentes para la investigación.

En la búsqueda de información más detallada sobre el tema de investigación, se planteó la siguiente pregunta:

¿Cómo se puede utilizar la innovación en la industria del cacao para lograr una mayor sostenibilidad y calidad del producto? El objetivo de la investigación es ayudar a las empresas que actualmente están en desarrollo y no cuentan con procedimientos establecidos en sus procesos de pérdida de materia prima. En ese sentido, la investigación se centra en analizar las últimas aportaciones e investigaciones realizadas entre 2018 y 2023 en el proceso de transformación del cacao, con la finalidad de realizar recomendaciones basadas en la información brindada por literaturas de revisión y conocer las mejores innovaciones para mejorar la sostenibilidad y calidad del producto en las empresas dedicadas al rubro del chocolate.

Para la elaboración de esta pregunta se han utilizado los tres primeros componentes de la metodología PICO, el cual facilitará la búsqueda de información adecuada para el tema designado.

QP → ¿Cómo se puede utilizar la innovación en la industria del cacao para lograr una mayor sostenibilidad y calidad del producto?

A. Preguntas complementarias

Q1: ¿Cuál es la situación actual de la industria del cacao?

Q2: ¿Qué tipo de innovaciones se han aplicado en la industria del cacao?

Q3: ¿Cuál es el impacto de la industria del cacao en términos de sostenibilidad y calidad?

A continuación, se detallarán las palabras claves en inglés y estandarizadas en cada campo del método PIO (ver Tabla I), buscando que estas palabras ayuden al rápido acceso de información que se desee obtener con respecto a la pregunta de investigación.

Para realizar la ecuación de búsqueda, se han utilizado operadores boléanos como OR, AND y las comillas (“”). Además, se obtuvo información de diferentes bases de datos tales como: Scopus, ScienceDirect, Emerald Insight e IEEE Xplore. Posteriormente, se optó por utilizar la metodología PRISMA para la revisión sistemática de literatura, el cual permite a los autores de revisiones sistemáticas, filtrar de manera transparente diversos estudios.

TABLA I
KEYWORDS

P	Industria del cacao	Cocoa, Theobroma Cacao, Cacao, Cocoa Powder, Cocoa Pod Husk, cocoa shells
I	Innovación	Technological Innovation, Information Technology, Technological development, Open innovation, Robotic, Technology, Artificial Intelligence,
O	Sostenibilidad y calidad	Sustainable Development, Sustainability, Sustainable Agriculture, Efficiency, Traceability, Quality, Efficiency.

B. Ecuación de búsqueda de Scopus, IEEE Xplore, Emerald Insight

Para esta base de datos se utilizaron las tres primeras componentes de la pregunta PICO, debido a que la base de datos permite cantidad limitada de palabras para su ecuación:

(cocoa OR cacao) AND (technology OR automation OR robotic OR artificial AND intelligence) AND (quality OR sustainability OR traceability OR efficiency)

Solo se puede introducir esa cantidad de palabras en la ecuación, debido a que se corre el riesgo de no obtener resultados en caso se excediera; por ello, se determinó considerar las palabras claves más resaltantes de cada componente de la estrategia PIO.

C. Ecuación de búsqueda para Science Direct

(cocoa industry OR cacao OR cocoa) AND (sustainability) AND (innovation OR innovative)

D. Criterios incluyentes (CI)

CI 1: Los estudios incluidos deben abordar temas relacionados con la mejora de la calidad de los procesos de producción del cacao.

CI 2: Los estudios deben aplicar o describir metodologías utilizadas para mejorar la calidad de los procesos de producción.

CI 3: Los estudios que presentan datos estadísticos sobre la aplicación de dichas metodologías son aptos.

CI 4: Los estudios se han desarrollado en ambientes reales de trabajo como plantas industriales.

E. Criterios de exclusión (CE)

CE 1: Estudios que se han desarrollado en laboratorios o entornos simulados; es decir, fuera de ambientes reales como plantas industriales y/o campos agrícolas.

CE 2: Estudios que no estén relacionados a la investigación del proceso de producción, innovación, mejora, automatización, calidad del cacao y granos afines como del café y maíz.

CE 3: Publicaciones sobre investigaciones de mejora de procesos, médicos, robótica, electrónica, agrícolas, construcción y temas afines que se alejan de la temática a investigar.

CE 4: Publicaciones sobre innovaciones en la logística de transporte de alimentos no relacionados con la industria del cacao.

Al aplicar los criterios de exclusión:

- Se eliminaron 90 artículos, debido a que los estudios se desarrollan en laboratorios o entornos simulados (C1)
- Se eliminaron 180 artículos, debido a que no desarrollan temas relacionados a la investigación (C2)
- Se eliminaron 84 artículos, por corresponder a investigaciones de mejora de procesos, médicos, robótica, electrónica, agrícolas, construcción y temas afines que se alejan del tema a investigar. (C3)
- Se eliminaron 40 artículos debido a que no son publicaciones que desarrollan sobre innovaciones en la logística de transporte de alimentos no relacionados con la industria del cacao.

Con lo cual se llegó a obtener 25 artículos para el desarrollo de la RSL como se presenta en la Fig. 2.

F. PRISMA

La declaración PRISMA fue creada para ayudar a los autores de revisiones sistemáticas a mejorar la calidad de manera clara, organizada y transparente el propósito de la revisión, los resultados obtenidos, las acciones realizadas por los autores y para mapear los sitios de reseñas.

Al efectuar dicha ecuación de búsqueda en la base de datos de Scopus se identificaron un total de 2049 artículos. Por lo tanto, en IEEE XPLORE se obtuvo 140 artículos, en ScienceDirect 605 y en Emerald Insight 427 artículos.

Por criterio de duplicados, se excluyeron 10 artículos, los cuales fueron eliminados de manera sistemática para evitar la inclusión de información redundante en el análisis. Como resultado, se logró eliminar todos los artículos duplicados, dejando una serie de documentos únicos para su respectiva

revisión por los filtros de automatización (año, tema, idioma) aplicando ello, se excluyeron 2484 artículos y por razones de tipo de texto, solo se consideró (article, conference paper and review), excluyendo así 304 artículos.

Por registros de título y resumen se excluyeron 280 artículos. Luego, por texto completo se excluyeron 18 artículos; quedando 419 artículos para aplicar los criterios de exclusión:

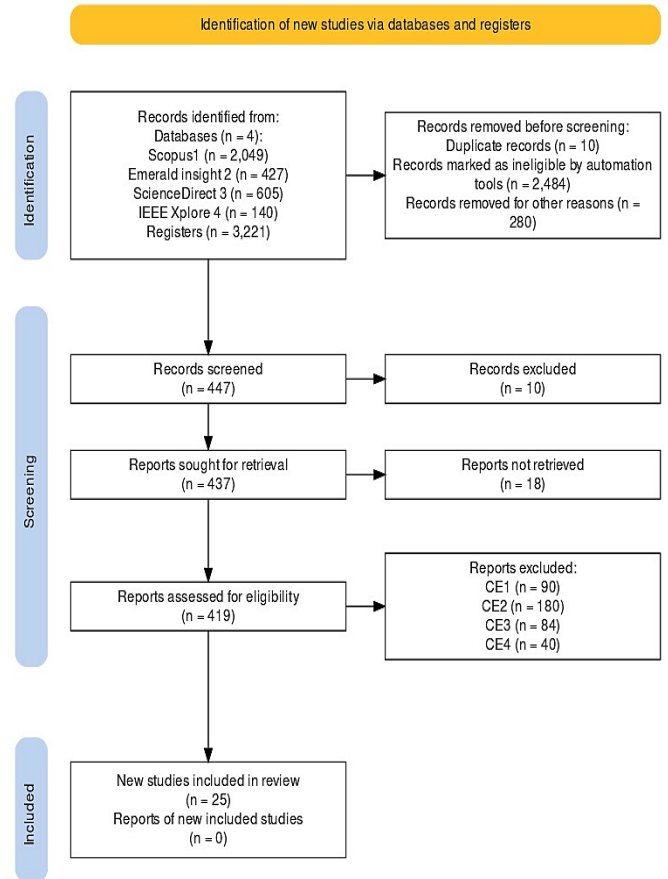


Fig. 2 diagrama prisma del proceso de selección de artículos de la RSL.

(CE.1=90), (CE2=180), (CE.3=84). (CE.4=40)

De los cuales se consideraron solo 25 para la realización de la RSL, utilizando colores para designar la selección, tales como: **(Verde)** con los que se trabajará, **(Rojo)** con los que se descartaran y **(Amarillo)** relacionado a los posibles textos que puedan tener información relevante.

III. RESULTS

Los resultados de la investigación fueron desarrolladas a través de dos tipos de análisis de datos para una mayor organización de la información y entendimiento del lector.

- Datos bibliométricos: Se refiere a los datos bibliográficos, que generalmente son cuantitativos.
- Datos académicos: Se refiere a la información desarrollada por los artículos que son tanto cuantitativos como cualitativos.

A. Resultados bibliométricos

1) Artículos según su tema de investigación

Como resultado diversas investigaciones que realizan estudios sobre las nuevas innovaciones que se están aplicando actualmente en el sector industrial de la transformación del cacao. En la Fig. 3, se muestra la organización de la información recaudada previamente.

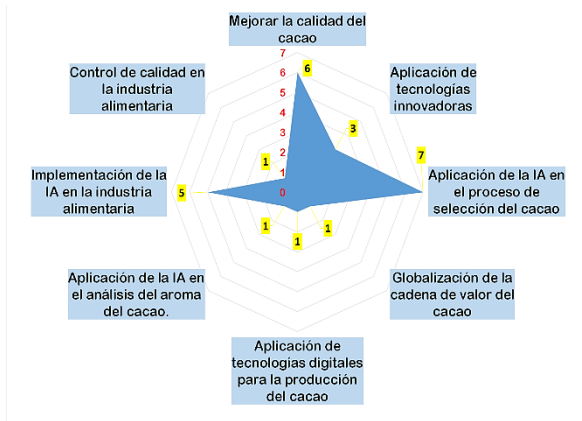


Fig. 3 Cantidad de artículos según su tema de investigación.

Se agrupó por temas en común encontrando que 6 de los artículos seleccionados desarrollan temas centrados en mejoras de calidad del insumo principal (cacao), lo cual permite la identificación de las mejoras tanto en sus procesos de cultivo y producción. Así mismo, 3 de los artículos describen las aplicaciones de tecnologías innovadoras, 7 artículos se centra en la aplicación de inteligencias artificiales (IA) del proceso de selección del cacao, 1 artículo desarrolla el tema de globalización de la cadena de valor del cacao, 1 artículo desarrolla el tema de aplicación de tecnologías digitales para la producción del cacao, 1 artículo se basa en la aplicación de una IA en el análisis del aroma del cacao, 5 artículos se basa en la implementación de IA en la industria alimentaria, y finalmente 1 artículo detalla el control de calidad en la industria alimentaria.

Esta identificación, permite que se desarrolle los más eficaz y concisa la revisión sistemática de literatura (RSL).

2) Artículos según base de datos

En la investigación se utilizó base de datos como Scopus; Emerald Insight, ScienceDirect e IEEE XPLORE detallando los resultados obtenidos como se presenta en la Fig. 4. Para mayor entendimiento del lector se le asignó también la cantidad en el que representa en porcentaje.

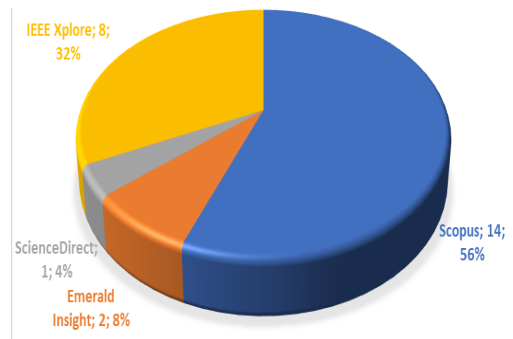


Fig. 4 Cantidad de artículos según su base de datos.

3) Artículos según el año de publicación

También se pudo organizar las investigaciones seleccionada por criterios de años; para una mejor análisis y comprensión del lector, los cuales abarcan desde el 2018 hasta la actualidad; se considera ese rango porque a partir de esos años el nivel de investigaciones fueron en crecimiento, siendo el año con más participación de artículos el 2023 como se presenta en la Fig. 5.

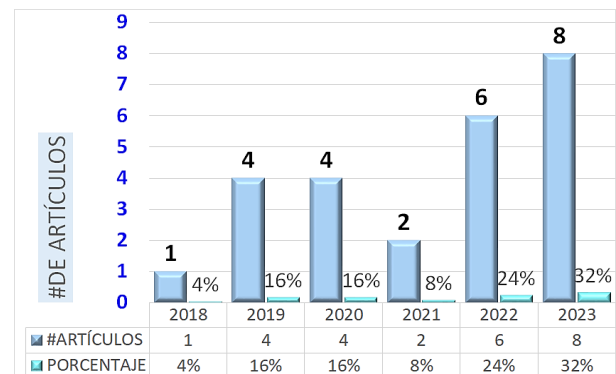


Fig. 5 Cantidad de artículos según su año de publicación.

4) Artículos según su país de publicación

En el desarrollo de la revisión sistemática de literatura los países participantes se pueden mostrar en la Fig. 6.

Siendo los países de Polonia y China con más cantidad de

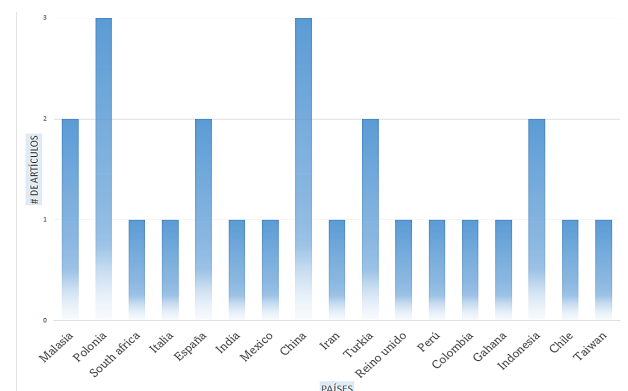


Fig. 6 Cantidad de artículos por país de publicación.

artículos seleccionados según su origen de publicación, en el caso de China su inclinación por el incremento de investigaciones relacionados a temas de IA, tecnologías innovadoras y automatizadas, radica en que una de sus estrategias aplicadas por el gobierno es la implementación de IA con la finalidad de mejorar su competitividad en el exterior [10] Posteriormente, Malasia, España, Turquía e Indonesia con 2 artículos cada uno, a continuación, le siguen Sudáfrica, Reino Unido, Perú, Colombia, Ghana, Chile y Taiwán con un artículo por cada país.

B. Resultados académicos

1) Artículos según revista, página de publicación

Otro criterio utilizado para la organización de la información recaudada está basado en la distribución respecto a las revistas en las que fueron publicadas siendo Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) con una participación de 9 artículos luego le sigue IEEE Xplore con 8 artículos y los restantes con un artículo como se muestra en la Fig. 7.

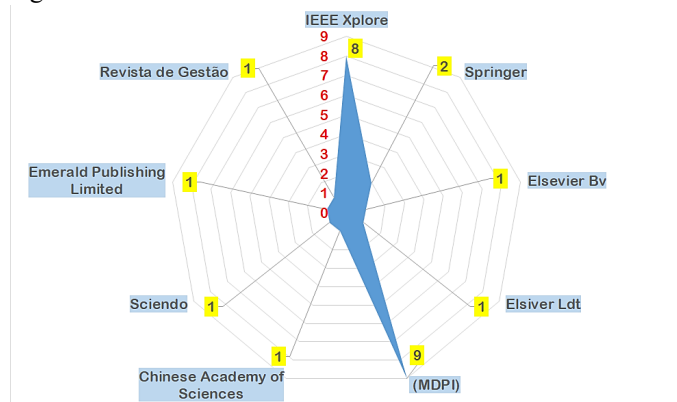


Fig. 7 Cantidad de artículos según revista o página de publicación.

Se pudo identificar que actualmente se viene implementando IA en las industrias alimentarias [11]–[16] en sus diferentes procesos productivos como en la selección del grano de cacao, identificando las características apropiadas para la obtención de productos de calidad, también se encuentra en crecimiento la implementación de IA en procesos agrícolas [4], [9], [11], [17]–[20], desde el sistema de irrigación de la planta, mejorando así la calidad del agua, el suelo y las condiciones climáticas y su uso sostenible de estos recursos.

También se viene implementando inteligencia automatizada artificiales en el proceso productivo, como son la lengua electrónica, que consiste en un dispositivo a base de sensores que recopilan la información en contacto con la parte física de la materia prima, y procesado por un algoritmo que permite distinguir un patrón de sabores los cuales ayudan a clasificar los granos a seleccionar [13].

Otra inteligencia artificial que se encuentra en vías de implementación es la nariz electrónica [22], la cual permite reconocer olores y aromas basados en un reconocimiento de químicos y facilita el proceso productivo [19].

Para una mejor organización y presentación de la información se plantearon preguntas complementarias que son respondidas a continuación.

2 ¿Qué problemas se han identificado en la industria del cacao?

El gráfico 8, organiza los problemas principales encontrados en el desarrollo de los artículos tal como la inadecuada identificación de la calidad de madurez del cultivo, el cual se refiere a la falta de evaluación precisa de la madurez comercial de los cultivos. [14], [17], [23], [24].

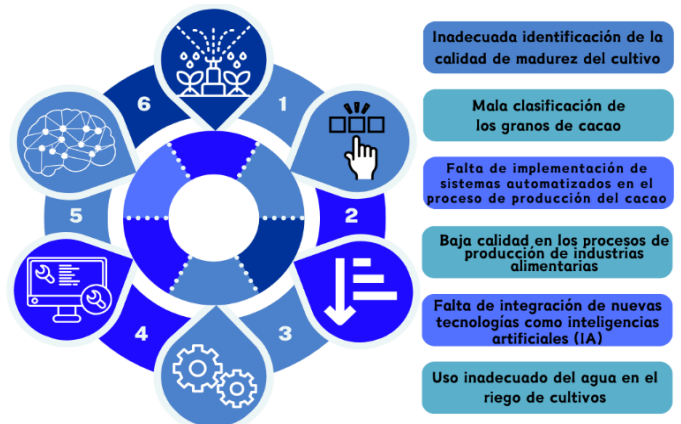


Fig. 8 Problemas identificados en la industria de cacao.

Otro de los temas encontrados, menciona la mala clasificación del grano de cacao [13], [17]. Debido a que actualmente utilizan maquinarias y métodos muy rudimentarios que no les permite obtener la calidad deseada y la implementación de innovaciones en las industrias es muy escasa [11]. Además, se encontró investigaciones que hacen referencia a la falta de implementación de sistemas de automatización en el proceso de producción del cacao [3], esto ha ocasionado un retraso en la industria y genera muchos residuos que en la mayoría de estas industrias no son aprovechados porque no tienen la tecnología adecuada para procesarlo. La baja calidad en los procesos de producción de industrias alimentarias identificó que es uno de los problemas principales que afecta a la realidad de muchos países [22].

3 ¿Cuál es el objetivo del estudio realizado?

Uno de los objetivos del estudio realizado, se basa en la aplicación de métodos modernos para mejorar la calidad de su industria. En tal sentido, la industria del café no se aleja a la del cacao [25] que menciona la ejecución de métodos modernos de aprendizajes automáticos para mejorar la calidad del grano de café, debido a que los algoritmos permite reconocer las anomalías que puede tener el grano entre otros factores que pueden alterar la calidad de producto alimenticio, teniendo en cuenta una aplicación de metodología convolucional neural network (CNN) [26], el cual es un modelo de programación que reconoce imágenes y permite clasificarlas.

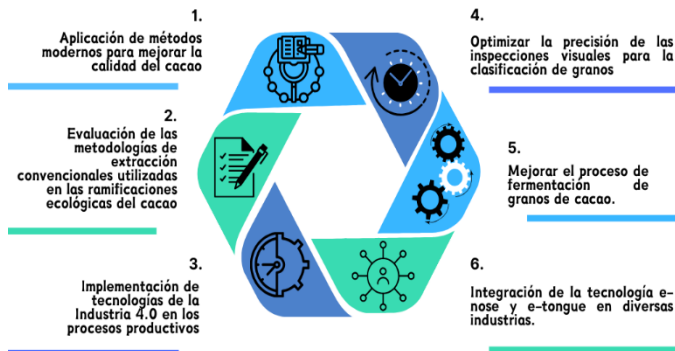


Fig. 9 Objetivo del estudio realizado.

Otro de los objetivos que desarrollaron los artículos, se basa en la implementación de tecnologías de la industria 4.0 en los procesos productivos [9], [27] conocida como cuarta revolución que adopta tecnologías y métodos avanzados muy inteligentes [28].

Además, identificó la integración de tecnologías de e-nose y e-tongue, lengua. En el caso de la tecnología e-nose o nariz electrónica, es un sistema electrónico con la capacidad de distinguir compuestos volátiles, la cual puede identificar un conjunto de olores es decir tratan de imitar la funcionalidad de la nariz de los mamíferos que se viene implementando en muchas industrias [19], [22]. Otro sistema electrónico similar es la lengua electrónica compuesta por unos sensores que permiten reconocer compuesto en sustancias disueltas [22], como se visualiza en la Fig. 9

4 ¿Qué beneficios trae la implementación de innovación?



Fig. 10 Beneficios de la implementación de innovación.

En la figura 10, se puede identificar a detalle los beneficios encontrados en los artículos de revisión, en el cual se encuentra la optimización de procesos, que se traduce en aumentos de producción, mejora de calidad, y evitar tiempos muertos entre operación productivas [9].

El control de calidad permite mejorar la calidad respecto al producto, producción y seguridad alimentaria lo cual garantiza que los clientes de estos productos obtengan los más altos estándares de calidad demandadas por los consumidores [11], [20].

Además, la literatura menciona los beneficios con respecto a mejoras de calidad de agua y suelo [6], favoreciendo la sostenibilidad respecto a estos recursos; evitando su degradación.

Mejorar la calidad de cultivo de cacao también es efecto de aplicar innovaciones en su proceso desde la siembra hasta la producción, favoreciendo producción de productos innovadores [9], [24].

La reducción de tiempos de producción favorece a una mejor productividad [23] basados en una optimización de procesos que hacen referencia a la reducción de tiempos muertos de improductividad.

5 ¿En qué áreas de la industria del cacao se puede aplicar las innovaciones e inteligencias artificiales?

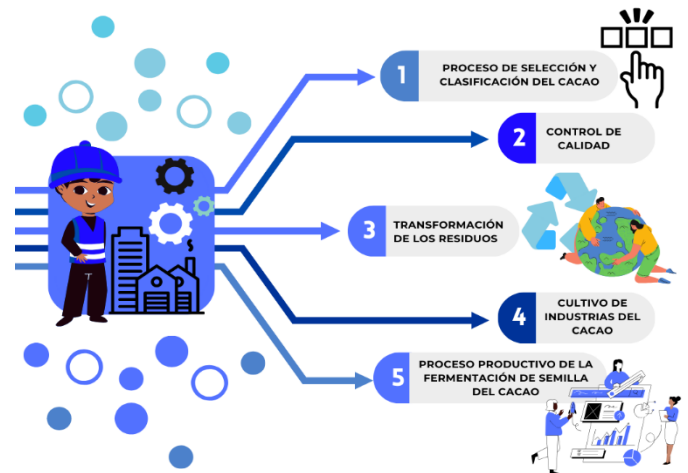


Fig. 11 Áreas de industria del cacao de aplicación de IA.

La Fig. 11, permite organizar la información con respecto a las áreas en la que se puede aplicar innovaciones e inteligencias artificiales.

Como primera área, el proceso de selección y clasificación del cacao se relaciona con las industrias alimentarias basadas en implementación de tecnologías como las, DNN [27], e-nose electrónica y tongue electrónica [22], considerando la segunda área, el cual es el control de calidad enfatizados en el proceso de producción, en la selección de grano de cacao [9], [22] como clasificar correctamente el grano de cacao de su cáscara a través de industrias afines como en el caso de la nuez [18].

En el proceso productivo de fermentación [15] de semillas de cacao se utilizan aprendizajes profundos con DNN que son una extensión de redes neuronales que imita la manera de como el cerebro logra aprender [29].

Además, en el cultivo de la industria del cacao [3] se viene aplicando tecnologías que permiten identificar la madurez del fruto del cacao utilizando diversos métodos de procesamiento aplicando imágenes digitales y el método K-Nearest Neighbor (KNN) que es un algoritmo que permite una correcta clasificación [14].

6 ¿Qué aspectos se están promoviendo en la innovación para que le industria del cacao sea más sostenible?

Los aspectos de sostenibilidad en la industria del cacao son esenciales para tratar diversos desafíos ambientales y sociales, y para garantizar la preservación de la biodiversidad y del entorno; como se visualiza en la Fig. 12. Asimismo, la adopción de prácticas sostenibles y la certificación pueden contribuir a mejorar las condiciones de vida de los productores y garantizar un futuro sostenible para la producción de cacao.



Fig. 12 Aspectos de sostenibilidad en la industria del cacao.

La sostenibilidad en la industria se basa directamente en el medio ambiente y en las áreas de manejo de recursos de cultivos siendo el agua el elemento principal, la cual mediante técnicas de riego permite gestionar este recurso.

En cuanto al cuidado del medio ambiente con tecnologías como YOLOv5 (para detección y conteo de plantas) [5] no destructivas y no invasivas con el medio ambiente [16]

7 ¿Qué aspectos de calidad se han mejorado con las innovaciones en la industria del cacao?

En base a la Fig. 13, la gestión de inteligencias de las energías renovables se centra en aprovechar la reutilización de residuos basados en sistemas de energías sostenibles bajas en carbono para lo cual se identifica la evaluación de la industria 4.0 que mejora la eficiencia y automatización de energías ya que son libres de contaminantes [4]. Además contribuyen al bienestar social y salud, aportando productos con alta calidad y preocupación por ofrecer productos saludables [26].

La sostenibilidad ambiental y la económica relaciona los cultivos automatizados como utilización de drones que favorece en la tarea de la proyección de producción, debido a la rapidez y eficacia para visualizar el estado general de los cultivos que se traduce en un beneficio económico de ahorros para la industria del cacao, además de la calidad del suelo, de la gestión del agua, del riego y del monitoreo de cultivos [6], [24].

VI. DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos, en esta parte se desarrolla una discusión brindando explicaciones e

interpretaciones a las preguntas de investigación planteadas en el desarrollo de la RSL.

A. RQ1: ¿Cuál es la situación actual de la industria del cacao?

En la investigación realizada se pudo identificar estudios sobre el análisis y la implementación de herramientas de automatización a base de aprendizajes automáticos, aplicados en los procesos de separación de cáscara del café [26], procesos de producción cultivo y manejo sostenibles de recursos como el agua y suelo [24]. Además, la literatura científica también aporta información donde explica la necesidad de clasificar el grano de cacao de forma precisa y confiable [17]



Fig. 13 Aspectos de calidad mejorados en la industria del cacao.

También se hace mención que la implementación de inteligencias artificiales beneficia en la agricultura especialmente a los pequeños agricultores, ayudando a combatir cambios climáticos como es en países en desarrollo como Costa de marfil [5].

No obstante, el factor que lleva a un lento crecimiento en las industrias es debido a que es un tema nuevo para una gran parte de estas especialmente en las pequeñas industrias que aún siguen vigentes con sus procesos rudimentarios, considerando que hay casos como Perú en la localidad de Chazuta, en la región de San Martín, en donde el gobierno decidió colaborar con el desarrollo e internacionalización de cacao y chocolate [20].

B. RQ2: ¿Qué tipo de innovaciones se han aplicado en la industria del cacao?

En la información recauda en la investigación se ha podido encontrar inteligencias artificiales que ayudan en los procesos de cultivo, gestión de agua, suelo, visión por computadora de imágenes a través de un dron 4k para visualizar el grado de madurez del cacao [16].

También en los procesos de producción que permiten clasificar el grano de cacao y de industrias similares como la del café y el proceso de separación de su cáscara, calidad de productos [22], el proceso de fermentación del cacao [15].

C. RQ3: ¿Cuál es el impacto de la industria del cacao en términos de sostenibilidad y calidad?

En la actualidad las innovaciones como implementaciones de inteligencias artificiales en muchas industrias, se aplican con la finalidad de mejorar procesos, calidad, aumentar la producción, y realizar un uso sostenible de los recursos que se utilizan como materias primas lo cual favorece en el cuidado del medio ambiente.

Como se menciona las implementaciones de innovaciones en la industria del cacao y granos afines como el maíz y café benefician al medio, como en temas agrícola, de no erosionar el suelo, mejorar la calidad de agua para el riego.

D. Limitaciones

En el proceso de la realización de la RSL se encontraron muchas limitaciones como:

Que muchos artículos encontrados en las bases de datos utilizadas, contaban con información relevante en la parte del resumen. Sin embargo, que por política de revistas y/o autores no eran de acceso abierto, lo cual dificultó un poco conseguir datos más específicos sobre el tema abordado.

E. Recomendaciones

Para obtener información científica sobre el cacao es recomendable realizar, búsqueda en base de datos como Scopus, Emerald insight, IEEE Explore, Science direct, Web of science.

Se recomienda abordar temas con gran cantidad de información enfocados en las industrias de granos y cereales; ya que son industrias muy parecidas que tienen procesos muy similares lo cual facilita la adecuación de estas innovaciones a sus propios procesos; lo cual acelerará la búsqueda sobre información de la industria del cacao

La búsqueda de artículos que desarrollen, temas tratados en la organización internacional del cacao (ICCO)[30].

Por otro lado; se recomienda la formación de cooperativas entre pequeños agricultores va influir bastante en la implementación de innovaciones automatizadas para una producción más sostenible[31].

Se sugiere que las pequeñas industrias como del maíz, café, trigo, cebada cacao y demás granos implementar tecnologías como las mencionadas en la RSL, ya que aportara beneficios tanto productivos, económicos y medioambientales, como las que se detalla en la Fig. 14.

VI. CONCLUSIONES

La investigación realizada en este trabajo tiene como objetivo principal analizar las innovaciones en la industria del cacao, específicamente en la transformación del cacao y en la fabricación de chocolates, con el fin de mejorar la calidad del producto y la sostenibilidad del proceso.

La implementación de innovaciones tecnológicas y prácticas sostenibles en la industria del cacao en África es crucial para mejorar la calidad de los productos, aumentar la competitividad en el mercado internacional y contribuir al desarrollo económico sostenible del continente.



Fig. 14 Inteligencias aplicadas en la industria del cacao.

La innovación en la industria del cacao ha permitido mejorar la sostenibilidad y calidad del producto, especialmente en los últimos años (2018-2023).

Los resultados de la investigación también revelaron problemas en la industria del cacao, como la inadecuada identificación de la calidad de madurez del cultivo, la mala clasificación del grano de cacao, y la falta de implementación de sistemas de automatización en el proceso de producción.

Para abordar estos problemas, se están desarrollando soluciones como la nariz y la lengua electrónica, que son IA compuestas por sensores que permiten identificar características eléctricas de la materia prima.

Por último, en términos de sostenibilidad, las innovaciones han promovido el cuidado del medio ambiente y la gestión sostenible de los recursos, como el agua y el suelo. Además, la gestión de energías renovables ha favorecido la sostenibilidad económica y ambiental, promoviendo el uso de energías sostenibles y bajas en carbono.



Fig. 15 Conclusiones definidas.

TABLA II
ARTÍCULOS TOTALES

#Ref	Authors	Country	Editorial	Year	Technology
[1]	Mavani N.R.; Ali J.M.; Othman S.; Hussain M.A.; Hashim H.; Rahman N.A.	Malasia	Springer	2022	Nariz (E-nose), lengua electrónica (E-tongue), infrarrojo cercano espectroscopia (NIRS) y sistema de visión por computadora (CVS)
[2]	Przybył, K.; Gawrysiak-Witulska M.; Bielska P.; Rusinek R.; Gancarz M.; Dobrzański B., Jr.; Siger	Polonia	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	2023	Neuronal convolucional (CNN) adecuada
[3]	Putra NR, Yustisia Y, Heryanto RB, Asmaliyah A, Miswanti M, Rizkiyah DN, Yunus MA, Irianto I, Qomariyah L, Rohman GA	South African	Elsevier BV	2023	La extracción asistida por microondas (MAE)
[4]	J. A. M. Galindo; J. E. C. Rosal; J. F. Villaverde	Kota Kinabalu, Malaysia	IEEE Xplore	2022	Modelo de algoritmo Support Vector Machine (SVM)
[5]	Ferraris S.; Meo R.; Pinardi S.; Salis M.; Sartor G.	Turyn, Italia	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	2023	Neuronales profundas (YOLOv5m)
[6]	Rebollo-Hernanz M.; Aguilera Y.; Gil-Ramírez A.; Benítez V.; Cañas S.; Braojos C.; Martín-Cabrejas M.A.	España	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	2023	Arquitectura de red neuronal profunda (CIWA-net)
[7]	Lopes J.F.; da Costa V.G.T.; Barbin D.F.; Cruz-Tirado L.J.P.; Baeten V.; Barbon Junior S.	India	Elsiver Ltd	2022	Aprendizaje profundo CNN Y DNN

[8]	Vallarta-Serrano S.I.; Santoyo-Castelazo E.; Santoyo E.; García-Mandujano E.O.; Vázquez Sánchez H.	Mexico	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	2023	Tecnologías sostenibles en la industria 4.0
[9]	Kang Z.; Zhao Y.; Chen L.; Guo Y.; Mu Q.; Wang S.	China	Springer	2022	Aprendizaje automático
[10]	An M.; Cao C.; Wu Z.; Luo K.	China	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	2022	Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR), una máquina de vectores de soporte (SVM)
[11]	García-L.; Parra L.; Jimenez J.M.; Lloret J.; Lorenz P.	España	MDPI AG	2020	WSN e LOT
[12]	Gajdzik B.; Grabowska S.; Saniuk S.	Polonia	MDPI AG	2021	Implementación de tecnologías de la industria 4.0
[13]	Salimi M.; Pourdarbani R.; Nouri B.A.	Iran	Sciencedirect	2020	La automatización de un software de gestión permanente
[14]	Karakaya D.; Ulucan O.; Turkan M.	Turkía	Chinese Academy of Sciences	2020	nariz electrónica (abreviatura EN, enose, e-nose)
[15]	S. Musah; T. D. Medeni; D. Soyulu	Turkía	IEEE Xplore	2019	Inteligencia de la cadena de suministro Visibilidad Plataforma Global de Trazabilidad Blockchain tecnología blockchain
[16]	Asokan DR, Huq FA, Smith CM, Stevenson M	Reino Unido	Emerald Publishing Limited	2022	Big Data Analytics (BDA), Digital twins (DT), Augmented Reality (AR), Blockchain, 3D printing (3dp), Internet of things (IoT)
[17]	Cajavilca AC, Tostes M	Perú	Revista de Gestão	2019	Monitoreo automatizado

[18]	C. Cruz; E. Grados; G. L. Rosa; J. Valdiviezo; J. Soto	Colombia	IEEE Xplore	2023	Imágenes hiperespectrales y algoritmos de Machine Learning
[19]	O. Appiah; E. M. Martey; C. B. Ninfaakanga; M. A. Agangiba	Ghana	IEEE Xplore	2021	Tecnología IoT, metodología de clasificación que emplea SVM, algoritmo genético (GA)
[20]	H. Y. Riskiawan; T. D. Puspitasari; F. I. Hasanah; N. D. Wahyono; M. F. Kurnianto	Indonesia	IEEE Xplore	2018	Algoritmo kNN
[21]	J. Castillo; I. BelupÃ©; W. IpanaquÃ©	Chile	IEEE Xplore	2019	Sistemas de aiyomatixaci3n
[22]	Y. Ekawaty; Indrabayu; I. S. Areni	Indonesia	IEEE Xplore	2019	Dron 4k, la visi3n artificial
[23]	M. Quayson; C. Bai; J. Sarkis	China	IEEE Xplore	2020	Scripts de programaci3n, Las tecnologÃ­as digitales como sensores, drones, sat3lites y blockchain
[24]	Sigalingging X.; Prakosa S.W.; Leu J.S.; Hsieh H.-Y.; Avian C.; Faisal M.	Taiwan	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	2023	Red de adaptaci3n selectiva SCANET
[25]	OsmÃ³Iska E.; Stoma M.; StarekWÃ³jczicka A.	Polonia	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	2023	Nariz electr3nica

En la Tabla II, se organiza la totalidad de los artculos seleccionados en su orden correspondiente; adem3s se incluyen datos importantes de las investigaciones como los autores, fecha de publicaci3n, editorial o p3gina de publicaci3n, aÃ±o de publicaci3n, DOI, tipo de texto y fuente.

La realizaci3n de esta RSL ha permitido poder comprender y analizar las innovaciones que se viene aplicando en varios paÃ­ses donde la producci3n del cacao en abundante; sin embargo, por desconocimiento y el reci3n surgimiento de estas tecnologÃ­as; que tienen un lento crecimiento; se recomienda usos de estas innovaciones tecnol3gicas en los diferentes procesos que abarca esta industria; como se puede organizar en la Fig.16.

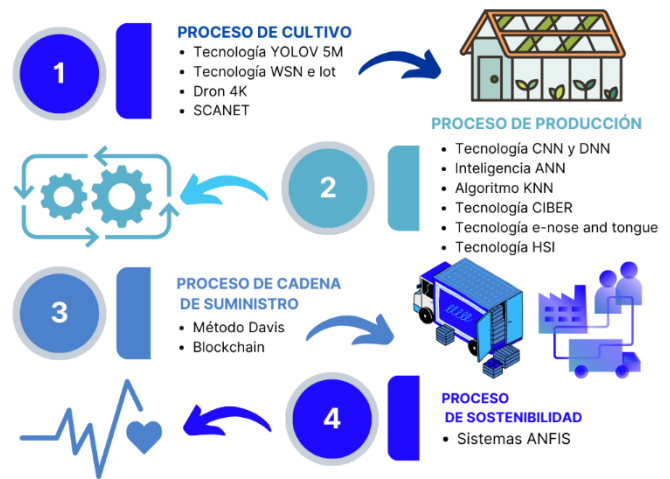


Fig. 16 Procesos en la industria del cacao.

REFERENCIAS

- [1] K. Akpoti, M. Demb3lé, G. Forkuor, E. Obuobie, T. Mabhaudhi, and O. Cofie, "Integrating GIS and remote sensing for land use/land cover mapping and groundwater potential assessment for climate-smart cocoa irrigation in Ghana," *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, p. 16025, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-43286-5.
- [2] P. Amankwaa-Yeboah *et al.*, "Paradigms Shaping the Adoption of Irrigation Technologies in Ghana," in *Handbook of Irrigation Hydrology and Management: Irrigation Case Studies*, CRC Press, 2023, pp. 363–388. doi: 10.1201/9781003353928-25.
- [3] S. Musah, T. D. Medeni, and D. Soyulu, "Assessment of Role of Innovative Technology through Blockchain Technology in Ghana's Cocoa Beans Food Supply Chains," *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2019 - Proceedings*, Oct. 2019, doi: 10.1109/ISMSIT.2019.8932936.
- [4] S. I. Vallarta-Serrano, E. Santoyo-Castelazo, E. Santoyo, E. O. GarcÃ­a-Mandujano, and H. V3zquez-S3nchez, "Integrated Sustainability Assessment Framework of Industry 4.0 from an Energy Systems Thinking Perspective: Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 14, p. 5440, Jul. 2023, doi: 10.3390/en16145440.
- [5] S. Ferraris, R. Meo, S. Pinarci, M. Salis, and G. Sartor, "Machine Learning as a Strategic Tool for Helping Cocoa Farmers in C3te D'Ivoire," *Sensors*, vol. 23, no. 17, p. 7632, Sep. 2023, doi: 10.3390/s23177632.
- [6] L. GarcÃ­a, L. Parra, J. M. Jimenez, J. Lloret, and P. Lorenz, "IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and iot systems for irrigation in precision agriculture," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 4, p. 1042, Feb. 2020, doi: 10.3390/s20041042.
- [7] D. Carrizo, C. Moller, D. Carrizo, and C. Moller, "Methodological structures of systematic literature review in software engineering: a systematic mapping study," *Ingeniare. Revista chilena de ingenierÃ­a*, vol. 26, pp. 45–54, 2018, doi: 10.4067/S0718-33052018000500045.
- [8] A. Tosto, A. Morales, E. Rahn, J. B. Evers, P. A. Zuidema, and N. P. R. Anten, "Simulating cocoa production: A review of modelling approaches and gaps," *Agric Syst*, vol. 206, p. 103614, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.agsy.2023.103614.
- [9] D. R. Asokan, F. A. Huq, C. M. Smith, and M. Stevenson, "Socially responsible operations in the Industry 4.0 era: post-COVID-19 technology adoption and perspectives on future research," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 42, no. 13, pp. 185–217, 2022, doi: 10.1108/IJOPM-01-2022-0069/FULL/PDF.
- [10] "PolÃ­ticas cientÃ­ficas de IA en China – IDEES." Accessed: Dec. 02, 2023. [Online]. Available: <https://revistaidees.cat/es/politiques-cientifiques-dia-a-la-xina/>

- [11] M. Salimi, R. Pourdarbani, and B. A. Nouri, "Factors Affecting the Adoption of Agricultural Automation Using Davis's Acceptance Model (Case Study: Ardabil)," *Acta Technologica Agriculturae*, vol. 23, no. 1, pp. 30–39, Mar. 2020, doi: 10.2478/ata-2020-0006.
- [12] C. Cruz, E. Grados, G. La Rosa, J. Valdiviezo, and J. Soto, "Band Reduction of the Spectral Signature for the Determination of Models Based on Machine Learning and Spectroscopy Using Hyperspectral Imaging in Cocoa Beans," *2023 IEEE Colombian Conference on Applications of Computational Intelligence, ColCACI 2023 - Proceedings*, 2023, doi: 10.1109/ColCACI59285.2023.10225887.
- [13] O. Appiah, E. M. Martey, C. B. Ninfaakanga, and M. A. Agangiba, "Content-Based Image Retrieval Framework for Classification of Cocoa Beans," *IEEE International Conference on Adaptive Science and Technology, ICAST*, vol. 2021–November, 2021, doi: 10.1109/ICAST52759.2021.9682061.
- [14] H. Y. Riskiawan, T. D. Puspitasari, F. I. Hasanah, N. D. Wahyono, and M. Fatoni Kurnianto, "Identifying Cocoa ripeness using K-Nearest Neighbor (KNN) Method," *Proceedings - 2018 International Conference on Applied Science and Technology, iCAST 2018*, pp. 354–357, Oct. 2018, doi: 10.1109/ICAST1.2018.8751633.
- [15] J. Castillo, I. Belupu, and W. Ipanaque, "Implementation of a stainless steel prototype to improve the fermentation of cocoa beans," *2021 IEEE International Conference on Automation/24th Congress of the Chilean Association of Automatic Control, ICA-ACCA 2021*, Mar. 2021, doi: 10.1109/ICAACCA51523.2021.9465312.
- [16] Y. Ekawaty, Indrabayu, and I. S. Areni, "Automatic cacao pod detection under outdoor condition using computer vision," *2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering, ICITISEE 2019*, pp. 31–34, Nov. 2019, doi: 10.1109/ICITISEE48480.2019.9003733.
- [17] J. A. M. Galindo, J. E. C. Rosal, and J. F. Villaverde, "Ripeness Classification of Cacao Using Cepstral-Based Statistical Features and Support Vector Machine," *4th IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology, IICAIET 2022*, 2022, doi: 10.1109/IICAIET55139.2022.9936807.
- [18] M. An, C. Cao, Z. Wu, and K. Luo, "Detection Method for Walnut Shell-Kernel Separation Accuracy Based on Near-Infrared Spectroscopy," *Sensors*, vol. 22, no. 21, p. 8301, Nov. 2022, doi: 10.3390/s22218301.
- [19] D. Karakaya, O. Ulucan, and M. Turkan, "Electronic Nose and Its Applications: A Survey," *International Journal of Automation and Computing*, vol. 17, no. 2, pp. 179–209, Apr. 2020, doi: 10.1007/s11633-019-1212-9.
- [20] A. C. Cajavilca and M. Tostes, "Chazuta: subnational governments and internationalization of the agro-industrial value chain," *Revista de Gestao*, vol. 26, no. 4, pp. 340–351, Dec. 2019, doi: 10.1108/REGE-10-2018-0098/FULL/PDF.
- [21] Z. Kang, Y. Zhao, L. Chen, Y. Guo, Q. Mu, and S. Wang, "Advances in Machine Learning and Hyperspectral Imaging in the Food Supply Chain," *Food Engineering Reviews*, vol. 14, no. 4, pp. 596–616, Dec. 2022, doi: 10.1007/s12393-022-09322-2.
- [22] E. Osmólska, M. Stoma, and A. Starek-Wójcicka, "Juice Quality Evaluation with Multisensor Systems—A Review," *Sensors*, vol. 23, no. 10, p. 4824, May 2023, doi: 10.3390/s23104824.
- [23] M. Quayson, C. Bai, and J. Sarkis, "Technology for Social Good Foundations: A Perspective from the Smallholder Farmer in Sustainable Supply Chains," *IEEE Trans Eng Manag*, vol. 68, no. 3, pp. 894–898, Jun. 2021, doi: 10.1109/TEM.2020.2996003.
- [24] X. Sigalingging, S. W. Prakosa, J. S. Leu, H. Y. Hsieh, C. Avian, and M. Faisal, "SCANet: Implementation of Selective Context Adaptation Network in Smart Farming Applications," *Sensors*, vol. 23, no. 3, p. 1358, Feb. 2023, doi: 10.3390/s23031358.
- [25] N. R. Putra *et al.*, "Advancements and challenges in green extraction techniques for Indonesian natural products: A review," *S Afr J Chem Eng*, vol. 46, pp. 88–98, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.SAJCE.2023.08.002.
- [26] K. Przybył *et al.*, "Application of Machine Learning to Assess the Quality of Food Products—Case Study: Coffee Bean," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 19, p. 10786, Oct. 2023, doi: 10.3390/app131910786.
- [27] B. Gajdzik, S. Grabowska, and S. Saniuk, "A theoretical framework for industry 4.0 and its implementation with selected practical schedules," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 4, p. 940, Feb. 2021, doi: 10.3390/en14040940.
- [28] N. R. Mavani, J. M. Ali, S. Othman, M. A. Hussain, H. Hashim, and N. A. Rahman, "Application of Artificial Intelligence in Food Industry—a Guideline," *Food Engineering Reviews*, vol. 14, no. 1, pp. 134–175, Mar. 2022, doi: 10.1007/s12393-021-09290-z.
- [29] R. Essah, D. Anand, and S. Singh, "An intelligent cocoa quality testing framework based on deep learning techniques," *Measurement: Sensors*, vol. 24, p. 100466, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.measen.2022.100466.
- [30] H. Lee and M. S. Park, "Transformation of the global governance in the cocoa sector with three characteristics: Diversification, flexibilization, and coordination," *For Policy Econ*, vol. 153, p. 102977, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.forpol.2023.102977.
- [31] A. Garbely and E. Steiner, "Understanding compliance with voluntary sustainability standards: a machine learning approach," *Environ Dev Sustain*, vol. 25, no. 10, pp. 11209–11239, Oct. 2023, doi: 10.1007/s10668-022-02524-y.