



Modelo de producción basado en los pilares de la industria 5.0 para la agroindustria de tisanas: utilizando una revisión sistemática

Production model based on the pillars of Industry 5.0 for the herbal tea agroindustry: using a systematic review

Modelo de produção baseado nos pilares da Indústria 5.0 para a agroindústria de chás de ervas: utilizando uma revisão sistemática

Rosa Adela Chango Tiban ^I

rchango5190@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-3202-7458>

Freddy Roberto Lema Chicaiza ^{II}

fr.lema@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5987-8975>

Luis Alberto Morales Perrazo ^{III}

luisamorales@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0921-262X>

Franklin Geovanny Tigre Ortega ^{IV}

fg.tigre@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0254-029X>

Correspondencia: rchango5190@uta.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 09 de abril de 2025 * **Aceptado:** 16 de mayo de 2025 * **Publicado:** 12 de junio de 2025

- I. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Carrera de Ingeniería Industrial, Ambato, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Carrera de Ingeniería Industrial, Ambato, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Carrera de Ingeniería Industrial, Ambato, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Carrera de Ingeniería Industrial, Ambato, Ecuador.

Resumen

La agroindustria de tisanas, en crecimiento dentro del sector alimentario enfrenta desafíos constantes relacionados con la eficiencia productiva, el uso sostenible de los recursos y el bienestar de su fuerza laboral. Este artículo busca proponer un modelo de producción basado en los pilares de la Industria 5.0 (sostenibilidad, enfoque en el ser humano y resiliencia), adaptado a toda la cadena agroindustrial, desde el cultivo hasta el almacenamiento. Para respaldar este objetivo, se realizó una revisión sistemática siguiendo la metodología Fink, analizando 70 artículos científicos publicados entre 2020 y 2025. La revisión destacó modelos teóricos clave, como la economía circular, el análisis multicriterio y el modelo bioeconómico, que ofrecen fundamentos conceptuales para cada pilar. Además, se identificaron elementos esenciales, como las tecnologías limpias, los procesos inteligentes y los principios de desarrollo humano, todos orientados al fortalecimiento del sector. Como resultados, se desarrolló un modelo teórico que integra cada pilar de la Industria 5.0 en un marco coherente adaptado a las realidades del sector. El estudio concluye que la implementación de dicho modelo ofrece una vía estratégica para transformar el sector en uno más sostenible, centrado en las personas y resiliente, contribuyendo a su desarrollo a largo plazo.

Palabras clave: modelo; sostenibilidad; resiliencia; enfoque al ser humano; impactos; agroindustria.

Abstract

The herbal tea agroindustry, a growing sector within the food sector, faces constant challenges related to productive efficiency, sustainable resource use, and the well-being of its workforce. This article seeks to propose a production model based on the pillars of Industry 5.0 (sustainability, human-centeredness, and resilience), adapted to the entire agroindustrial chain, from cultivation to storage. To support this objective, a systematic review was conducted following the Fink methodology, analyzing 70 scientific articles published between 2020 and 2025. The review highlighted key theoretical models, such as the circular economy, multicriteria analysis, and the bioeconomic model, which offer conceptual foundations for each pillar. Furthermore, essential elements were identified, such as clean technologies, smart processes, and human development principles, all aimed at strengthening the sector. As a result, a theoretical model was developed that integrates each pillar of Industry 5.0 into a coherent framework adapted to the realities of the sector.

The study concludes that implementing this model offers a strategic path to transforming the sector into a more sustainable, people-centered, and resilient one, contributing to its long-term development.

Keywords: model; sustainability; resilience; human-centered approach; impacts; agribusiness.

Resumo

A agroindústria de chás de ervas, um setor em crescimento dentro do setor alimentício, enfrenta desafios constantes relacionados à eficiência da produção, ao uso sustentável de recursos e ao bem-estar de sua força de trabalho. Este artigo busca propor um modelo de produção baseado nos pilares da Indústria 5.0 (sustentabilidade, foco no ser humano e resiliência), adaptado a toda a cadeia agroindustrial, do cultivo ao armazenamento. Para apoiar esse objetivo, foi realizada uma revisão sistemática seguindo a metodologia Fink, analisando 70 artigos científicos publicados entre 2020 e 2025. A revisão destacou modelos teóricos-chave, como a economia circular, a análise multicritério e o modelo bioeconômico, que oferecem bases conceituais para cada pilar. Além disso, foram identificados elementos essenciais, como tecnologias limpas, processos inteligentes e princípios de desenvolvimento humano, todos voltados para o fortalecimento do setor. Como resultado, foi desenvolvido um modelo teórico que integra cada pilar da Indústria 5.0 em uma estrutura coerente e adaptada às realidades do setor. O estudo conclui que a implementação deste modelo oferece um caminho estratégico para transformar o setor em um setor mais sustentável, centrado nas pessoas e resiliente, contribuindo para o seu desenvolvimento a longo prazo.

Palavras-chave: modelo; sustentabilidade; resiliência; abordagem centrada no ser humano; impactos; agronegócio.

Introducción

La agroindustria de tisanas ha conquistado a millones de consumidores dentro del mercado de infusiones naturales, diversificando su producción con nuevas líneas de bioproductos con mayor valor agregado [1]. Asimismo, este auge ha puesto en manifiesto varios desafíos que comprometen la sostenibilidad de sus procesos productivos, tales como el uso ineficiente de recursos naturales, la emisión de gases durante la etapa de cultivo, procesamiento y transporte, así como la limitada implementación de tecnologías limpias y procesos automatizados en la cadena de suministro [2].

En función de estos desafíos, la agroindustria ha iniciado un proceso de transformación en sus sistemas productivos, explorando nuevas técnicas e implementando tecnología para adaptarse a las nuevas demandas y responder a las exigencias del mercado. En este contexto, la Industria 5.0 surge como un marco que permite integrar tecnologías avanzadas, como el uso de energías renovables y la digitalización de procesos para mejorar la eficiencia operativa y garantizar un desarrollo más equilibrado y sostenible del sector agroindustrial [3].

La Industria 5.0 impulsa la agroindustria al combinar tecnología avanzada con la fuerza laboral humana, optimizando la eficiencia y sostenibilidad del sector [4]. Esto permite diversificar la producción hacia bioproductos y biocombustibles, alineándose con los principios de sostenibilidad establecidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [5]. Asimismo, la adopción de herramientas inteligentes fortalece los sistemas agroindustriales mediante prácticas de economía circular [6], promoviendo un uso eficiente de recursos, reducción de residuos y transición hacia energías renovables.

Más allá del ámbito ambiental y productivo, la Industria 5.0 también fomenta el desarrollo humano dentro del sector agroindustrial, al promover condiciones laborales justas, priorizando el bienestar social y minimizando el impacto ambiental [7]. Igualmente, impulsa la resiliencia mediante la gestión eficiente, el comercio justo y la capacidad de respuesta ante disrupciones en la cadena de suministros [8]. Estos elementos permiten maximizar procesos, garantizar competitividad y adaptarse a los desafíos globales [9]. No obstante, los modelos tradicionales de la agroindustria de tisanas no responden integralmente a estas nuevas exigencias.

Por lo tanto, la importancia de la investigación radica en asegurar la sostenibilidad del sector agroindustrial de tisanas en medio de su proceso de transición hacia modelos más eficientes, resilientes y centrados en el ser humano. En este contexto, la presente revisión analiza distintos modelos aplicados en la agroindustria, con el fin de identificar elementos que respondan a los pilares de la Industria 5.0. A partir de estos elementos se construye una propuesta de modelo teórico de producción adaptado a la realidad de la agroindustria de tisanas. Permitiendo que las organizaciones del sector identifiquen oportunidades para integrar dichos principios dentro de la cadena de suministro.

La estructura de este artículo está dividida en cinco secciones, la primera sección es la introducción; la segunda sección describe la metodología utilizada para sustentar el análisis de la literatura, mientras que la tercera sección comprende un análisis crítico descriptivo de los resultados de acuerdo

con las preguntas de investigación. En la cuarta sección se realiza el modelo teórico propuesto, mientras que en la quinta sección se presentan las conclusiones del estudio y se sugieren temas para futuras investigaciones.

Metodología

El presente artículo de revisión se basa en una búsqueda y análisis de la literatura científica relacionada con los modelos de producción alineados a los principios de sostenibilidad, resiliencia y enfoque en el ser humano, en el sector agroindustrial. Para ello se utilizó la metodología de revisión sistemática propuesta por Fink [10], la cual se estructura en siete pasos fundamentales que garantizan rigurosidad en la recopilación, evaluación y análisis de la información.

En el primer paso, correspondiente a la formulación de las preguntas de investigación, se utilizó la estrategia PICO (Población, Intervención, Comparación y Resultado), adaptada al enfoque cualitativo, con el fin de estructurar de manera precisa las interrogantes del estudio. A partir de esta estrategia, se obtiene las siguientes preguntas: a) ¿Qué modelos de producción en la agroindustria han incorporado prácticas de sostenibilidad, resiliencia y enfoque en el ser humano?, b) ¿Qué elementos y características se consideran en un modelo de producción en la agroindustria que incorpore dichos principios? y c) ¿Cuál es el impacto de un modelo de producción enfocado en estos tres pilares en la agroindustria?

Dentro del segundo paso, se llevó a cabo una revisión exploratoria en diversas bases de datos académicas con el fin de delimitar el enfoque temático y evaluar la disponibilidad de estudios relevantes. A partir de esta revisión preliminar, se seleccionaron Scopus y Web of Science como las principales bases de datos para la búsqueda sistemática, dado que ofrecieron mayor cobertura de publicaciones científicas actualizadas, revisadas por pares y con pertinencia directa respecto al objetivo del estudio.

En efecto, el tercer paso correspondió a la construcción de los términos de búsqueda se realizó utilizando operadores booleanos y se formularon combinaciones en inglés que integraran los conceptos clave relacionados con el objeto de análisis. Las palabras clave definidas fueron: “Production models” AND “Industry 5.0”, “Production models” AND “Agribusiness” AND “human focus”, “Production models” AND “Agribusiness” AND “resilience”, “Production models” AND “Agribusiness” AND “sustainability”, “Strategies” AND “technology” AND “production models” AND “agribusiness”, “Element” AND “production models” AND “Industry

5.0”, “Characteristics” AND “production models” AND “Industry 5.0”, “Impact” AND “effects” AND “Industry 5.0” AND “production models”, “Indicators” AND “Industry 5.0” AND “production models”, y “Analysis” AND “cost” AND “Benefit” AND “production models” AND “Industry 5.0”. Estas combinaciones fueron aplicadas de forma estructurada para asegurar la recuperación de estudios que abordaran tanto modelos de producción en el ámbito agroindustrial, como los fundamentos de la Industria 5.0, enfocados en la sostenibilidad, la resiliencia operativa y el enfoque en el ser humano.

En los pasos cuatro y cinco, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión con el fin de depurar y seleccionar la literatura más pertinente. En la Figura 1, se recuperaron un total de 2117 artículos, sobre los cuales se aplicó un primer filtro para eliminar publicaciones duplicadas y estudios que no correspondieran al periodo definido, considerando únicamente investigaciones publicadas desde el año 2020 en adelante. Posteriormente, se realizó una lectura de los títulos para descartar aquellos que no se relacionaban con los objetivos del estudio, seguida de la descarga y revisión de resúmenes y conclusiones. Finalmente, se efectuó una lectura completa de los documentos seleccionados para evaluar su profundidad teórica, metodológica y su aplicabilidad directa al contexto de la agroindustria de tisanas. Tras este proceso secuencial, se obtuvo una muestra final de 70 artículos considerados relevantes para la revisión sistemática.

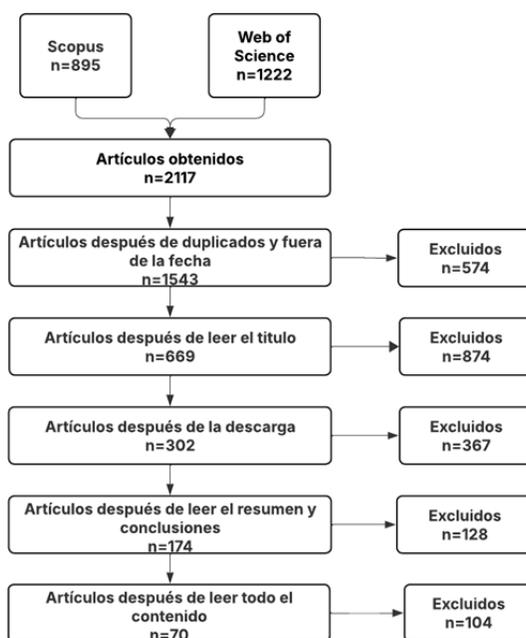


Figura 1 Criterios aplicados en la revisión de literatura

Los pasos seis y siete consistieron en la revisión detallada y el análisis temático del cuerpo bibliográfico seleccionado. Se realizó una lectura crítica y sistemática, clasificando los hallazgos. Esto permitió construir una propuesta preliminar de modelo de producción para la agroindustria de tisanas, fundamentado en los principios de sostenibilidad ambiental, resiliencia operativa y un enfoque centrado en el ser humano.

Resultados

Por consiguiente, se presentan los hallazgos derivados del análisis de la revisión de literatura sobre los modelos de producción agroindustriales. Así mismo tiene como objetivo responder a las interrogantes antes mencionadas ya que se discute los principales riesgos que tiene la agroindustria, así como con la adopción de modelos encontrando eficiencia, sostenibilidad y adaptabilidad dentro del mercado actual. Finalmente, para la propuesta se evalúa los criterios de sostenibilidad, enfoque al ser humano y resiliencia para responder a las necesidades de la cadena de suministro de la agroindustria de tisanas.

Modelos de producción en la agroindustria que integran sostenibilidad, resiliencia y enfoque al ser humano

En las últimas décadas, la expansión de la cadena de suministro del sector agroindustrial ha generado impactos significativos en la sostenibilidad ambiental, por consiguiente, el uso excesivo de fertilizantes, pesticidas y plaguicidas ha aumentado las emisiones de gases de efecto invernadero [11]. A esto se suma las prácticas de monocultivo en extensas áreas agrícolas que han contribuido a la degradación del suelo, por ello se requiere que el sector adopte diversas estrategias sostenibles para la gestión de la tierra [12]. No obstante, la transformación productiva se ve limitada por la escasa disponibilidad de conocimientos técnicos, tecnológicos y respaldo político. En este sentido, la innovación tecnológica se presenta como un elemento clave para mejorar la competitividad del sector y fortalecer su posicionamiento en mercados cada vez más exigentes [13]. Por tanto, se han desarrollado y aplicado distintos modelos sostenibles que promueven un sector responsable con la sociedad y promoviendo la seguridad alimentaria.

Dentro de los modelos de producción sostenibles en la agroindustria los más relevantes son la economía circular, el enfoque estructural y el ciclo de vida. Estos han sido aplicados como respuesta al consumo excesivo de químicos para disminuir el impacto ambiental, la generación de residuos, los desafíos climáticos y el agotamiento de los recursos naturales [14]. Asimismo, el

Triple Bottom-Line (TBL) y el análisis multicriterio ha permitido integrar de forma equilibrada los aspectos económicos, sociales y ambientales, desarrollando una visión integral agroindustrial [15]. Por otro lado, la necesidad de optimizar la cadena de suministro, se han implementado esquemas basados en herramientas tecnológicas avanzadas orientados a la resiliencia. Entre ellos se encuentra el modelo Agricultural Production Systems Simulator (APSIM), los sistemas de agricultura de precisión y el Modelo Basado en Agentes (MBA). Estos enfoques permiten simular dinámicas productivas, anticipar escenarios y superar limitaciones al acceso de recursos estatales. Estas herramientas refuerzan la capacidad adaptativa del sistema agroindustrial, mejorando su eficiencia operativa y minimizar las prácticas agrícolas convencionales [16].

De igual forma, el sector agroindustrial frente a la crisis social, económica y ambiental, se han propuesto enfoques orientados al empoderamiento comunitario, la equidad y la seguridad alimentaria [17]. Así tenemos los modelos de desarrollo rural, organizativos, bioeconómicos y de gobernanza, además el análisis multivariable y el enfoque de agronegocios. Los cuales se enfocan en la desigualdad de recursos estatales, la escasez de suelo, la vulnerabilidad financiera y la explotación intensiva de tierras agrícolas, permitiendo un enfoque centrado en el ser humano [18]. En conjunto, los modelos agroindustriales están alineados hacia un sistema de producción coherente con los principios de la Industria 5.0.

Al examinar 70 artículos, el análisis documental permite sintetizar la información de forma sistemática, para abordar la pregunta de investigación: ¿Qué modelos de producción en la agroindustria han incorporado prácticas de sostenibilidad, resiliencia y enfoque en el ser humano? Este enfoque busca comprender la influencia de los modelos basados en los pilares de la Industria 5.0, que guarden relación directa con el sector agroindustrial. En la **Tabla 1** se aplicó un enfoque temático, lo cual permitió extraer, organizar y clasificar los modelos más relevantes según su aporte conceptual y práctico a los pilares de la Industria 5.0. este proceso metodológico facilitó la identificación de patrones comunes entre los artículos revisados y la selección de aquellos modelos que mostraron mayor aplicabilidad en contextos agroindustriales. Los criterios utilizados por su efectividad justificada, relevancia agroindustrial y frecuencia en la literatura fueron definidos con base a parámetros aceptados por expertos y validados por la consistencia de los hallazgos obtenidos.

Tabla 1 Modelos clave basados en los pilares I5.0

Pilar de Industria 5.0	Modelo	Ventajas	Desventajas	Referencia
Sostenibilidad	Economía circular	Se basa en principios de reducción, reutilización y reciclaje, lo que permite minimizar costos de producción.	Se requiere una transformación dentro de la cadena de suministro con una inversión alta y cambios culturales.	[19]
	Modelos de análisis multicriterio	Permite incorporar criterios múltiples y se adapta a diversas fases de la cadena de suministro.	Es necesario una capacitación previa, requiere de herramientas computacionales.	[20]
Sostenibilidad / Resiliencia	Modelo Ecuaciones Estructurales	Permite modelar fenómenos complejos, evaluar escenarios y fortalece la toma de decisiones a largo plazo.	Es dependiente de los datos y estadísticas, necesita conocimientos técnicos.	[21]
Enfoque humano	Modelo probit multivariable	Incluye variables humanas, optimiza la eficiencia operativa y mejora la distribución de recursos humanos.	Requiere una óptima selección de variables para evitar sesgos en los resultados.	[22]
Resiliencia	Modelo APSIM	Facilita la planificación, permite evaluar los cambios climáticos y optimiza las prácticas agrícolas.	Requiere gran cantidad de datos, su costo es relativamente alto y es necesario conocimientos técnicos.	[23]

Considerando los modelos presentados en la Tabla 1, se observa que los enfoques asociados a la sostenibilidad contribuyen significativamente a la toma de decisiones estratégicas en etapas clave de la cadena agroindustrial. Su aplicación no solo optimiza el uso de recursos, sino que fortalece la resiliencia del sistema y promueve un enfoque centrado en el ser humano. La incorporación de

sus ventajas y desventajas permite evaluar con mayor precisión su viabilidad en contextos reales, aunque algunos modelos enfrentan limitaciones relacionadas con los costos de implementación y la necesidad de conocimientos técnicos. No obstante, en conjunto, estos enfoques ofrecen fundamentos conceptuales y metodológicos que fortalecen la construcción de un análisis integral para la agroindustria de tisanas.

Elementos y características de un modelo de producción con los pilares de Industria 5.0

Los modelos de producción orientados a la agroindustria buscan identificar y aplicar elementos estratégicos, técnicos y humanos que permitan abordar los diversos desafíos del sector agroindustrial. En consecuencia, dichos elementos fortalecen la cadena de suministro y permiten la adaptabilidad al cambio y el bienestar de las partes interesadas [24]. Para lograr estos objetivos, es esencial incorporar tecnologías y prácticas que permitan asegurar la responsabilidad social y ambiental.

En este sentido, los modelos sostenibles se enfocan en la reutilización de los recursos incorporando herramientas de evaluación como el análisis de ciclo de vida y sistemas de monitoreo que permiten ajustar los procesos según las condiciones cambiantes del clima [25]. Así como el uso de energía producida a partir de biomasa y biogás lo que permite el aprovechamiento de desperdicios y residuos orgánicos para convertirlos en energía renovable permitiendo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [26]. Tecnologías como el riego por goteo que permiten medir y reducir la huella hídrica, junto con el rediseño de productos que facilitan la reutilización de materiales y envases biodegradables beneficiando al sector agroindustrial como el medio ambiente [27].

Por otro lado, la resiliencia permite que la agroindustria pueda adaptarse a los cambios imprevistos, como las fluctuaciones climáticas o variaciones del mercado. Destacando elementos de gestión estratégica territorial, que organiza la producción en función de las características locales, fortaleciendo la economía en conjunto [28]. Por ello la adopción de tecnologías agrícolas, como los sistemas de Tecnología de Información (TI) y Tecnología Operativa (TO), que facilita la recopilación de datos en tiempo real. Además de sensores y Big Data permiten el desarrollo de una agroindustria robusta, preparada para resistir y evolucionar frente a incertidumbres [29].

Por su parte el enfoque humano, prioriza la participación de los productores, el acceso a la capacitación técnica y la inclusión de pequeños agricultores mediante modelos colaborativos y holísticos. Este enfoque busca promover el bienestar de los trabajadores, priorizando los objetivos sociales de manera efectiva dentro de los procesos industriales [30]. Asimismo, la implementación

de sistemas de gestión en salud y seguridad ocupacional promueven una cultura preventiva ante accidentes y mejoran la calidad de vida de los trabajadores [31].

Con la finalidad de abordar la segunda pregunta de investigación ¿Qué elementos y características se consideran en un modelo de producción en la agroindustria que incorpore dichos principios? La **Tabla 2** presenta los elementos clave extraídos de los cinco modelos teóricos expuestos en la Tabla 1, seleccionados por su capacidad de responder a los desafíos ambientales, sociales y humanos que enfrenta la agroindustria. Estos elementos no solo derivan de marcos conceptuales, sino que han sido respaldados por evidencia empírica en estudios recientes, cuyos autores coinciden en su fiabilidad y aplicabilidad dentro de entornos agroindustriales. De este modo, los elementos contienen aportes relevantes desde una perspectiva académica y actúan como una base estructural para el diseño del modelo de producción propuesto en esta investigación.

Tabla 2 Elementos clave basados en los pilares 15.0

Pilar de la Industria 5.0	Elemento Clave	Descripción	Fuente
Sostenibilidad	Energía producida a partir de biomasa	Minimiza los daños al medio ambiente al reducir las emisiones de carbono a través de los desechos.	[32], [33]
	Sistemas de riego	Proporciona fuentes y métodos de riego alternativos para optimizar las prácticas de cultivo.	[34], [35], [36]
Enfoque Humano	Capacitación, seguridad y salud	Contribuye al desarrollo de habilidades, mejora la productividad y seguridad en el trabajo.	[3], [37], [38]
Resiliencia	Infraestructura de tecnologías	Integración de tecnologías para mejorar la toma de decisiones, reducción de costos y la adaptabilidad frente a fluctuaciones.	[30], [39], [40]

Considerando los elementos identificados por los autores muestran una concordancia con los pilares de la Industria 5.0, aportando mejoras significativamente el sector agroindustrial. Por ejemplo, la energía a partir de biomasa y los sistemas de riego contribuyen a la sostenibilidad mediante la reducción del impacto ambiental y el uso eficiente del agua. La capacitación en

seguridad y salud fortalece el enfoque humano al mejorar las condiciones laborales y productividad. Asimismo, la infraestructura tecnológica refuerza la resiliencia operativa al optimizar la toma de decisiones frente a condiciones cambiantes.

Finalmente, para abordar la última pregunta de investigación, se presenta los hallazgos sobre el impacto de los modelos con enfoque el sostenible resiliente y humano. Este apartado tiene como propósito exponer sobre los aspectos que contribuyen al sector agroindustrial, así como en los factores que determinan la eficiencia dentro de la cadena de suministro.

Impacto de los modelos con enfoque sostenible, resiliente y humano en la agroindustria

Los modelos con un enfoque sostenible, resiliente y humano en la agroindustria representan una evolución integral dentro del proceso de transición para contribuir con el medio ambiente. Dentro del enfoque de sostenibilidad se evidencia un proceso de transformación energética hacia fuentes renovables como la radiación solar, la energía eólica, la biomasa y el biogás que permiten métodos de gestión energética para proteger al medio ambiente [41]. En la agroindustria, el aprovechamiento de residuos como hojas de té, pasto, frutos de maíz o trigo para la generación de biogás no solo disminuye la acumulación de desechos agrícolas, sino que genera valor agregado y aumenta los ingresos de los productores [42]. Estas prácticas, alineadas con los principios de bioeconomía y el desarrollo sostenible, mejoran la eficiencia de la cadena de suministro y optimizan la producción de cultivos como el café y los cereales [18].

En cuanto al enfoque de resiliencia, se destaca la adopción de tecnologías digitales, inteligencia artificial y la cadena de bloques (Blockchain), que permiten una planificación más precisa, con rápida adaptación a las fluctuaciones del mercado y el cambio climático [43]. Estas tecnologías han demostrado ser clave para mejorar la trazabilidad mediante el mapeo de la cadena de suministro, especialmente en sectores como la agroindustria de la pasta [44]. Asimismo, apoyan la toma de decisiones estratégicas al anticipar escenarios de riesgo y facilitar análisis de costos reales de las actividades agroindustriales. De esta forma se fomenta la colaboración y se fortalece la agilidad en las cadenas de suministro, donde se puede acceder a la información en todo momento [36].

Finalmente, el enfoque humano se posiciona como un pilar diferenciador de la industria 5.0, al colocar a las personas dentro del sistema productivo. Con ello permite un entorno laboral más justo y seguro con prácticas orientadas al desarrollo de habilidades, prácticas técnicas y la participación de las comunidades [45]. Este enfoque también aborda deficiencias sociales en la producción del

arroz, mediante la comprensión del aprendizaje y el acompañamiento técnico. Además, fomenta una sinergia entre agricultores y las partes interesadas, generando un cambio de paradigma en la gestión de los cultivos [27]. La implementación de programas educativos ha favorecido la adopción de buenas prácticas en el cultivo de café y un uso más responsable de fertilizantes, contribuyendo a la salud y el bienestar de los trabajadores [46]. Mientras que las tecnologías inteligentes optimizan procesos y fomentan la colaboración de hombre-maquina, reduciendo desperdicios y adaptándose al mercado [47].

Estudio integral de la cadena de suministro, impactos y desafíos de la agroindustria de tisanas

El análisis de la cadena de suministro de tisanas permite comprender sus impactos y desafíos, fundamentales para orientar mejoras alineadas con la Industria 5.0. Lo cual comprende las siguientes fases: el cultivo de las plantas aromáticas, el procesamiento mediante técnicas que preserven sus propiedades, el empaquetado para su conservación y la distribución local o internacional [48]. Dichas fases están orientadas hacia una agroindustria más sostenible, resiliente y enfocada en el ser humano. En este marco, la Industria 5.0 podría aportar significativamente mediante tecnologías colaborativas, sistemas digitales y soluciones de eficiencia energética, contribuyendo al desarrollo de cada etapa del proceso.

Por otro lado, también es crucial un análisis del proceso productivo, puesto que en el cultivo y procesamiento de las plantas se requiere energía eléctrica y térmica como es en la etapa del deshidratado y el secado, por lo que principalmente se utiliza combustibles fósiles y energía térmica, los cuales contaminan al medio ambiente [33]. Asimismo, los altos volúmenes de consumo de agua, donde se genera una inadecuada gestión del recurso hídrico [49]. Mientras que las prácticas tradicionales de monocultivo intensivo son vulnerables a diversas plagas, lo que provoca el uso de fertilizantes y plaguicidas. Además, una incorrecta dosificación afecta a la calidad de la planta, contribuye a la degradación del suelo y contaminación del agua [50].

Por ello, los principales desafíos del sector se enfatizan en la adopción de tecnologías y técnicas modernas dentro de sus fases productivas. No obstante, la agroindustria está orientada hacia una producción ecológica, donde se promueva el consumo de fertilizantes y plaguicidas sostenibles [35]. A pesar de su crecimiento, el desarrollo social y el bienestar de los trabajadores es fundamental para garantizar condiciones dignas y un salario justo, apoyando la investigación y el desarrollo. Además, las condiciones climáticas cambiantes, como el aumento de las temperaturas y la variabilidad de las precipitaciones, afectan la cantidad y la calidad del producto [51]. Pese a

sus avances, la agroindustria debe reducir su huella de carbono para mantenerse viable a largo plazo.

En este contexto, la incorporación de la Industria 5.0 ofrece soluciones tecnológicas que pueden contrarrestar estos impactos mediante un enfoque más inteligente y sostenible [52]. Por ejemplo, el aprovechamiento de residuos para la generación de bioenergía, la integración del monitoreo de sistemas de riego y del proceso productivo para optimizar el uso de insumos agrícolas, reduciendo la dependencia de químicos. Estos avances representan impactos positivos que permiten reestructurar la cadena de suministro de la agroindustria de tisanas de forma más equilibrada entre la tecnología, el medioambiente y el bienestar humano [53].

Desarrollo del modelo

En función a la cadena de suministro de la agroindustria de tisanas, considerando sus impactos y desafíos, se propone un modelo de producción enfocado a los pilares de la Industria 5.0. Este modelo está conformado por tres áreas generales que se muestra en la figura 2. La primera parte corresponde al sistema de gestión de producción donde se encuentra el cultivo; el proceso operativo dividido en siete fases (recepción de materia prima, lavado y desinfección, pre secado, secado, molido y tamizado, esterilizado y empaquetado); seguido del almacenado. Por consiguiente, la segunda área está conformada por un agente central, sea una persona o un sistema hombre-máquina encargado de planificar y ejecutar acciones clave para resolver los problemas que ocurren directamente dentro del sistema de gestión de producción, aplicando las estrategias para minimizar los efectos negativos. Finalmente, la tercera parte integra los tres pilares fundamentales de la Industria 5.0: sostenibilidad, resiliencia y enfoque en el ser humano, cada uno con su respectivo elemento cuya actividad es manifestar acciones específicas.

No obstante, los elementos que conforman los pilares de la Industria 5.0 dentro de la figura 2, provienen de la revisión de literatura y el estudio integral de la agroindustria de tisanas. La Tabla 2 sintetiza los principales aportes identificados en la literatura, los cuales fueron ordenados en torno a la sostenibilidad, enfoque al ser humano y resiliencia. Mientras que el estudio integral permitió conocer los elementos complementarios que no se abordan en los modelos revisados, los cuales emergen del análisis de la realidad del sector de la agroindustria de tisanas y la incorporación de las directrices provenientes de la Agenda 2030. Esta integración enriquece los pilares con componentes alineados a los retos del sector.

Modelo de Producción Agro 5.0

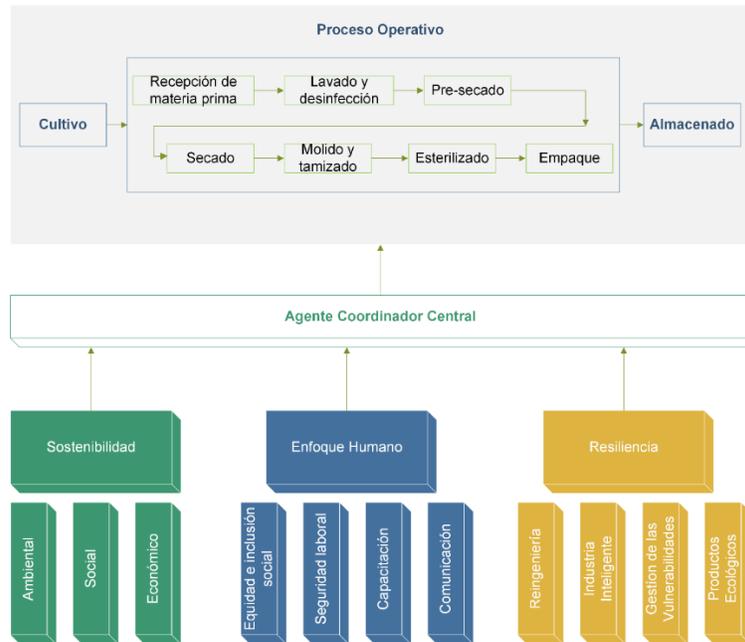


Figura 2 Propuesta de modelo de producción basado en los pilares de la industria 5.0

El enfoque de sostenibilidad en la agroindustria está orientada a la adopción de tecnologías, prácticas y mecanismos que puedan fomentar una cultura productiva sostenible, para ello aborda elementos que garanticen la permanencia en el mercado y la viabilidad del sistema productivo, promoviendo una cultura sostenible a través de las dimensiones sociales, económicas y ambientales [12].

En la dimensión ambiental: se promueve la agricultura de conservación y la agricultura ecológica, orientadas a minimizar el impacto ecológico, priorizando prácticas como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la eliminación de fertilizantes. Asimismo, la gestión inteligente del riego y el manejo de plagas se optimizan mediante el uso de tecnologías de agricultura de precisión, que emplea sensores, drones e imágenes satelitales para monitorear la salud de los cultivos, las condiciones del suelo y los patrones climáticos [3], [12].

Dentro de la cadena de valor, es crucial incorporar la variable ambiental mediante el análisis de ciclo de vida (ACV) del producto, el cual permite reutilizar desechos de polvo, hojas y agua residual, integrándolos nuevamente al proceso productivo y minimizando el impacto ambiental [14]. Este enfoque optimiza cada etapa del ACV, lo que conlleva a una optimización de recursos

que impacta positivamente en la eficiencia económica y fomenta una producción más limpia. Asimismo, la importancia de la innovación tecnológica permite apoyar el sistema de producción y promover el uso de fuentes de energía renovables, especialmente aquellas generadas a partir de biogás y biomasa, como una alternativa dentro de las fases de la cadena de suministro [32].

Dentro de la dimensión económica: es importante la viabilidad de las prácticas agrícolas que resulten rentables para los productores en el mercado, al reducir el uso de insumos costosos como fertilizantes y pesticidas, y la gestión eficiente de recursos contribuye a reducir costos operativos y crean beneficios económicos [54]. Según la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO), una agricultura enfocada a la sostenibilidad debe garantizar la rentabilidad económica para satisfacer las necesidades futuras [55], estableciendo políticas que impulsen las prácticas sostenibles, para asegurar la seguridad alimentaria y el desarrollo equitativo de las comunidades.

Desde la dimensión social, se plantea prácticas orientadas al desarrollo equitativo de las comunidades fortaleciendo el empleo local y la inclusión social. Este enfoque se alinea con los principios de la economía circular, al fomentar la generación de valor compartido y la participación de las comunidades en prácticas sostenibles [24]. Además, se enfatiza la protección de la salud humana y el bienestar comunitario, promoviendo entornos seguros mediante herramientas y protocolos de seguridad. Una acción fundamental son los programas de formación técnica y la inclusión en la toma de decisiones para una gobernanza recíproca y participativa [56]. En este sentido, la economía circular no solo impulsa la sostenibilidad ambiental, sino una gestión inclusiva con visión integral dentro de la agroindustria.

El enfoque al ser humano constituye un eje transformador para el desarrollo integral de la agroindustria con base a los principios de bienestar social, la equidad y la participación en toda la cadena de suministro, como lo evidencia la CEPAL [57]. Además, la seguridad y salud ocupacional no depende solo de la capacitación, sino de intervenir directamente las fuentes de riesgo, por ello es necesario el rediseño de procesos para prevenir accidentes o enfermedades laborales [55]. De igual forma donde la tecnología es clave para el desarrollo de la agroindustria, la Industria 5.0 orienta sus sistemas hacia un enfoque en el ser humano, reconociendo el valor de la toma de decisiones y una comunicación efectiva entre los actores de la cadena de suministro [53]. Este modelo integra tecnologías que coadyuven al monitoreo y la ejecución de sus actividades de manera más eficiente.

La resiliencia se fundamenta en una infraestructura flexible y adaptativa capaz de responder a los desafíos del entorno agroindustrial. En este contexto, la reingeniería de los procesos productivos permite rediseñar las fases críticas dentro del sistema operativo, asegurando la continuidad operativa frente a las disrupciones externas [40]. La implementación de una industria inteligente a través de sensores, análisis de datos y tecnologías emergentes como el blockchain para rastrear el producto en toda la cadena de valor, desde la plantación hasta el comprador final, fortalece la trazabilidad [29]. Por otro lado, la gestión de vulnerabilidades actúa como una estrategia anticipativa que identifica puntos de riesgo proponiendo medidas de adaptación estructural, organizativa y tecnológica. Finalmente, la inclusión de productos ecológicos los cuales responden a las exigencias del mercado construyendo un modelo más resiliente que permite adaptarse y evolucionar ante las incertidumbres.

Conclusiones

La revisión sistemática permitió identificar modelos de producción en la agroindustria que integran la sostenibilidad, resiliencia y enfoque humano, como la economía circular, el enfoque APSIM y el análisis multivariable. Estos modelos evidencian que son compatibles con los procesos agroindustriales, que potencian la eficiencia y el valor agregado en la cadena de producción de tisanas.

A partir de esta revisión, se definieron los elementos fundamentales que sirvieron de base para construir el modelo teórico propuesto. Entre ellos destacan el uso de tecnologías, el aprovechamiento de los desechos, la gestión de vulnerabilidades y la implementación de prácticas laborales centradas en el bienestar humano. Estos componentes permiten diseñar un sistema productivo adaptado a los retos del sector, tanto operativos como sociales y ambientales.

El modelo propuesto mejora directamente el proceso de producción de tisanas al fortalecer la trazabilidad, optimizar recursos y fomentar la equidad en la cadena de valor. Con un enfoque sostenible, para una producción responsable, rentable e inclusiva. Desde la resiliencia, impulsa el monitoreo de la cadena de valor y la gestión anticipada de riesgos. Además, incorpora el bienestar humano mediante condiciones laborales dignas, justas y seguras.

Finalmente, el análisis integral de la agroindustria de tisanas permitió contextualizar estos elementos según las necesidades reales del sector. Asimismo, una comprensión de los desafíos y

oportunidades para asegurar que el modelo propuesto sea coherente con su entorno y efectivo para el proceso productivo.

Referencias

1. Y. Liu, S. Ahmed, and C. Long, “Ethnobotanical survey of cooling herbal drinks from southern China,” *J Ethnobiol Ethnomed*, vol. 9, no. 1, p. 82, Dec. 2013, doi: 10.1186/1746-4269-9-82.
2. B. Sitikarn, “Sustainable community based tourism: impact, challenges and opportunities (the case of Huai Nam Guen Village, Chiang Rai Province, Thailand),” in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, jul. 2021. doi: 10.1051/e3sconf/202128410006.
3. M. F. Neves, B. P. Casagrande, V. Cambaúva, G. de O. Teixeira, and P. J. F. Toledo, “Agriculture 6.0: A New Proposal for the Future of Agribusiness,” *Revista de Gestão Social e Ambiental*, vol. 17, no. 9, p. e04004, Sep. 2023, doi: 10.24857/rgsa.v17n9-021.
4. A. Mitra, “Cellular automata-based MapReduce design: Migrating a big data processing model from Industry 4.0 to Industry 5.0,” *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 8, p. 100603, jun. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100603.
5. A. Adel, “Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas,” *Journal of Cloud Computing*, vol. 11, no. 1, p. 40, Sep. 2022, doi: 10.1186/s13677-022-00314-5.
6. O. Klein, S. Nier, and C. Tamásy, “Circular agri-food economies: business models and practices in the potato industry,” *Sustain Sci*, vol. 17, no. 6, pp. 2237–2252, nov. 2022, doi: 10.1007/s11625-022-01106-1.
7. J. M. Rožanec et al., “Human-centric artificial intelligence architecture for industry 5.0 applications,” *Int J Prod Res*, vol. 61, no. 20, pp. 6847–6872, oct. 2023, doi: 10.1080/00207543.2022.2138611.
8. S. Sai, R. Sai, and V. Chamola, “Generative AI for Industry 5.0: Analyzing the impact of ChatGPT, DALLE, and Other Models,” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, pp. 1–1, 2024, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3400161.
9. M. Doyle-Kent and P. Kopacek, “Optimising Human Potential Through Diversity and Inclusion for Industry/Production 4.0, 5.0 and 6.0,” 2023, pp. 267–276. doi: 10.1007/978-3-031-24457-5_22.

10. A. Fink, *Conducting research literature reviews: From the internet to paper*. Sage publications, 2019.
11. M. P. Weerakkody, L. G. L. M. Edirisinghe, and P. Sivashankar, "Farmers' attitude towards chemical leasing for sustainability and environmental protection," *Current Research in Environmental Sustainability*, vol. 4, p. 100175, 2022, doi: 10.1016/j.crsust.2022.100175.
12. O. Rushchitskaya, E. Kulikova, A. Ruchkin, and T. Kruzhkova, "Navigating the nexus: Sustainable integration of agroindustrial complexes into global agribusiness ecosystems," *E3S Web of Conferences*, vol. 542, p. 03004, jun. 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202454203004.
13. N. Adamashvili, R. State, C. Tricase, and M. Fiore, "Blockchain-Based Wine Supply Chain for the Industry Advancement," *Sustainability*, vol. 13, no. 23, p. 13070, nov. 2021, doi: 10.3390/su132313070.
14. S. D. Kruger, A. Zanin, O. Durán, and P. Afonso, "Performance Measurement Model for Sustainability Assessment of the Swine Supply Chain," *Sustainability*, vol. 14, no. 16, p. 9926, Aug. 2022, doi: 10.3390/su14169926.
15. S. Kruger, F. Trojan, A. Zanin, M. Lizot, and P. Afonso, "Multi-criteria approach for weights definition of sustainability indicators in the swine supply chain," *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, vol. 21, no. 4, p. 2253, nov. 2024, doi: 10.14488/BJOPM.2253.2024.
16. S. Quintero, D. P. Giraldo, and W. O. Garzon, "Analysis of the Specialization Patterns of an Agricultural Innovation System: A Case Study on the Banana Production Chain (Colombia)," *Sustainability*, vol. 14, no. 14, p. 8550, jul. 2022, doi: 10.3390/su14148550.
17. S. Maulidah and A. Wahib Muhaimin, "Sustainable Business Models: Challenges on potato agro-industry SMEs," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 709, no. 1, p. 012082, Mar. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/709/1/012082.
18. S. Valle de Souza, K. C. Shasteen, J. Seong, C. Kubota, M. Kacira, and H. C. Peterson, "Production planning in an indoor farm: Using time and space requirements to define an efficient production schedule and farm size," *International Food and Agribusiness Management Review*, vol. 27, no. 2, pp. 237–255, Feb. 2024, doi: 10.22434/ifamr2023.0038.

19. N. Ada, Y. Kazancoglu, M. D. Sezer, C. Ede-Senturk, I. Ozer, and M. Ram, "Analyzing Barriers of Circular Food Supply Chains and Proposing Industry 4.0 Solutions," *Sustainability*, vol. 13, no. 12, p. 6812, jun. 2021, doi: 10.3390/su13126812.
20. [20] S. X. Duan, S. Wibowo, and J. Chong, "A Multicriteria Analysis Approach for Evaluating the Performance of Agriculture Decision Support Systems for Sustainable Agribusiness," *Mathematics*, vol. 9, no. 8, p. 884, Apr. 2021, doi: 10.3390/math9080884.
21. E. M. Boru, J. Hwang, and A. Y. Ahmad, "Understanding the Drivers of Agricultural Innovation in Ethiopia's Integrated Agroindustrial Parks: A Structural Equation Modeling and Qualitative Insights Approach," *Agriculture*, vol. 15, no. 4, p. 355, Feb. 2025, doi: 10.3390/agriculture15040355.
22. T. K. Amentae, G. Gebresenbet, and N. J. Abdela, "Impact of Supply Chain Management on Business Sustainability: Case of Water Bottling Companies in and Around Finfinnee, Ethiopia," *Logistics*, vol. 9, no. 1, p. 5, Dec. 2024, doi: 10.3390/logistics9010005.
23. M. Diancoumba et al., "APSIM-based modeling approach to understand sorghum production environments in Mali," *Agron Sustain Dev*, vol. 44, no. 3, p. 25, jun. 2024, doi: 10.1007/s13593-023-00909-5.
24. C. L. Karmaker, R. Al Aziz, T. Ahmed, S. M. Misbauddin, and Md. A. Moktadir, "Impact of industry 4.0 technologies on sustainable supply chain performance: The mediating role of green supply chain management practices and circular economy," *J Clean Prod*, vol. 419, p. 138249, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.138249.
25. M. B. Geda, J. Haji, K. Jemal, and F. Zeleke, "Determinants of adoption of climate smart agricultural technologies in wheat production in Arsi Zone, Oromia Region of Ethiopia," *Discover Food*, vol. 4, no. 1, p. 8, Feb. 2024, doi: 10.1007/s44187-024-00077-9.
26. P. Bórawski, A. Bedycka-Bórawska, Z. Kapsdorferová, T. Rokicki, A. Parzonko, and L. Holden, "Perspectives of Electricity Production from Biogas in the European Union," *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 5, p. 1169, Mar. 2024, doi: 10.3390/en17051169.
27. V. A. Gkountani, G. T. Tsoufás, and Y. Mouzakis, "MAPPING SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHODS IN AGRI-FOOD SUPPLY CHAINS: A CIRCULAR ECONOMY PERSPECTIVE," *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, vol. 22, p. 2022.

28. A. Semkin, L. Silaeva, E. Voronin, and A. Pyatinsky, "Areas of placement and specialization in the development of agricultural production management in Russia," *E3S Web of Conferences*, vol. 210, p. 22004, Dec. 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202021022004.
29. M. P. Hetmanczyk, "A Method for Evaluating the Maturity Level of Production Process Automation in the Context of Digital Transformation—Polish Case Study," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 11, p. 4380, May 2024, doi: 10.3390/app14114380.
30. N. Jäpel, P. Bielitz, and D. Reichelt, "The Dresden Model of Adaptability: A Holistic Approach to Human-Centeredness, Resilience, Sustainability, and the Impact on the Sustainable Development Goals in the Era of Industry 5.0," *Digital*, vol. 4, no. 3, pp. 726–739, Aug. 2024, doi: 10.3390/digital4030037.
31. B. Ombati Mogaka, S. Karanja Ng'ang'a, and H. Kiplangat Bett, "Comparative profitability and relative risk of adopting climate-smart soil practices among farmers. A cost-benefit analysis of six agricultural practices," *Clim Serv*, vol. 26, p. 100287, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.cliser.2022.100287.
32. N. Singh et al., "Bioenergy from Agro-waste: A Sustainable Solution for Energy Needs," 2024, pp. 207–249. doi: 10.1007/978-981-97-0840-6_9.
33. K. R. Kumar et al., "Feasibility assessment of renewable energy resources for tea plantation and industry in india - A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 145, p. 111083, jul. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111083.
34. A. Ghosh et al., "Converting Crop Land into Tea Plantations: The Journey of Small Tea Growers of North Bengal".
35. V. S. Le, D. Lesueur, L. Herrmann, L. Hudek, L. N. Quyen, and L. Brau, "Sustainable tea production through agroecological management practices in Vietnam: a review," *Environmental Sustainability*, vol. 4, no. 4, pp. 589–604, Dec. 2021, doi: 10.1007/s42398-021-00182-w.
36. A. Ahmad, A. Ikram, M. F. Rehan, and A. Ahmad, "Going green: Impact of green supply chain management practices on sustainability performance," *Front Psychol*, vol. 13, nov. 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.973676.
37. B. Martini, D. Bellisario, and P. Coletti, "Human-Centered and Sustainable Artificial Intelligence in Industry 5.0: Challenges and Perspectives," *Sustainability*, vol. 16, no. 13, p. 5448, jun. 2024, doi: 10.3390/su16135448.

38. I. P. Salgado-Tello, T. E. Sánchez-Herrera, J. M. Oleas-López, and M. L. Vaca-Cardenas, “Economía circular para el desarrollo agroindustrial y social en Ecuador,” *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, vol. 26, no. 1, pp. 297–322, Jan. 2024, doi: 10.36390/telos261.19.
39. M. Casati, C. Soregaroli, G. L. Frizzi, and S. Stranieri, “Impacts of blockchain technology in agrifood: exploring the interplay between transactions and firms’ strategic resources,” *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 29, no. 7, pp. 51–70, Dec. 2024, doi: 10.1108/SCM-09-2023-0443.
40. N. Parrado León, J. C. Gaviria Henao, and A. Garrido, “Resiliencia en Cadenas de Suministro Agroindustriales: Una Revisión Sistemática de la Literatura,” *Avances Investigación en Ingeniería*, vol. 19, no. 2, Aug. 2022, doi: 10.18041/1794-4953/avances.2.7921.
41. J. AL-Dalaeen, “The Economic Viability of the Renewable Energy Systems in Agricultural Activities in Jordan,” *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, vol. 20, no. 4, pp. 295–308, Dec. 2024, doi: 10.35516/jjas.v20i4.1967.
42. M. C. Pereira Ribeiro, C. Paglia Nadal, W. F. da Rocha Junior, R. M. de Sousa Fragoso, and C. A. Lindino, “Institutional and Legal Framework of the Brazilian Energy Market: Biomass as a Sustainable Alternative for Brazilian Agribusiness,” *Sustainability*, vol. 12, no. 4, p. 1554, Feb. 2020, doi: 10.3390/su12041554.
43. M. Vahdanjoo, C. G. Sørensen, and M. Nørremark, “Digital transformation of the agri-food system,” *Curr Opin Food Sci*, vol. 63, p. 101287, jun. 2025, doi: 10.1016/j.cofs.2025.101287.
44. A. Massaro and A. Galiano, “Re-engineering process in a food factory: an overview of technologies and approaches for the design of pasta production processes,” *Prod Manuf Res*, vol. 8, no. 1, pp. 80–100, Jan. 2020, doi: 10.1080/21693277.2020.1749180.
45. M. C. Zizic, M. Mladineo, N. Gjeldum, and L. Celent, “From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 14, p. 5221, jul. 2022, doi: 10.3390/en15145221.
46. Y. Kittichotsawat, E. Rauch, and K. Y. Tippayawong, “Designing sustainability measurement of a Thai coffee supply chain using axiomatic design and business model

- canvas,” *Results in Engineering*, vol. 24, p. 103443, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103443.
47. A. Aghababaei, F. Aghababaei, M. Pignitter, and M. Hadidi, “Artificial Intelligence in Agro-Food Systems: From Farm to Fork,” *Foods*, vol. 14, no. 3, p. 411, Jan. 2025, doi: 10.3390/foods14030411.
48. N. J. Langford, “From Global to Local Tea Markets: The Changing Political Economy of Tea Production within India’s Domestic Value Chain,” *Dev Change*, vol. 52, no. 6, pp. 1445–1472, nov. 2021, doi: 10.1111/dech.12652.
49. M. Das, S. Das, and A. Mazumdar, “System Performance Evaluation for Tea Plants Replacing Sprinkler with Drip Irrigation using Water Uniformities in Dooars, India,” *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, vol. 20, no. 1, pp. 9–16, Jan. 2023, doi: 10.3233/AJW230003.
50. [50] Y.-P. Chen et al., “Agricultural management practices influence the soil enzyme activity and bacterial community structure in tea plantations,” *Bot Stud*, vol. 62, no. 1, p. 8, Dec. 2021, doi: 10.1186/s40529-021-00314-9.
51. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, 2023. doi: 10.1017/9781009325844.
52. M. Madhavan, M. A. Sharafuddin, and S. Wangtueai, “Impact of Industry 5.0 Readiness on Sustainable Business Growth of Marine Food Processing SMEs in Thailand,” *Adm Sci*, vol. 14, no. 6, p. 110, May 2024, doi: 10.3390/admsci14060110.
53. X. Xu, Y. Lu, B. Vogel-Heuser, and L. Wang, “Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception,” *J Manuf Syst*, vol. 61, pp. 530–535, oct. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006.
54. G. Camelo and M. Nogueira, “The ESG Menu: Integrating Sustainable Practices in the Portuguese Agri-Food Sector,” *Sustainability*, vol. 16, no. 11, p. 4377, May 2024, doi: 10.3390/su16114377.
55. J. Sachs, C. Kroll, G. Lafortune, G. Fuller, and F. Woelm, *Sustainable Development Report 2022*. Cambridge University Press, 2022. doi: 10.1017/9781009210058.

56. A. C. Tridakusumah, A. Yusuf, and P. Pardian, “The role of social networks in the development of rural community-based eco-industry,” IOP Conf Ser Earth Environ Sci, vol. 1211, no. 1, p. 012003, jul. 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1211/1/012003.
57. N. U. CEPAL, “Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2021: dinámica laboral y políticas de empleo para una recuperación sostenible e inclusiva más allá de la crisis del COVID-19,” 2021.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).