

**RIESGOS LABORALES CON ENFOQUE A LA INDUSTRIA 5.0 DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA DE TISANAS: REVISIÓN SISTEMÁTICA**
**OCCUPATIONAL RISKS WITH A FOCUS ON INDUSTRY 5.0 OF THE HERBAL TEA
AGRI-FOOD CHAIN: SYSTEMATIC REVIEW**

Autores: ¹Shirley Trinidad Chagmana Ases, ²Anahi Estefania Guamangate Casillas, ³Lorena Sigüenza Guzmán, ⁴Edith Elena Tubón Núñez, ⁵Freddy Roberto Lema Chicaiza y ⁶Luis Alberto Morales Perrazo.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-4740-5687>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8307-7352>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1367-5288>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8094-6207>

⁵ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5213-3011>

⁶ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0921-262X>

¹E-mail de contacto: schagmana9112@uta.edu.ec

²E-mail de contacto: aguamangate1426@uta.edu.ec

³E-mail de contacto: lorena.siguenza@ucuenca.edu.ec

⁴E-mail de contacto: ee.tubon@uta.edu.ec

⁵E-mail de contacto: fr.lema@uta.edu.ec

⁶E-mail de contacto: luisamorales@uta.edu.ec

Afiliación: ^{1*}^{2*}^{3*}^{4*}^{5*}Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador). ^{6*}Universidad de Cuenca, (Ecuador).

Artículo recibido: 16 de Abril del 2026

Artículo revisado: 18 de Abril del 2026

Artículo aprobado: 20 de abril del 2026

¹Estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador).

²Ingeniera Industrial, graduada de la Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador).

³Ingeniera en Computación, graduada de la Universidad de Cuenca (Ecuador). Magíster en Telemática por la Universidad del Azuay, (Ecuador). Doctora en Ingeniería Mecánica por KU Leuven (Bélgica). Profesora titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, (Ecuador).

⁴Ingeniera en Alimentos, graduada de la Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador). Magíster en Docencia Matemática y Magíster en Gestión Empresarial basado en Métodos Cuantitativos, graduada de la Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador).

⁵Ingeniero Químico, graduado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador), con 16 años de experiencia laboral. Magister Scientiae en Ingeniería Química, graduado de la Universidad de los Andes, (Venezuela).

⁶Ingeniero Mecánico graduado en la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), (Ecuador). Magíster en Seguridad e Higiene Industrial y Ambiental en la Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador), con 15 años de experiencia docente en la carrera de Ingeniería Industrial en ámbitos de seguridad laboral.

Resumen

Este estudio tiene como objetivo identificar, categorizar y analizar los principales riesgos laborales a lo largo de la cadena de suministro agroalimentaria de las empresas productoras de tisanas, con el propósito de fundamentar estrategias preventivas coherentes con el paradigma de la Industria 5.0. Para ello, se desarrolló una revisión sistemática de la literatura siguiendo la metodología de Fink, mediante un protocolo de búsqueda estructurado basado en los componentes de población e intervención. La selección incluyó literatura científica de alto impacto indexada en bases reconocidas, la cual fue analizada mediante técnicas bibliométricas y de mapeo de redes de conocimiento utilizando el software

RStudio (versión 7). Los resultados evidencian una configuración heterogénea de riesgos laborales en función de las fases operativas de la cadena agroalimentaria de las tisanas. En la etapa de producción primaria, caracterizada por actividades predominantemente agrícolas, se identifican exposiciones relevantes a estrés térmico, accidentes asociados al uso de maquinaria y riesgos químicos derivados de la inhalación y manipulación de sustancias. En las fases de procesamiento y distribución, predominan riesgos ergonómicos y psicosociales, tales como movimientos repetitivos, posturas forzadas, exposición prolongada a ruido y vibraciones, así como elevados niveles de estrés laboral. Ante las limitaciones de los sistemas tradicionales de

gestión de la seguridad y salud en el trabajo, se concluye que la adopción de tecnologías habilitadoras de la Industria 5.0 como sensores inteligentes, monitoreo en tiempo real y analítica predictiva es clave para evolucionar hacia enfoques preventivos, proactivos, humano céntricos y sostenibles, orientados a la mejora integral del bienestar laboral.

Palabras clave: Industria 5.0, Riesgos laborales, Producción de tisanas, Cadena de suministro, Agroalimentaria.

Abstract

This study aims to identify, categorize and analyze the main occupational risks throughout the agri-food supply chain of tisane producing companies, with the purpose of supporting preventive strategies consistent with the Industry 5.0 paradigm. To this end, a systematic review of the literature was developed following Fink's methodology, using a structured search protocol based on the population and intervention components. The selection included high-impact scientific literature indexed in recognized databases, which was analyzed using bibliometric techniques and knowledge network mapping using RStudio software (version 7). The results show a heterogeneous configuration of occupational risks depending on the operational phases of the agri-food chain of herbal teas. In the primary production stage, characterized by predominantly agricultural activities, relevant exposures to heat stress, accidents associated with the use of machinery and chemical risks derived from the inhalation and handling of substances are identified. In the processing and distribution phases, ergonomic and psychosocial risks predominate, such as repetitive movements, forced postures, prolonged exposure to noise and vibrations, as well as high levels of occupational stress. Given the limitations of traditional occupational health and safety management systems, it is concluded that the adoption of Industry 5.0 enabling technologies such as smart sensors, real-time monitoring and predictive analytics is key to evolving towards preventive, proactive, human-centric and sustainable approaches, aimed at the

comprehensive improvement of workplace well-being.

Keywords: Industry 5.0, Occupational risks, Tisane production, Supply chain, Agri-food.

Sumário

Este estudo visa identificar, categorizar e analisar os principais riscos ocupacionais ao longo da cadeia de abastecimento agroalimentar das empresas produtoras de tisana, com o objetivo de apoiar estratégias preventivas consistentes com o paradigma da Indústria 5.0. Para tal, foi desenvolvida uma revisão sistemática da literatura seguindo a metodologia de Fink, utilizando um protocolo de pesquisa estruturado baseado nos componentes populacionais e de intervenção. A seleção incluiu literatura científica de alto impacto indexada em bases de dados reconhecidas, que foi analisada usando técnicas bibliométricas e mapeamento de redes de conhecimento usando o software RStudio (versão 7). Os resultados mostram uma configuração heterogênea dos riscos ocupacionais dependendo das fases operacionais da cadeia agroalimentar dos chás de ervas. Na fase primária de produção, caracterizada por atividades predominantemente agrícolas, são identificadas exposições relevantes ao stress térmico, acidentes associados ao uso de maquinaria e riscos químicos derivados da inalação e manuseamento de substâncias. Nas fases de processamento e distribuição, predominam riscos ergonômicos e psicossociais, como movimentos repetitivos, posturas forçadas, exposição prolongada a ruídos e vibrações, bem como elevados níveis de stress ocupacional. Dadas as limitações dos sistemas tradicionais de gestão de saúde e segurança ocupacional, conclui-se que a adoção de tecnologias habilitadoras da Indústria 5.0, como sensores inteligentes, monitorização em tempo real e análises preditivas, é fundamental para evoluir para abordagens preventivas, proativas, centradas no ser humano e sustentáveis, visando a melhoria abrangente do bem-estar no local de trabalho.

Palavras-chave: Indústria 5.0, Riscos ocupacionais, produção de tisanas, cadeia de abastecimento agroalimentar.

Introducción

La cadena de suministro agroalimentaria es un pilar estratégico para la seguridad alimentaria y el desarrollo socioeconómico (Chen et al., 2022), ya que integra procesos agrícolas e industriales con una alta participación de mano de obra (Einarsdóttir et al., 2024). Esta combinación, junto con la complejidad del entorno productivo, incrementa la exposición a riesgos laborales y pone en evidencia las limitaciones de los enfoques tradicionales de gestión de seguridad laboral (Baidwan et al., 2021). En este escenario, la Industria 5.0 emerge como un paradigma que articula la innovación tecnológica con un enfoque centrado en las personas, impulsando sistemas productivos más sostenibles, resilientes y orientados al bienestar del trabajador (Jakob et al., 2021). La gestión de riesgos laborales en la cadena agroalimentaria continúa sustentándose en modelos tradicionales caracterizados por una seguridad basada en el cumplimiento normativo y un enfoque reactivo centrado en indicadores de accidentabilidad, condición que limita los avances en sostenibilidad social y resiliencia (Chaiklieng et al., 2022).

Esta situación evidencia que la adopción de los pilares de la Industria 5.0, orientados al apoyo inteligente del trabajo, al uso de datos para la prevención y a la integración sistémica de la seguridad y salud en el trabajo, se perfila como una vía clave para fortalecer los modelos de gestión preventiva actuales en ámbitos de seguridad laboral (Patidar et al., 2023). Actualmente, la digitalización en las cadenas de suministro, busca la rapidez en la entrega, de productos sin considerar el medio ambiente laboral negativo en cuanto a riesgos laborales que se pueden generar para el trabajador (Hendricks et al., 2021). Esta problemática es crítica en la cadena de suministro agroalimentaria, cuya estructura se articula en fases de producción, procesamiento y

distribución con exigencias operativas y perfiles de riesgo diferenciados (Torres et al., 2025). Específicamente en las cadenas agroalimentarias de tisanas, los riesgos laborales que se presentan sobre todo en las fases de cosecha y procesamiento, representando un reto en cuanto a prevención, porque las actividades se hacen manualmente, con equipos y herramientas que exponen a trabajadores a lesiones, fatiga y agotamiento físico (Laines y Jaramillo, 2026). El riesgo laboral en estas actividades no es solo un accidente repentino, sino el daño que el cuerpo acumula por años de movimientos repetitivos y condiciones ambientales difíciles (Simas et al., 2021).

Así mismo, en la fase de distribución de la cadena, la presión por cumplir con los tiempos de entrega, el cansancio acumulado y la carga manual que ejecutan los trabajadores, hace que la probabilidad de incidentes críticos incremente de forma significativa (Yang et al., 2021). En este sentido el reto para las organizaciones que están en la cadena agroalimentaria, en un contexto de la industria 5.0 es transformar la gestión a una inversión estratégica orientada al bienestar humano. De esta manera, la Industria 5.0 cambia la forma de actuar frente a los riesgos laborales, en lugar de esperar a que ocurra una lesión, accidente o enfermedad profesional, propone usar la tecnología para detectar el peligro a tiempo (Sikalidis et al., 2022), por ejemplo, mediante sensores que miden la fatiga o sistemas que asisten al trabajador en las tareas pesadas, adaptando el entorno a la salud de cada persona, y no a lo contrario (Thamsuwan et al., 2020). Por lo tanto, este estudio analiza los principales riesgos laborales que podrían estar presentes en las cadenas de suministro agroalimentario con énfasis productores de tisanas y las tendencias de gestión de riesgos laborales con enfoque de la industria 5.0.

Materiales y Métodos

Se realizó una revisión sistemática de literatura a través de la aplicación de la metodología Fink, la cual consiste en siete pasos fundamentales para la identificación de información relevante, además de asegurar la calidad y rigor de los resultados obtenidos (Tuni et al., 2025). Para la aplicación de esta metodología, se inicia con la selección de las preguntas de investigación, para lo cual se emplea la estrategia PICO (Jhael et al., 2024) que permite estructurar el proceso de búsqueda científica considerando la población, la intervención, la comparación y los resultados esperados. En este contexto, la población estuvo constituida por artículos enfocados a trabajadores, asociaciones y empresas que participan en la cadena de suministro agroalimentaria.

La comparación se realizó a partir del análisis de las herramientas, metodologías y enfoques utilizados en diferentes investigaciones para evaluar los riesgos laborales en el sector agroalimentario es así como los resultados esperados se orientaron a la identificación de los principales tipos de riesgos laborales, así como de los métodos de evaluación utilizados en la literatura científica. A partir de esta estructura se formularon las preguntas de investigación que orientaron el estudio: RQ1: ¿Cómo se conceptualizan los riesgos laborales en las cadenas de suministro agroalimentarias? RQ2: ¿Cuáles son los principales tipos de riesgos laborales a los que están expuestos los trabajadores en las distintas fases de la cadena agroalimentaria? RQ3: ¿Qué información existe sobre accidentes laborales, enfermedades ocupacionales y condiciones de trabajo en el sector agroalimentario? y RQ4: ¿Qué métodos y herramientas se utilizan para evaluar los riesgos laborales en la cadena de suministro agroalimentaria?, estas preguntas permitieron delimitar el alcance del estudio y orientar la recopilación y análisis de la información. En el

segundo paso, se seleccionó las fuentes de bases de datos empleadas para la recopilación de información de acuerdo con el campo de estudio, el tipo de documento y el nivel de acceso, en este caso las seleccionadas fueron: Scopus, Web of science y Plubmed, como se muestra en la Figura 1. El tercer paso consiste en la definición de términos de búsqueda. Las cadenas empleadas fueron: (Occupational Risk OR Occupational Safety) AND (Agri-food Supply Chain OR Agri-food Industry); (Types OR Factors) AND (Occupational Risk OR Occupational Safety) AND (Agri-food Supply Chain OR Agri-food Industry); (Tools OR Methods) AND Evaluation AND (Occupational Risk OR Occupational Safety) AND (Agri-food Supply Chain OR Agri-food Industry); (Rates OR Indices) AND Accident Rate AND (Morbidity OR Occupational Disease) AND (Agri-food Supply Chain OR Agri-food Industry); se optó por realizar la búsqueda en idioma inglés con el fin de ampliar la población de artículos científicos sobre esta temática. El cuarto paso consiste en la aplicación de criterios prácticos para la recopilación de información, dichos criterios se especifican en la Tabla 1.

Tabla 1. *Criterios de selección para búsqueda*

Criterio	Detalle
Idioma	Español – inglés – portugués
Bases de datos	Scopus Web of Science PudMed
Área temática	Seguridad laboral, higiene industrial, ergonomía, agrícola, logística.
Temporalidad	2020-2026
Tipo de documento	Artículo de revista, Artículo de conferencia
Búsqueda	La cadena de búsqueda debe constar en el título, el resumen o en las palabras clave

Fuente: Elaboración propia

En el quinto paso se realiza la aplicación de criterios de selección de acuerdo con los criterios prácticos y con criterios de exclusión como artículos duplicados y no relacionados al

tema. La Figura 1 presenta de manera visual el proceso de aplicación de los criterios de exclusión mencionados anteriormente, evaluando la elegibilidad de este.

El proceso de selección de los artículos se desarrolló en varias etapas. En primer lugar, se identificaron los documentos a partir de las ecuaciones de búsqueda en las bases de datos seleccionadas. Posteriormente se eliminaron los registros duplicados mediante el gestor bibliográfico Zotero 7 y se realizó una revisión preliminar de títulos y resúmenes para evaluar su relevancia con respecto al tema de estudio. Finalmente, los artículos seleccionados fueron analizados mediante la lectura completa de los documentos para identificar aquellos que aportaban información relevante para responder a las preguntas de investigación planteadas. La organización y el análisis de la información se realizó mediante el software RStudio utilizando el paquete Bibliometría, lo que permitió efectuar un análisis bibliométrico de la literatura científica.

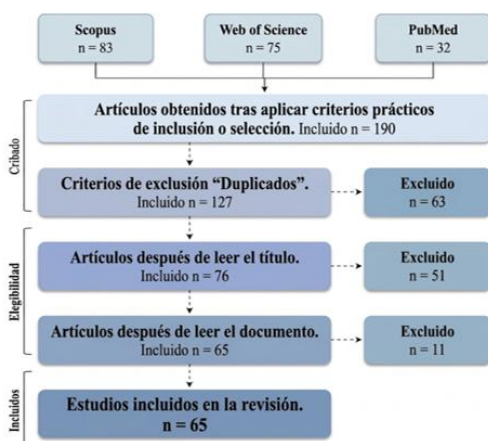


Figura 1: Aplicación de criterios de selección

Fuente: Elaboración propia

Resultados y Discusión

Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron finalmente un total de 65 artículos para revisión y análisis detallado. Para ello, se estructuraron dos etapas: un

metaanálisis y un análisis descriptivo. En la primera etapa, se llevó a cabo una síntesis detallada de las “4W” (cuando, quién, qué, dónde) de manera que se identificó los riesgos laborales presentes en cadenas de suministro agroalimentarias. La segunda etapa que se refiere al análisis descriptivo consta de dos secciones, en la primera sección se examinó aspectos como autores, el año de publicación, las revistas de publicación, los países receptores y detalles relevantes sobre el tema principal y en la segunda sección se analizó a profundidad los temas motores que desencadenan la especificidad de la prevención de riesgos y tendencias en la Industria 5.0. En esta fase se clasifican los artículos seleccionados para una síntesis detallada de información como el año de publicación y el país receptor.

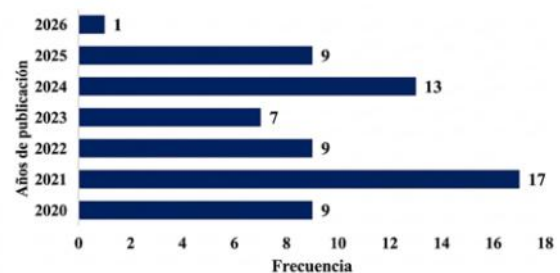


Figura 2: Distribución temporal de artículos seleccionados

Fuente: Elaboración propia

La Figura 2, muestra la evolución de la cantidad de publicaciones desde 2020 hasta 2026 respondiendo así a la interrogante ¿Cuándo? de las “4W”. Se puede evidenciar que desde 2021 la cantidad de artículos publicados relacionados al tema ha aumentado. Sin embargo, en el año 2026 solamente se encontró un solo artículo, debido a que este estudio se realizó en el primer trimestre del 2026. A su vez, respondiendo a la interrogante ¿Dónde? se presenta las tendencias de los países receptores en donde se identifica con un color más intenso el país con la mayor

relacionados con evaluación de riesgos, ergonomía y enfermedades ocupacionales aparecen como temas en desarrollo o transversales, reflejando un grado intermedio de integración dentro del campo de estudio. Por su parte, los clústeres vinculados con incidencia y trastornos musculoesqueléticos se identifican como temas de nicho, altamente especializados, pero con una conexión más limitada con otras líneas de investigación.

Los riesgos laborales en las cadenas de suministro se hallan como un fenómeno complejo, en el cual interviene varios factores humanos, ambientales, mecánicos y organizacionales, lo cual influye en la susceptibilidad de los trabajadores a través de la etapa del proceso productivo (Arcury et al., 2022). Así mismo la investigación desarrollada en Fassa et al. (2021), la define como una exposición multicausal en donde la interacción entre el entorno físico y la carga cognitiva operario no solo determina la severidad del daño, sino a su vez evidencia la ausencia sistemas productivos seguros. Este enfoque sistémico reconoce que la ocurrencia en accidentes está asociado a variables climáticas extremas, infraestructura deficiente y ausencia de políticas preventivas institucionales (Gallego et al., 2021).

A opinión de Vielma et al. (2024) se destacan que los riesgos laborales en las cadenas de suministro agroalimentario, sobre todo en una de sus fases que es la producción agrícola, surgen como resultado de interacciones fisiológicas y ambientales en las que el estrés térmico, radiación solar y la humedad tienen un papel fundamental en la salud y productividad del trabajador. Del mismo modo, riesgos químicos relacionados con intoxicación exógena aguda producto del mal uso de fertilizantes, insecticidas, entre otros, generan enfermedades renales y respiratorias en los

trabajadores (Dos Santos et al., 2021; Yan et al., 2022). Este planteamiento coincide con (Aby et al., 2024), los cuales indican que la combinación de maquinaria peligrosa, exposición ambiental y carencia de cultura preventiva en la agroindustria aumenta los índices de siniestralidad. En la actualidad, bajo el paradigma de la Industria 5.0, el riesgo laboral trasciende su conceptualización tradicional a una variable de desempeño sistémico como lo afirma Spieth et al. (2014) y Nahavandi (2019) pues integra de forma transversal en la cadena de suministro, la inteligencia artificial, análisis predictivo y el despliegue de sensores para su análisis, evaluación y prevención. La evidencia científica clasifica los riesgos laborales en la cadena de suministro bajo una taxonomía de cinco categorías: físicos, ergonómicos, químicos, biológicos y psicosociales (Jakob et al., 2021).



Figura 5: Riesgos laborales en la cadena agroalimentaria

Fuente: Elaboración propia

En este entorno los peligros se manifiestan de forma diferente y acumulativa lo largo de los

tres eslabones operativos del sector que son: producción, proceso y distribución, como muestra en la Figura 5. En la etapa de producción agrícola, predominan el estrés térmico y la exposición a radiación ultravioleta por trabajo prolongado al aire libre, junto con la carga ergonómica derivada de posturas forzadas, los accidentes asociados al uso de maquinaria y la exposición a pesticidas sin protección adecuada (Chaiklieng et al., 2022; Guimarães et al., 2021; Ioannou et al., 2021; Kim et al., 2022; Lee et al., 2021).

En la fase de proceso, se identifican riesgos biológicos por la presencia de polvo orgánico y bioaerosoles que afectan el sistema respiratorio, así como riesgos físicos vinculados al ruido y las vibraciones, además de riesgos psicosociales como el tecnoestrés derivado de la interacción con sistemas automatizados (Colombathanthri et al., 2025; García y Osca, 2020; Russo y Carpenter, 2019). Así mismo, en la fase de distribución, predominan los riesgos ergonómicos asociados a la manipulación de cargas, así como los riesgos psicosociales relacionados con el estrés laboral y la fatiga cognitiva debido a la presión por cumplir tiempos de entrega (Ioannou et al., 2021; Michael y Gorucu, 2023). La evidencia científica reciente confirma la existencia de datos relevantes sobre la accidentabilidad, enfermedades laborales y condiciones de salud en las distintas fases de la cadena de suministro (Zhai, 2023).

En la fase de producción, la siniestralidad en la cadena agroalimentaria es un reflejo de una grave problemática de salud pública con repercusiones económicas profundas. Las tasas de mortalidad son más altas que en otros sectores manufactureros, lo que evidencia la magnitud de este problema (Michael y Gorucu, 2023). En Turquía, se encontró que el 33% de los agricultores experimentaron al menos un

accidente laboral durante el último año, destacando que la mayoría de estos incidentes ocurrieron durante la jornada laboral. Estos accidentes estuvieron asociados a la falta de equipo de protección personal y a condiciones de transporte inseguras, lo que revela un alto riesgo de lesiones en las actividades productivas del sector agrícola (Ekmekci & Yaman, 2024). Además, la exposición a factores físicos, químicos y ergonómicos aumenta significativamente el riesgo de accidentes (Jakob et al., 2021; Calderón et al., 2025).

Las enfermedades laborales, los trastornos musculoesqueléticos se presentan con alta prevalencia entre los trabajadores agrícolas, debido a esfuerzos físicos intensos, posturas forzadas y movimientos repetitivos (Bhattarai et al., 2016). También se observan afecciones respiratorias y dermatológicas asociadas a la exposición prolongada a polvo orgánico, pesticidas y otros productos agroquímicos (Kurth et al., 2024). Además, se identifican efectos crónicos derivados de exposiciones acumulativas, como alteraciones neurológicas y otros problemas de salud a largo plazo, particularmente en lugares donde las medidas de prevención y vigilancia sanitaria son limitadas (Kurth et al., 2024). Diversos estudios apuntan a que la informalidad del empleo, la falta de capacitación en seguridad y salud ocupacional, así como el acceso insuficiente a servicios de salud y equipos de protección personal, impactan negativamente en el bienestar de los trabajadores, especialmente en zonas rurales y pequeñas unidades productivas (De Leo et al., 2023).

En la fase de proceso, en Estados Unidos, se registraron 1,084 lesiones graves y 47 muertes asociadas al movimiento de productos en la cadena alimentaria, afectando principalmente a las actividades de manufactura y procesamiento (Michael y Gorucu, 2023). Los accidentes están

principalmente relacionados con maquinaria industrial y sistemas automatizados en plantas de transformación alimentaria, con predominio de lesiones traumáticas en las extremidades superiores (Noroozi y Taherian, 2023). Los trastornos musculoesqueléticos son una de las afecciones más comunes en este sector, como resultado de tareas repetitivas y la manipulación manual de cargas. También se reporta exposición a agentes químicos y biológicos durante los procesos de transformación alimentaria (Noroozi y Taherian, 2023).

La implementación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 genera nuevas demandas cognitivas y aumenta la necesidad de supervisión digital, lo que, a su vez, eleva la carga mental de los trabajadores. Esto implica mayores exigencias operativas y una atención más rigurosa a los aspectos de seguridad laboral en este evento tecnológico. Por lo tanto, es crucial una capacitación en seguridad adecuada para enfrentar los desafíos derivados de este cambio tecnológico (Sharma et al., 2024). En la fase de distribución, el sector logístico alimentario enfrenta lesiones graves relacionadas con la carga, descarga y transporte de productos (Michael & Gorucu, 2023), la exposición a esta situación puede generar riesgos laborales relacionados a trastornos musculoesqueléticos, lesiones representan una parte significativa de los eventos severos dentro de la cadena alimentaria (Zhai, 2023).

Los trastornos musculoesqueléticos que se identifican entre los conductores y operarios logísticos de la fase de distribución de la cadena de suministro agroalimentaria a consideración de (Michael y Gorucu, 2023) están relacionados, al levantamiento manual de cargas y a la conducción prolongada al adoptar posturas forzadas en posición sedentaria. Además, existen riesgos ergonómicos y físicos debido a la manipulación constante de

mercancías, lo que aumenta la probabilidad de lesiones en extremidades y columna vertebral (Zhai, 2023). Así pues, las condiciones de salud en los trabajadores de la cadena agroalimentaria dependen de la fase en la que se encuentren. Las fases de producción, proceso y distribución presentan riesgos diversos que impactan la salud de los trabajadores de manera diferente, pero todos comparten problemas comunes como la falta de equipo adecuado de protección, condiciones de trabajo inseguras y la exposición a factores físicos y químicos peligrosos. Como se observa en la Tabla 3, los métodos como Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), dispositivos biométricos y modelos predictivos basados en inteligencia artificial permiten abordar riesgos mecánicos, ergonómicos y organizacionales.

En este contexto, los métodos de evaluación y gestión de riesgos, como el análisis de modos y efectos de falla (FMEA), los dispositivos biométricos y los modelos predictivos basados en inteligencia artificial, adquieren un papel estratégico. Estas herramientas permiten no solo identificar riesgos potenciales, sino también anticipar eventos adversos mediante el análisis de datos en tiempo real. De esta manera, se transita de un enfoque reactivo, centrado en la respuesta a incidentes, hacia un enfoque preventivo y predictivo que mejora la toma de decisiones en materia de seguridad y salud ocupacional. Por otro lado, resulta fundamental que las organizaciones adopten una visión integral de la seguridad laboral, considerando tanto los factores tecnológicos como los humanos y organizacionales. La implementación de programas de ergonomía, pausas activas, rediseño de puestos de trabajo y promoción de una cultura de prevención son estrategias clave para mitigar los riesgos asociados a las actividades logísticas.

Tabla 3. Métodos y herramientas para la evaluación de riesgos laborales en la cadena agroalimentaria

Métodos y herramientas	Aplicaciones en la cadena de suministro	Ventajas	Limitaciones	Fase	Ref.
-Estudios transversales con síntomas (PRS), diagnóstico médico y biomarcadores	Evaluación de enfermedades de prevalencia de enfermedades ocupacionales relacionadas con la exposición agrícola directa.	Ampliación directa de campo y bajo costo.	Datos en donde no implica la casualidad.	Producción	Michael y Gorucu (2023)
-Modelos de regresión (shrinkage, multivariados)	Identificación de factores determinantes de accidentes laborales y cuantificación del peso relativo de variables como edad, experiencia, clima o tipo de tarea.	Permite priorizar variables críticas; análisis más robusto.	Requiere base de datos amplias y confiables enfocadas en datos históricos	Producción y proceso	(Gallego et al. (2021); Yan et al., 2022)
- Análisis de datos de vigilancia ocupacional (SOII y CFOI) + Auditorías de ergonomía logística	Permite identificar actividades críticas en el almacenamiento y transporte.	Datos de alta fiabilidad; permite análisis comparativo; identifica patrones específicos en el equipo; útil para el rediseño ergonómico y normativo.	Basado en datos históricos; no mide la exposición en tiempo real; depende de la calidad de reporte.	Distribución	Michael y Gorucu (2023)
*Simulador de conducción de tractor (miniSim)	Evaluación del comportamiento del operador asociado con los riesgos en la maquinaria agrícola.	Permite la experimentación sin exposición física; proactivo.	Dependencia subjetiva al realismo; requiere validación continua.	Producción	Faust et al. (2020)
-Modelado computacional integrado (GTEM-C + datos climáticos + funciones WBGT + IMPACT model)	Posibilita proyectar escenarios futuros bajo cambio climático.	Enfoque a largo plazo; planificación estratégica y adaptación al clima.	Complejidad en la técnica; menos aplicación en la técnica; incertidumbre al futuro.	Producción	De Lima et al. (2021)
-Ensemble Boosted Regression (BRT) con variables de teledetección	Identificación espacial de zonas con mayor probabilidad de riesgo laboral asociado a condiciones ambientales.	Capacidad predictiva alta, integra múltiples variables; genera mapas de alta resolución; permite un enfoque preventivo.	Necesita datos geográficos de alta complejidad; depende de calidad de datos satelitales y climáticos.	Producción	Cromwell et al. (2021)
*IoT , Big data y sensores inteligentes	Monitoreo en tiempo real de temperatura, gases, vibraciones y condiciones ambientales en producción, almacenamiento y transporte.	Detección temprana de riesgos; monitoreo continuo; soporte a gestión preventiva.	Requiere conectividad y mantenimiento; inversión inicial elevada.	Producción, proceso y distribución	Plakantara & Karakitsiou (2025)
-Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)	Identificación de puntos críticos de fallo en maquinaria agrícola y plantas de procesamiento.	Permite una identificación estructurada y jerárquica de los fallos.	Naturaleza reactiva; dificultad para capturar la variabilidad humana y condiciones ambientales dinámicas.	Producción y proceso	Aleksić et al. (2025)
*Herramientas biométricas y sensores inerciales (Wearables)	Registro de carga biomecánica y posturas forzadas durante la cosecha y actividades logísticas.	Obtención de datos objetivos y precisos en tiempo real sobre el esfuerzo del trabajador.	Elevado costo de implementación y complejidad técnica para el procesamiento de Big Data.	Producción y distribución	Apicella & Tarabella, (2025)
-Modelos predictivos (IA y Redes Bayesianas)	Anticipación de accidentes mediante el ajuste de variables como estacionalidad y edad del trabajador.	Gestión de riesgos proactiva, centrada en el humano y adaptativa al entorno de la Industria 5.0.	Dependencia estricta de la calidad de registros históricos y necesidad de transparencia algorítmica.	Producción, proceso y distribución	Nasir et al. (2025) Shokouhi et al. (2021)
*RULA y OWAS para la evaluación ergonómica	Evalúa las posturas y carga física en labores agrícolas, con herramientas ergonómicas y capacitaciones.	Evaluación específica de riesgos musculoesqueléticos lo que posibilita la intervención dirigida.	Requiere formación técnica y tiempo para análisis de posturas.	Producción	Plakantara & Karakitsiou, (2025)
-Fuzzy Inference System (FIS)	Enfoque cuantitativo con lógica difusa para evaluar riesgos complejos y no lineales	Cuantificar la incertidumbre y reducir subjetividad en la evaluación.	Requiere datos estructurados y experiencia para realizar el modelo, no siempre se puede implementar.	Producción, proceso y distribución.	Jayalath et al. (2026)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Prevención de riesgos laborales en el sector agroalimentario: aportes de la Industria 5.0

Fase de la cadena agroalimentaria	Enfoque tradicional	Limitación del enfoque	Enfoque en la Industria 5.0	Ventaja	Ref.
Producción (actividad agrícola primaria)	Registro de accidentes	Solo mide el daño cuando ya ocurrió el accidente.	Análítica predictiva y Big Data.	Permite a través de la prevención proactiva y personalizada salvar a los trabajadores de incidentes y accidentes fatales.	Sánchez-Castañeda Michele Tiraboschi et al., 2024; Simas et al. (2021)
	Evaluación de estrés térmico	Mediciones climáticas de estaciones lejanas	Sensores Wearables (IoT).	Protección personalizada inmediata contra el estrés térmico causado por el cambio climático.	(Ioannou et al., 2021; Laines Álvarez & Jaramillo, 2026)
	Análisis de riesgos lineales e inspecciones estáticas.	No capturan la variabilidad del entorno agrícola.	Gemelos digitales.	Permite predecir fallos en escenarios y entrenar al personal sin exposición al riesgo.	(Faust et al., 2020; Jayalath et al., 2026; Patidar et al., 2023)
	Identificación de condiciones ambientales	Dificultad al identificar riesgos en grandes áreas agrícolas.	Drones y sensores	Identificación temprana de condiciones peligrosas.	(Chukwunazo Joseph et al., 2022; De Leo et al., 2023)
	Lista de chequeo y métodos posturales.	Dependencia de la subjetividad del criterio del evaluador.	Sensores corporales y sistemas wearables	Permite un seguimiento continuo del riesgo ergonómico.	(Niang et al., 2024; Thamsuwan et al., 2020)
	Análisis de manipulación manual de carga por métodos NIOSH.	No se puede detectar sobreesfuerzos en tiempo real de manera fácil.	Exoesqueletos industriales	Reduce la fatiga en el riesgo de lesiones musculoesqueléticas.	(Cardoso et al., 2024; Lee et al., 2021)
	Inspección de maquinaria agrícola	Los fallos pueden ocurrir entre intervalos de inspección	Mantenimiento predictivo mediante IA	Evita fallos inesperados y reduce el riesgo de accidentes por fallos mecánicos	(Bahar et al., 2024; Kasampalis et al., 2021)
Proceso (Transformación Industrial)	Auditoría de salud esporádicas	Muestras de aire puntuales	Sistemas de Interferencia Difusa (Fuzzy Logic)	Detección temprana de enfermedades crónicas (renales y respiratorias)	Jayalath et al., 2026; Yan et al., 2022
	Métodos de evaluación postural	Dependen de la subjetividad, fotos estáticas.	Visión computacional por medio de cámaras	Realiza una evaluación más objetiva, de forma continua y sin interrupción del flujo de trabajo.	(Apicella & Tarabella, 2025; Thamsuwan et al., 2020)
	Equipos de muestreo ambiental, bombas de aire y protocolo de monitoreo ocupacional.	No permite monitoreo constante durante la jornada.	Sensores IoT	Facilita la detección temprana de contaminantes.	(Borghi et al., 2023; Parri et al., 2023)
	Control periódico de contaminantes.	Difícil prever fallos de equipos complejos.	Implementación de robots colaborativos (cobots)	Disminuye la exposición directa del trabajador.	(Lu, 2022; Patil et al., 2023)
	Evaluación de fatiga laboral	Difícil detectar signos tempranos de fatiga.	Visión artificial.	Permiten prevenir accidentes asociados a agotamiento laboral.	(Bangaru et al., 2022; Ouyang et al., 2023)
Distribución (logística y cadena de suministro)	Registro manual de incidentes	El trabajador puede omitir datos por fatiga	Sistemas Ciber – Físicos Humanos (H-CPS)	Asegura la veracidad de los datos	(Jhael et al., 2024; Michael & Gorucu)
	Evaluación de carga y descarga.	Solo identifica lesiones después de que ocurren.	Sensores wearables y sistemas de monitoreo ergonómico.	Permite detectar sobreesfuerzos y prevenir lesiones.	(Alenjareghi et al., 2026; Motta et al., 2024)
	Identificación de accidentes de transporte.	Evaluación reactiva basada en accidentes ocurridos	Inteligencia artificial	Permite anticipar riesgos operativos y mejorar la seguridad del transporte.	Abdulrashid et al., 2024; Budzyński et al., 2024
	Supervisión de condiciones de	Falta de monitoreo en tiempo real y mayor carga operativa	Sistemas IoT	Permite supervisar condiciones de transporte de forma continua.	Rejeb, et al. (2020)
	Auditorías, inspecciones de seguridad	Baja trazabilidad y limitada transparencia en la gestión	Blockchain	Mejora la transparencia y el control de riesgos	(Kayikci et al., 2022; Rejeb, Keogh, et al., 2020)

Fuente: Elaboración propia

La gestión de riesgos laborales requiere enfoques innovadores que integren tecnología, análisis de datos y una centralidad en el trabajador (Nahavandi, 2019). Asimismo, las condiciones geográficas adversas, la variabilidad climática y la creciente digitalización de los procesos productivos demandan sistemas de evaluación que superen los indicadores tradicionales y que mantengan coherencia con los pilares de la Industria 5.0, orientados hacia la sostenibilidad, la resiliencia y la humanización tecnológica (Javaid et al., 2020), los cuales se presentan en la Tabla 4. En la fase de producción, el enfoque tradicional en la gestión de riesgos laborales se caracteriza por su naturaleza reactiva y por el uso de metodologías convencionales basadas en la observación y el registro posterior de incidentes.

Prácticas como el registro de accidentes y fatalidades después del evento reflejan una gestión centrada en las consecuencias más que en la prevención (Sánchez-Castañeda et al., 2024). Asimismo, la evaluación del estrés térmico se realiza mediante mediciones ambientales generales y observación de condiciones climáticas, lo que no representa con precisión la exposición real del trabajador (Ioannou et al., 2021; Laines y Jaramillo, 2026). El análisis de riesgos se desarrolla a través de enfoques lineales e inspecciones estáticas, lo que limita la comprensión de entornos dinámicos (Faust et al., 2020), mientras que la identificación de peligros depende de la supervisión directa en campo, dificultando su aplicación en grandes extensiones agrícolas (Chukwunazo et al., 2022). De igual manera, la evaluación ergonómica mediante listas de chequeo y métodos posturales presenta un alto grado de subjetividad (Thamsuwan et al., 2020), y el análisis de manipulación manual de carga mediante la ecuación NIOSH no permite detectar sobreesfuerzos en tiempo real (Lee et

al., 2021). Posteriormente, la exposición a pesticidas se evalúa mediante análisis químicos periódicos (Yan et al., 2022), y la maquinaria se inspecciona manualmente, lo que limita el monitoreo continuo de fallos (Bahar et al., 2024). Por otro lado, la Industria 5.0 introduce un enfoque proactivo basado en tecnologías avanzadas que permiten anticipar riesgos y mejorar la seguridad laboral.

El uso de analítica predictiva y Big Data posibilita la predicción de incidentes antes de que ocurran (Sánchez-Castañeda et al., 2024), mientras que los sensores wearables (IoT) permiten el monitoreo en tiempo real de variables fisiológicas como el estrés térmico y la frecuencia cardíaca (Ioannou et al., 2021). Asimismo, los gemelos digitales facilitan la simulación de escenarios de riesgo (Faust et al., 2020), y el uso de drones y sensores remotos permite supervisar grandes extensiones agrícolas de manera eficiente (Chukwunazo et al., 2022). Además, los sensores corporales y sistemas wearables mejoran el análisis biomecánico del trabajador (Niang et al., 2024), los exoesqueletos reducen la carga física en tareas exigentes (Cardoso et al., 2024) y los biosensores permiten detectar contaminantes químicos en tiempo real (Yan et al., 2022), fortaleciendo así la prevención y el bienestar del trabajador.

En la fase de proceso, el enfoque tradicional mantiene limitaciones similares al depender de auditorías de salud esporádicas y biomarcadores tardíos, lo que dificulta la detección temprana de enfermedades ocupacionales (Jayalath et al., 2026). El control de contaminantes se realiza mediante muestreos puntuales de aire, lo que no permite identificar variaciones durante la jornada laboral (Borghetti et al., 2023). De esta manera, los métodos de evaluación postural basados en la observación visual introducen subjetividad (Thamsuwan et al., 2020),

mientras que la supervisión de maquinaria mediante inspecciones periódicas dificulta prever fallos (Kasampalis et al., 2021). A esto se suma la evaluación de la fatiga mediante la observación del supervisor, lo que limita la detección temprana del agotamiento (Bangaru et al., 2022).

Para fortalecer la gestión de riesgos, la Industria 5.0 incorpora sistemas inteligentes que permiten el monitoreo continuo y la toma de decisiones en tiempo real. El mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial facilita la detección de fallos en maquinaria (Bahar et al., 2024), mientras que los sistemas de lógica difusa y sensores IoT permiten un control constante de la calidad del aire (Jayalath et al., 2026; Parri et al., 2023). La visión computacional mejora la evaluación postural (Apicella y Tarabella, 2025), y los robots colaborativos reducen la exposición del trabajador a tareas peligrosas (Patil et al., 2023). Asimismo, los sistemas de monitoreo de fatiga mediante visión artificial y sensores biométricos permiten detectar signos tempranos de agotamiento (Ouyang et al., 2023; Madrigal-Cerezo et al., 2026).

En la fase de distribución, el enfoque tradicional se basa en registros manuales de incidentes laborales mediante formularios administrativos, lo que puede generar omisiones o sesgos en la información (Michael & Gorucu, 2023). La evaluación de carga y descarga se realiza mediante observación ergonómica, identificando lesiones solo después de que ocurren (Motta et al., 2024). Asimismo, la identificación de accidentes en transporte se basa en registros históricos (Budzyński et al., 2024), mientras que la supervisión de condiciones de transporte y almacenamiento se realiza mediante controles documentales, y la planificación de rutas se basa en análisis manuales que no optimizan condiciones

dinámicas (Sheikh et al., 2025). En contraste, la Industria 5.0 incorpora tecnologías que optimizan la seguridad y eficiencia en las operaciones logísticas. Los sistemas ciberfísicos humanos (H-CPS) facilitan el reporte digital de incidentes (Jhael et al., 2024), mientras que los sensores wearables permiten el monitoreo ergonómico en tiempo real (Alenjareghi et al., 2026). Además, la inteligencia artificial permite analizar riesgos en transporte (Mammadov et al., 2024), los sistemas IoT mejoran el monitoreo de condiciones de transporte (Rejeb et al., 2020), y el uso de blockchain fortalece la trazabilidad y transparencia en la cadena agroalimentaria (Kayikci et al., 2022).

Estas herramientas permiten anticipar riesgos, optimizar la toma de decisiones y garantizar un enfoque preventivo centrado en el bienestar del trabajador (Ioannou et al., 2021). Además, identifica vacíos en la literatura respecto a la limitada articulación entre seguridad laboral, sostenibilidad y gestión de la cadena, proponiendo una comprensión del riesgo como un fenómeno sistémico. Del mismo modo, incorpora el enfoque de la Industria 5.0, destacando la necesidad hacia modelos preventivos, predictivos y centrados en el trabajador, fortaleciendo así la seguridad y salud ocupacional como un eje estratégico para sector.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran que los riesgos laborales en la cadena de suministro agroalimentaria son complejos, y varían según las fases del proceso productivo. En la fase de producción, los trabajadores enfrentan condiciones extremas, como estrés térmico y exposición a agroquímicos, lo que aumenta la probabilidad de enfermedades y accidentes. En el procesamiento y la distribución, los riesgos se relacionan con

posturas forzadas, movimientos repetitivos, además de la fatiga acumulada, factores que afectan tanto la salud física como mental de los trabajadores. Respecto a las tendencias actuales identificadas en la literatura científica, se observa una transición hacia la digitalización de la seguridad, donde el enfoque tradicional de protección física está siendo superado por sistemas de monitoreo inteligente y gestión de datos en tiempo real. La incorporación de tecnologías de la Industria 4.0, como los sensores inteligentes y la analítica predictiva, representa una oportunidad crucial para transformar la gestión de riesgos.

Estas tecnologías permiten una prevención más eficaz al identificar peligros y riesgos laborales de manera temprana, protegiendo a los trabajadores de forma proactiva y no reactiva conforme a la tendencia 5.0 exige. La transición hacia entornos laborales humano céntricos reduce la siniestralidad y fortalece la resiliencia y sostenibilidad al integrar el bienestar del operario con la productividad. Este enfoque permite a las cadenas de suministro adaptarse ágilmente a las exigencias de la industria 5.0. Aunque no resuelve todas las brechas de seguridad, el estudio ofrece una base para futuras intervenciones que impulsen una protección integral en la cadena agroalimentaria.

Referencias Bibliográficas

- Abdulrashid, I., Zanjirani Farahani, R., Mammadov, S., Khalafalla, M., & Chiang, W. C. (2024). Explainable artificial intelligence in transport logistics: Risk analysis for road accidents. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 186, 103563. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103563>
- Aby, G., Issa, S., Reid, J., Beseler, C., & Shutske, J. (2024). Identification of advantages and limitations of current risk assessment and hazard analysis methods when applied on autonomous agricultural machineries. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 30(2), 35–52. <https://doi.org/10.13031/JASH.15873>
- Aleksić, A., Tadić, D., Komatina, N., & Nestić, S. (2025). Failure mode and effects analysis integrated with multi-attribute decision-making methods under uncertainty: A systematic literature review. *Mathematics*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/math13132216>
- Alenjareghi, M., Sekkay, F., Dadouchi, C., & Keivanpour, S. (2026). Wearable sensors in Industry 4.0: Preventing work-related musculoskeletal disorders. *Sensors International*, 7, 100343. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2025.100343>
- Apicella, A., & Tarabella, A. (2025). Wearable technologies in agriculture 4.0: A systematic review of applications for worker safety and ergonomic support. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 15(8). <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v15-i8/26140>
- Arcury, T. A., Smith, S. A., Talton, J., & Quandt, S. (2022). The abysmal organization of work and work safety culture experienced by North Carolina Latinx women in farmworker families. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph19084516>
- Bahar, M., Schokry, A., & Alhanjouri, M. (2024). Real-time predictive maintenance system of industrial equipment without historical failure data. *Passer Journal of Basic and Applied Sciences*, 6, 266–288. <https://doi.org/10.24271/PSR.2024.188571>
- Baidwan, N., Ramirez, M., Gerr, F., Boonstra, D., Cavanaugh, J., & Casteel, C. (2021). Cost, severity and prevalence of agricultural-related injury workers' compensation claims in farming operations from 14 U.S. states. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 4309. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084309>
- Bangaru, S., Wang, C., & Aghazadeh, F. (2022). Automated and continuous fatigue monitoring in construction workers using forearm EMG and IMU wearable sensors

- and recurrent neural network. *Sensors*, 22(24). <https://doi.org/10.3390/s22249729>
- Bhattacharai, D., Singh, S., Baral, D., Sah, R., Budhathoki, S. S., & Pokharel, P. K. (2016). Work-related injuries among farmers: A cross-sectional study from rural Nepal. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 11(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s12995-016-0137-2>
- Borghini, F., Spinazzè, A., De Nardis, N., Straccini, S., Rovelli, S., Fanti, G., Oxoli, D., Cattaneo, A., Cavallo, D. M., & Brovelli, M. A. (2023). Monitoring of air pollution in agricultural settings: A systematic review of the literature. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2509444/v1>
- Budzyński, A., Federowicz, M., Jabłoński, A., Hasan, W., Gorszanów, J., & Nikitishyn, T. (2024). A machine learning approach for predicting road accidents. *Safety & Defense*, 10(2), 60–70. <https://doi.org/10.37105/sd.230>
- Calderón, R., Loja Llano, D., Tena García, T., Quiñonez, K., & Chávez, J. (2025). Risks of greater incidence in the occurrence of work accidents and occupational diseases: A bibliographic review. *Health Leadership and Quality of Life*, 4, 74. <https://doi.org/10.56294/hl202574>
- Cardoso, A., Ribeiro, A., Carneiro, P., & Colim, A. (2024). Evaluating exoskeletons for WMSD prevention: A systematic review of applications and ergonomic approach in occupational settings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph21121695>
- Chaiklieng, S., Suggaravetsiri, P., Poochada, W., Thinkhamrop, W., & Dacherngkhao, T. (2022). The burden of work-related diseases and injuries among agriculturists: A three-year retrospective study in Thailand. *Safety*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/safety8040078>
- Chen, Y. H., Riley, A. R., Duchowny, K. A., et al. (2022). COVID-19 mortality and excess mortality among working-age residents in California, USA, by occupational sector. *The Lancet Public Health*, 7(9), e744–e753. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(22\)00191-8](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00191-8)
- Chukwunazo, E., Lecturer, S., & Remigius Obinna, O. (2022). A drone-based crop monitoring system in precision agriculture using RF remote control. *International Journal of Advances in Computer and Electronics Engineering*, 7(1). https://www.researchgate.net/publication/361118905_A_Drone_Based_Crop_Monitoring_System_in_Precision_Agriculture_using_RF_Remote_Control_Omeje_Crescent_Onyebuchi
- Colombathanthri, A., Jomaa, W., & Chinniah, Y. A. (2025). Human-centered cyber-physical systems in manufacturing industry: A systematic search and review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 136(5), 2107–2141. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14959-w>
- Cromwell, E. A., Osborne, J., Unnasch, T., et al. (2021). Predicting the environmental suitability for onchocerciasis in Africa. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 15(7), e0008824. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008824>
- De Leo, F., Elia, V., Gnoni, M., (2023). Assessment of safety levels in the agricultural sector for supporting social sustainability. *Sustainability*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/su151612585>
- Dos Santos, J., Valli, J., Sesse, N. (2021). Sociodemographic characteristics and exposure patterns of pesticide-related cases. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 76(8), 494–503. <https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1848773>
- Einarsdóttir, J., & Gunnlaugsson, G. (2024). Child fatalities in tractor-related accidents in rural Iceland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph21101295>
- Ekmekci, M., & Yaman, S. (2024). Occupational health and safety among farmers. *BMC Public Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20249-7>

- Fassa, A., Faria, N., Szortyka, A. (2021). Child labor in family tobacco farms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(22), 12255. <https://doi.org/10.3390/ijerph182212255>
- Faust, K., Casteel, C., McGehee, D., et al. (2020). Examination of realism in a high-fidelity tractor driving simulator. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 26(4), 123–137. <https://doi.org/10.13031/jash.14043>
- Gallego, V., Sánchez, A., Martón, I., & Martorell, S. (2021). Analysis of occupational accidents in Spain using shrinkage regression methods. *Safety Science*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105000>
- García, J., & Osca, A. (2020). Occupational accidents in immigrant workers in Spain: The complex role of culture. *Safety Science*, 121, 507–515. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.027>
- Guimarães, R., Muzi, C., Meira, K., Dos Santos, R., Saraiva, M., & Rohlfs, D. (2021). Occupational exposure to carcinogens in Brazil: An approach. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 76(7), 414–423. <https://doi.org/10.1080/19338244.2021.1900044>
- Hendricks, K., Hendricks, S., & Layne, L. (2021). A national overview of youth and injury trends on U.S. farms, 2001–2014. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 27(3), 121–134. <https://doi.org/10.13031/jash.14473>
- Ioannou, L., Mantzios, K., Tsoutsoubi, L., Nintou, E., Vliora, M., Gkiata, P., Dallas, C. N., Gkikas, G., Agaliotis, G., Sfakianakis, K., Kapnia, A., Testa, D., Amorim, T., Dinas, P. C., Mayor, T. S., Gao, C., Nybo, L., & Flouris, A. (2021). Occupational heat stress: Multi-country observations and interventions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph18126303>
- Jakob, M., Santa, D., Holte, K., Sikkeland, I., Hilt, B., & Lundqvist, P. (2021). Occupational health and safety in agriculture: A brief report on organization, legislation and support in selected European countries. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 28(3), 452–457. <https://doi.org/10.26444/AAEM/140197>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R., Haq, M., Raina, A., & Suman, R. (2020). Industry 5.0: Potential applications in COVID-19. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5(4), 507–530. <https://doi.org/10.1142/S2424862220500220>
- Jayalath, M., Ratnayake, R., Perera, H., & Thibbotuwawa, A. (2026). An analytical approach to risk assessment in agri-food supply chains using fuzzy inference systems. *Supply Chain Analytics*, 13(2), 100179. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100179>
- Jhael, N., Prado, G., Roberto, F., Chicaiza, L., Aníbal, C., Mantilla, R., Humberto, C., Rosero, S., Quezada, A. S., Ortega, T., & Quezada, S. (2024). Supply chain 5.0 performance indicators for agroindustry: A review of the literature. *ConcienciaDigital*, 7(3), 112–134. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i3.3089>
- Kasampalis, D. S., Tsouvaltzis, P., Ntouros, K., Gertsis, A., Gitas, I., & Siomos, A. S. (2021). The use of digital imaging, chlorophyll fluorescence and Vis/NIR spectroscopy in assessing the ripening stage and freshness status of bell pepper fruit. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106265. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106265>
- Kayikci, Y., Subramanian, N., Dora, M., & Bhatia, M. S. (2022). Food supply chain in the era of Industry 4.0: Blockchain technology implementation opportunities and impediments from the perspective of people, process, performance, and technology. *Production Planning & Control*, 33(2–3), 301–321. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810757>
- Kim, K., Kim, H., Lee, M., Jung, W., & Choi, D. (2022). Incidence rates of agricultural machine-related injuries in South Korea. *International Journal of Environmental*

- Research and Public Health, 19(23), 15588.
<https://doi.org/10.3390/ijerph192315588>
- Kurth, L., Meyers, A. R., Wurzelbacher, S., Naber, S. J., & Cooper, C. (2024). Respiratory-related workers' compensation claims from private employers—Ohio, 2001–2018. *Journal of Safety Research*, 90, 128–136.
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.06.004>
- Laines, Y. M., & Jaramillo, K. (2026). Seguridad y salud ocupacional del trabajador agrícola ecuatoriano ante el cambio climático y la exposición al estrés térmico. *Revista Universidad de Guayaquil*, 140(1), 126–144.
<https://doi.org/10.53591/RUG.V140I1.2157>
- Lu, Y. (2022). A cyber-physical system approach to zero-defect manufacturing in light-gauge steel frame assemblies. *Procedia Computer Science*, 200, 924–933.
<https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Madrigal, R., Domínguez, N., & Martín-, A. (2026). Wearable biosensing and machine learning for data-driven training and coaching support. *Biosensors*, 16(2), 97.
<https://doi.org/10.3390/bios16020097>
- Michael, J, & Gorucu, S. (2023). Severe injuries from product movement in the U.S. food supply chain. *Journal of Safety Research*, 85, 234–241.
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.02.007>
- Motta, F., Varrecchia, T., Chini, G., Ranavolo, A., & Galli, M. (2024). The use of wearable systems for assessing work-related risks related to the musculoskeletal system: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(12).
<https://doi.org/10.3390/ijerph21121567>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16).
<https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Nasir, V., Hosseini, A., Binfield, L., Hasani, N., Ghotb, S., Diederichs, V., Fox, G. O., McCann, A. J., Riggio, M., Chandler, K. D., & Hansen, E. (2025). Human centric Industry 5.0 manufacturing: A multi level framework from design to consumption within Society 5.0. *International Journal of Sustainable Engineering*, 18(1).
<https://doi.org/10.1080/19397038.2025.2551000>
- Niang, M., Reponen, T., Talaska, G., Ying, J., Reichard, J. F., Pecquet, A., & Maier, A. (2024). Preliminary human health risk assessment of antibiotic exposures in human waste handling occupations. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 21(10), 721–740.
<https://doi.org/10.1080/15459624.2024.2405405>
- Noroozi, E., & Taherian, A. R. (2023). Occupational health and safety in the food and beverage industry.
<https://doi.org/10.1201/9781003303152>
- Ouyang, Y., Liu, M., Cheng, C., Yang, Y., He, S., & Zheng, L. (2023). Monitoring inattention in construction workers caused by physical fatigue using electrocardiograph (ECG) and galvanic skin response (GSR) sensors. *Sensors*, 23(17).
<https://doi.org/10.3390/s23177405>
- Parri, L., Tani, M., Baldo, D., Parrino, S., Landi, E., Mugnaini, M., & Fort, A. (2023). A distributed IoT air quality measurement system for high-risk workplace safety enhancement. *Sensors*, 23(11).
<https://doi.org/10.3390/s23115060>
- Patidar, A., Sharma, M., Agrawal, R., & Sangwan, K. S. (2023). Antecedents of a resilient sustainable supply chain. *Procedia CIRP*, 116, 558–563.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.094>
- Patil, S., Vasu, V., & Srinadh, K. V. S. (2023). Advances and perspectives in collaborative robotics: A review of key technologies and emerging trends. *Discover Mechanical Engineering*, 2(1).
<https://doi.org/10.1007/s44245-023-00021-8>
- Plakantara, S., & Karakitsiou, A. (2025). Transforming agrifood supply chains with digital technologies: A systematic review of safety and quality risk management. *Operations Research Forum*, 6(3).
<https://doi.org/10.1007/s43069-025-00511-3>
- Rejeb, A., Keogh, J., Zailani, S., Treiblmaier, H., & Rejeb, K. (2020). Blockchain technology in the food industry: A review of

- potentials, challenges and future research directions. *Logistics*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/logistics4040027>
- Rejeb, A., Simske, S., Rejeb, K., Treiblmaier, H., & Zailani, S. (2020). Internet of Things research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis. *Internet of Things*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100318>
- Russo, P., & Carpenter, D. (2019). Occupational exposures to carcinogens in an industry: Identifying and communicating chemical risk. *International Journal of Pollution Research*. <https://doi.org/10.29011/IJPR-105>
- Sharma, M., Antony, R., Vadalkar, S., & Ishizaka, A. (2024). Role of Industry 4.0 technologies and human-machine interaction for de-carbonization of food supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 468, 142922. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142922>
- Sheikh, A., Sheikh, M., & Rinvee, T. (2025). Smart transportation systems with artificial intelligence: Enhancing efficiency, safety, and sustainability. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5767344>
- Shokouhi, Y., Nassiri, P., Mohammadfam, I., & Azam, K. (2021). Predicting the probability of occupational fall incidents: A Bayesian network model for the oil industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 27(3), 654–663. <https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1607052>
- Sikalidis, A., Kristo, A., Reaves, S., Kurfess, F. J., DeLay, A., Vasilaky, K., & Donegan, L. (2022). Capacity strengthening undertaking Farm organized response of workers against risk for diabetes: A concept approach. *Sensors*, 22(21), 8299. <https://doi.org/10.3390/s22218299>
- Simas, J., Yamauchi, L., & Alencar, M. (2021). Risk factors associated among respiratory health and banana farming. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 76(4), 181–187. <https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1794773>
- Spieth, P., Schneckenberg, D., & Ricart, J. (2014). Business model innovation: State of the art and future challenges for the field. *R&D Management*, 44(3), 237–247. <https://doi.org/10.1111/radm.12071>
- Thamsuwan, O., Galvin, K., Tchong-French, M., Aulck, L., Boyle, L. N., Ching, R. P., McQuade, K. J., & Johnson, P. W. (2020). Comparisons of physical exposure between workers harvesting apples on mobile orchard platforms and ladders. *Applied Ergonomics*, 89, 103192. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103192>
- Torres, B., Morales, L., Lema, F., Sigüenza-, L., & Tubón, E. (2025). Metodologías para la evaluación de sostenibilidad en cadenas de suministro agroalimentarias. 593 digital Publisher CEIT, 10(6), 203–220. <https://doi.org/10.33386/593dp.2025.6.3601>
- Tuni, A., Cicerelli, F., & Giorgetti, M. (2025). Power in sustainable supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Purchasing and Supply Management*. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2025.101082>
- Vielma, C., Achebak, H., Quijal, M., Lloyd, S. J., Chevance, G., & Ballester, J. (2024). Association between temperature and occupational injuries in Spain. *Environment International*, 192, 109006. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109006>
- Yan, T., Yang, S., Zhou, X., Zhang, C., Zhu, X., Ma, W., Tang, S., & Li, J. (2022a). Chronic kidney disease among greenhouse workers and field workers in China. *Chemosphere*, 302, 134905. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134905>
- Yang, L., Branscum, A., Bovbjerg, V., Cude, C., Weston, C., & Kincl, L. (2021). Assessing disabling and non-disabling injuries and illnesses using workers compensation data. *Journal of Safety Research*, 77, 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.03.007>
- Zhai, H. (2023). A dynamic model for risk assessment of cross-border fresh agricultural

supply chain. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(7), 511–518.

<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.014075>

6



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Shirley Trinidad Chagmana Ases, Anahi Estefania Guamangate Casillas, Lorena Catalina Sigüenza Guzmán, Edith Elena Tubón Núñez, Freddy Roberto Lema Chicaiza y Luis Alberto Morales Perrazo.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT)

Shirley Trinidad Chagmana Ases: Conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Anahi Estefania Guamangate Casillas: Curación y organización de los datos, participación en la recolección de información, validación de los resultados obtenidos y elaboración de representaciones gráficas y visualización de los datos.

Lorena Catalina Sigüenza Guzmán: Conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Edith Elena Tubón Núñez: Conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Freddy Roberto Lema Chicaiza: Conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Luis Alberto Morales Perrazo: Conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.

Declaración de financiamiento

La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.

Declaración del editor

El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.

Declaración de los revisores

Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.

Declaración ética de la investigación

Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.

