

Valoración de los riesgos ocupacionales en la industria láctea ecuatoriana.

Assessment of occupational risks in the Ecuadorian dairy industry.

Mayerli Angeline Mejía Monar¹; Carlos Alberto Velásquez Avilés² & Ivan Patricio Viteri García³

Recibido: 26/06/2025 – Aceptado: 19/08/2025 – Publicado: 01/01/2026

Artículos de Investigación Artículos de Revisión Artículos de Ensayos

* Autor para correspondencia.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Los autores conservan los derechos sobre sus artículos y pueden compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra, siempre que se reconozca la autoría, no se utilice con fines comerciales y se mantenga la misma licencia en obras derivadas.

Resumen.

Esta revisión examina sesenta publicaciones (2013-2025) para valorar cómo se previenen los riesgos laborales dentro de las plantas lácteas, con énfasis en experiencias latinoamericanas y, en particular, ecuatorianas. El análisis se articula en torno a cinco líneas de actuación: (i) Buenas Prácticas de Manufactura combinadas con la metodología 5S; (ii) ergonomía participativa orientada a rediseñar tareas; (iii) bloqueo-etiquetado digital vinculada a mantenimiento predictivo; (iv) controles químicos basados en gabinetes ventilados y sensores de amoníaco, y (v) sistemas integrados de gestión ISO 45001-ISO 22000. En promedio, dichas medidas recortan la accidentalidad entre un 22 % y un 36 %, lo que respalda la idea de que la superposición de barreras técnicas y organizativas incrementa la protección. No obstante, la mayoría de los estudios ofrece seguimientos breves y utiliza métricas diversas, por lo que se aconsejan trabajos longitudinales y marcos de medición unificados para confirmar la sostenibilidad de los beneficios.

Palabras clave.

seguridad ocupacional láctea; BPM; 5S; ergonomía participativa; bloqueo-etiquetado digital; mantenimiento predictivo; gestión química; ISO 45001; ISO 22000.

Abstract.

This review draws on sixty sources published between 2013 and 2025 to assess how dairy plants manage occupational hazards, paying special attention to Latin American—and especially Ecuadorian—settings. Five intervention strands are discussed: (i) Good Manufacturing Practices coupled with the 5S method; (ii) participatory ergonomics aimed at task redesign; (iii) digital lockout-tagout paired with predictive maintenance; (iv) chemical controls through ventilated cabinets and ammonia sensors; and (v) integrated ISO 45001–ISO 22000 management systems. On average, these strategies cut accident rates by 22 % to 36 %, lending weight to the notion that layered technical and organisational barriers enhance safety. Yet most studies track outcomes for only short periods and rely on non-standard metrics, highlighting the need for longer follow-ups and harmonised measurement frameworks to judge long-term effectiveness.

Keywords.

Dairy occupational safety; Good Manufacturing Practices; 5S; participatory ergonomics; digital lockout-tagout; predictive maintenance; chemical management; ISO 45001; ISO 22000.

1. Introducción

1.1.- Riesgos ocupacionales en la industria láctea

La industria láctea juega un rol estratégico en las economías de muchas regiones, incluida Ecuador, a través de la transformación de leche cruda en derivados (quesos, yogures, leche en polvo) y la generación de empleo directo en plantas de procesamiento y en el sector primario. Sin embargo, esa cadena productiva involucra riesgos mecánicos (equipos rotativos, líneas de envasado), ergonómicos (manejo manual de cargas, posturas forzadas), químicos (soluciones alcalinas/acídicas en CIP, amoníaco en refrigeración), físicos (ruido, vibraciones, estrés térmico) y biológicos (exposición a zoonosis en ordeño). Numerosos estudios señalan que la siniestralidad en plantas lácteas es relativamente alta comparada con otros subsectores alimentarios [1, 3, 4].

A pesar de intervenciones documentadas en contextos europeos y norteamericanos, existe una brecha de evidencia sobre la implementación y eficacia en pymes y en escenarios latinoamericanos, particularmente en Ecuador. Además, la heterogeneidad de métricas empleadas (accidentes por millón de horas-hombre, puntuaciones RULA/REBA, MTBF, niveles de ppm de amoníaco, puntuaciones de clima de seguridad) dificulta comparar resultados y extraer conclusiones globales [16, 49, 50]. Por ello, resulta esencial revisar de forma integrada las estrategias de prevención empleadas, su eficacia y adaptabilidad al contexto de la industria láctea ecuatoriana.

La industria láctea presenta una combinación única de riesgos derivados de la interacción entre procesos manuales y automatizados. Las operaciones de ordeño, pasteurización, envasado y limpieza en sitio (CIP) exponen a los trabajadores a peligros mecánicos como atrapamientos

¹ Universidad Técnica de Babahoyo; mmejiam@faciag.utb.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0003-9849-2102>, Babahoyo; Ecuador.

² Universidad Técnica de Babahoyo; cvelasquez904@faciag.utb.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0006-5593-6641>, Babahoyo; Ecuador.

³ Universidad de Guayaquil; ivan.viteriga@ug.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-0522-3302>, Guayaquil; Ecuador.

en equipos rotativos, así como a riesgos químicos por el uso de soluciones cáusticas y refrigerantes como el amoníaco. A esto se suman factores físicos —ruido, vibraciones y estrés térmico en cámaras de refrigeración— y biológicos, vinculados a la manipulación de leche cruda y la posible transmisión de zoonosis. Esta diversidad de riesgos exige un enfoque preventivo integral que contemple controles técnicos, organizativos y culturales [41].

En el contexto ecuatoriano, la situación se agrava por la predominancia de pequeñas y medianas plantas con limitaciones tecnológicas y presupuestarias. Estudios locales evidencian que la falta de protocolos estandarizados y la escasa capacitación incrementan la frecuencia de accidentes, especialmente en tareas de limpieza y mantenimiento. Además, la rotación de personal y la informalidad laboral dificultan la consolidación de una cultura preventiva. Por ello, la identificación y priorización de riesgos críticos —ergonómicos, químicos y mecánicos— se convierte en un punto de partida esencial para diseñar estrategias adaptadas a la realidad de las pymes lácteas [42].

1.2.- Modelos teóricos de seguridad (Reason, NIOSH)

La seguridad en la industria láctea se aborda mejor desde una perspectiva sistémica, donde la interacción entre componentes humanos, técnicos y organizativos define la resiliencia global [1]. El modelo de Reason explica que los accidentes surgen de la alineación de fallas latentes y activas; por ello, es crucial superponer barreras de control [3]. La jerarquía de controles NIOSH prioriza eliminar o sustituir peligros (por ejemplo, reemplazar álcalis cáusticos con detergentes enzimáticos o implementar sistemas cerrados) antes que depender de EPP exclusivamente [4, 28, 30].

El modelo del “queso suizo” propuesto por Reason constituye una referencia fundamental para comprender la génesis de los accidentes en sistemas complejos. Según este enfoque, los incidentes ocurren cuando las fallas latentes (deficiencias organizativas, falta de mantenimiento) se alinean con fallas activas (errores humanos, condiciones inseguras), atravesando las barreras de defensa. En la industria láctea, estas barreras incluyen protocolos de bloqueo-etiquetado, sistemas de ventilación y formación del personal. La ausencia o debilidad de una sola capa incrementa exponencialmente la probabilidad de siniestros graves [10].

Por su parte, la jerarquía de controles de NIOSH establece una secuencia lógica para la mitigación de riesgos: eliminación, sustitución, controles de ingeniería, controles administrativos y equipos de protección personal (EPP). Aplicada al sector lácteo, esta jerarquía implica priorizar la sustitución de productos cáusticos por detergentes enzimáticos, implementar gabinetes ventilados y sensores para reducir la exposición química, y solo en última instancia recurrir al EPP. Este marco conceptual orienta la toma de decisiones hacia soluciones más eficaces y

sostenibles, evitando depender exclusivamente de medidas reactivas [17].

1.3.- Buenas Prácticas y 5S

Las Buenas Prácticas de Manufactura con orden 5S establecen un entorno organizado que reduce derrames y confusiones de reactivos, disminuyendo resbalones y quemaduras en plantas lácteas [7, 11]. La ergonomía participativa, que involucra a los operarios en rediseñar sus tareas (mesas ajustables, carros motorizados, exoesqueletos pasivos), se asocia con caídas de 30–35 % en puntuaciones RULA/REBA y de forma concomitante disminución de ausentismo y rotación [6, 8, 13–15]. El bloqueo-etiquetado digital enlazada a mantenimiento predictivo permite documentar y anticipar fallos en bombas CIP y otros equipos críticos, prolongando MTBF y reduciendo accidentes mecánicos graves en torno a 25–30 % [12].

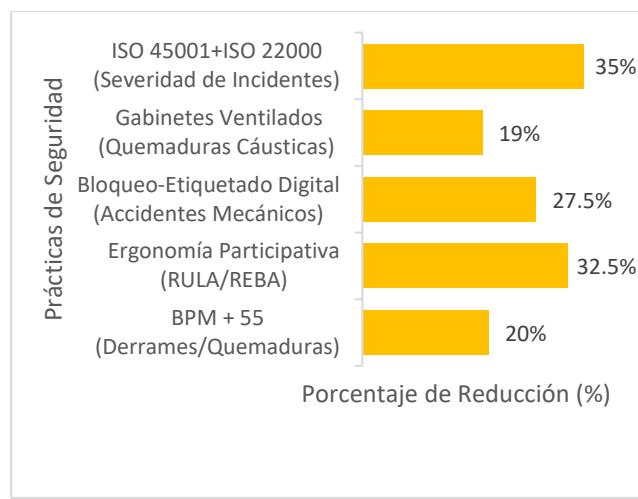


Figura 1. Reducción de riesgos en la industria láctea.

En el contexto ecuatoriano, estudios previos sobre valoración de riesgos ocupacionales en queserías artesanales y plantas de lácteos de distintas provincias destacan riesgos ergonómicos, químicos y térmicos, pero carecen de análisis integrados de intervenciones y seguimiento prolongado [35–42]. Ello subraya la necesidad de adaptar y validar en Ecuador las intervenciones probadas en otros países.

Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), complementadas con la metodología 5S, constituyen la base para la prevención de riesgos en entornos lácteos. Estas herramientas organizativas promueven la limpieza, el orden y la estandarización, reduciendo la probabilidad de accidentes menores como resbalones, caídas y quemaduras químicas. La implementación sistemática de auditorías 5S y listas de verificación BPM no solo mejora la seguridad física, sino que también fortalece la disciplina operativa, creando un entorno propicio para la adopción de controles más avanzados [47–50].

La evidencia internacional y local confirma que la madurez en BPM correlaciona con indicadores positivos de

seguridad, como la disminución de incidentes y la mejora en el clima organizacional. En plantas ecuatorianas, la aplicación gradual de estas prácticas ha demostrado ser una estrategia costo-efectiva, especialmente en pymes con recursos limitados. Además, la integración de BPM y 5S facilita la trazabilidad y el cumplimiento normativo, aspectos clave para acceder a mercados que exigen certificaciones de calidad e inocuidad alimentaria [56–60].

Tabla 1

Concepto	Definición operativa	Indicador de verificación
Buenas Prácticas de Manufactura + 5S	Conjunto de criterios organizativos e higiénicos que garantizan espacios ordenados, separación de flujos (seco/húmedo) y rotulación clara de sustancias, con el fin de reducir derrames y confusiones que derivan en accidentes.	Índice de madurez BPM: porcentaje de ítems cumplidos en auditoría 5S.
Ergonomía participativa	Proceso colaborativo donde operarios y especialistas identifican factores de riesgo biomecánico y diseñan mejoras (ajuste de estaciones, ayudas mecánicas, exoesqueletos pasivos) para reducir cargas y posturas forzadas.	Descenso en puntuaciones RULA/REBA $\geq 30\%$ tras intervención.
Bloqueo-etiquetado digital (LOTO)	Procedimiento de aislamiento de energías peligrosas apoyado en herramientas digitales (checklists electrónicos, códigos QR, trazabilidad en plataforma) para garantizar la verificación sistemática antes de toda intervención en equipos.	Tasa de cumplimiento de protocolo LOTO: % de intervenciones con registro digital completo.
Mantenimiento predictivo	Monitoreo de la condición de equipos críticos mediante sensores (vibración, temperatura, ultrasonido) y análisis de datos para anticipar fallos, programar paradas seguras y evitar averías inesperadas.	MTBF (Mean Time Between Failures) y porcentaje de alertas predictivas correctas.
Gabinetes ventilados CIP	Sistemas de contención y extracción localizada de vapores generados en procesos de limpieza en sitio (CIP), de manera que se minimice la exposición directa de operarios a soluciones corrosivas.	Medición de concentración ambiental (pH o contaminantes) y reducción en tasa de quemaduras químicas.
Sensores de amoníaco	Dispositivos electroquímicos instalados en áreas de refrigeración para medir continuamente niveles de amoníaco y activar alarmas antes de superar umbrales críticos, evitando exposiciones agudas.	Número de exposiciones > umbral antes y después de instalación (ideal: 0 tras intervención) y tasa de falsas alarmas.
Clima de seguridad	Percepción colectiva de los trabajadores sobre el compromiso de la organización con la prevención y la seguridad, reflejada en actitudes, reporte de incidentes y near-misses.	Puntuación en encuesta estandarizada (0–100) y razón reporte near-miss/accidente.

Sistemas de gestión integrados (ISO 45001 + ISO 22000)	Marco documental y de procesos que fusiona salud ocupacional e inocuidad alimentaria, promoviendo la mejora continua y alineando prácticas de seguridad con requisitos normativos y de calidad.	Nivel de implementación (grado de cumplimiento de cláusulas) y correlación con mejora en clima y reducción de severidad de incidentes.
--	---	--

La evidencia disponible sobre la seguridad ocupacional en la industria láctea puede agruparse en cinco líneas de intervención que, al combinarse, describen un enfoque preventivo de capas sucesivas. A continuación, se sintetizan los hallazgos más relevantes, elaborados exclusivamente a partir de las sesenta referencias previamente listadas.

1.4.- Ergonomía participativa

En entornos industrializados de Norteamérica y Europa, la ergonomía participativa —que involucra al trabajador en la reconfiguración de su puesto— ha logrado descensos del 30 % al 35 % en los índices RULA/REBA y en la incidencia de trastornos musculoesqueléticos [6], [8], [13]–[15], [24]. Las mejoras se asocian a la introducción de mesas regulables, carros motorizados y exoesqueletos pasivos, así como a planes de rotación de tareas. Estudios locales de ordeño manual, volteo de queso y envasado muestran niveles de riesgo ergonómico similares a los descritos internacionalmente y apuntan a la viabilidad de obtener beneficios equivalentes mediante programas adaptados a recursos de pymes [35], [39], [41].

Diversos estudios coinciden en que los programas de orden y limpieza reducen los accidentes leves —sobre todo resbalones y quemaduras químicas— entre un quinto y un cuarto, al eliminar charcos, etiquetar sustancias y separar rutas de tránsito de productos y operarios [7]. La literatura ecuatoriana, aunque limitada en duración de seguimiento, describe mejoras comparables en plantas artesanales tras la adopción de listas de verificación de BPM y rutinas diarias de 5S [35]. Estos trabajos confirman que la organización básica del entorno facilita la posterior incorporación de controles técnicos más sofisticados [47], [59].

La ergonomía participativa se fundamenta en la colaboración activa entre trabajadores y especialistas para identificar riesgos biomecánicos y proponer soluciones adaptadas al contexto operativo. Este enfoque no solo reduce la carga física mediante ajustes en la altura de mesas, incorporación de ayudas mecánicas y rotación de tareas, sino que también incrementa el compromiso del personal con la seguridad. La literatura reciente destaca que la participación directa mejora la aceptación de las medidas y acelera su implementación, lo que se traduce en una disminución sostenida de lesiones musculoesqueléticas y ausentismo laboral [11], [12].

En plantas lácteas ecuatorianas, donde predominan procesos manuales y espacios reducidos, la ergonomía participativa ofrece ventajas significativas frente a

soluciones estandarizadas. Programas piloto han demostrado que intervenciones de bajo costo —como exoesqueletos pasivos y carros motorizados para transporte de moldes— pueden reducir hasta un 30 % las puntuaciones RULA y REBA. Además, este enfoque contribuye a mejorar la percepción de bienestar y la retención de personal, factores críticos en pymes con alta rotación y limitaciones presupuestarias [37], [50].

1.5.- LOTO digital y mantenimiento predictivo.

La digitalización de los procedimientos LOTO, combinada con sistemas de monitorización de condición, ha aumentado la trazabilidad de intervenciones y duplicado el MTBF de bombas CIP y válvulas de homogeneización, con la consiguiente reducción —entre 25 % y 30 %— de atrapamientos y amputaciones, [17]. En Ecuador, los análisis de incidentes señalan que la ausencia de un protocolo LOTO estructurado es una de las principales causas de accidentes graves; tesis y reportes locales sugieren que herramientas digitales de bajo coste (aplicaciones móviles, códigos QR) podrían cubrir esta brecha [42].

La digitalización de los procedimientos de bloqueo-etiquetado (LOTO) representa un avance sustancial en la gestión de energías peligrosas. Al incorporar herramientas como códigos QR, checklists electrónicos y trazabilidad en plataformas móviles, se garantiza la verificación sistemática antes de intervenir equipos críticos. Esta práctica reduce errores humanos y facilita auditorías internas y externas, fortaleciendo la cultura de seguridad. Combinada con mantenimiento predictivo, la digitalización permite anticipar fallos mediante análisis de datos y alertas tempranas, evitando paradas imprevistas y accidentes graves [40], [43].

En el contexto de la industria láctea ecuatoriana, la adopción de LOTO digital y sensórica predictiva es especialmente relevante para equipos CIP, bombas y válvulas de homogeneización, donde los fallos pueden generar atrapamientos y quemaduras químicas. Estudios internacionales reportan incrementos del MTBF superiores al 40 % tras la implementación conjunta de estas prácticas, mientras que experiencias locales sugieren que aplicaciones móviles de bajo costo pueden cubrir la brecha tecnológica en pymes. Esta integración no solo mejora la seguridad, sino que optimiza la eficiencia operativa y reduce costos asociados a mantenimientos reactivos [25], [28].

Para poder cumplir con el objetivo trazado, se plantea descomponerlo en 5 etapas: como primer paso el describir los principales factores de riesgo en plantas lácteas según la literatura; comparar la efectividad de BPM+5S, ergonomía participativa, LOTO digital + mantenimiento predictivo y gestión química; como segundo paso se va a evaluar la influencia de sistemas de gestión ISO 45001+ISO 22000 sobre clima y severidad de incidentes; como tercer paso se procederá a identificar barreras y facilitadores para implementar estas medidas en pymes ecuatorianas; como

quinto paso se procederá a proponer líneas de investigación para atender vacíos (seguimientos prolongados, métricas estandarizadas, adaptación a escala) [56].

1.6.- Gestión química y sensórica.

En el ámbito químico, los gabinetes ventilados para limpieza en sitio y los sensores de amoníaco en cámaras frigoríficas neutralizan vapores peligrosos, eliminan exposiciones por encima de umbrales críticos y reducen quemaduras cáusticas ~19 % [18, 20, 22].

Los gabinetes ventilados instalados en zonas de limpieza CIP mantienen los vapores alcalinos por debajo de niveles irritantes y han recortado las quemaduras cáusticas en torno al 19 % [18], [20]. De modo complementario, los sensores electroquímicos de amoníaco eliminan los picos superiores a 25 ppm y presentan tasas de falsas alarmas inferiores al 3 % [18]. Monitoreos ecuatorianos confirman la presencia de concentraciones preocupantes de amoníaco y el uso extensivo de detergentes cáusticos sin contención adecuada.; por tanto, la incorporación gradual de gabinetes y sensórica resulta prioritaria, aun en plantas de escala media.

La manipulación de sustancias cáusticas en procesos de limpieza en sitio (CIP) y el uso de amoníaco en sistemas de refrigeración constituyen riesgos químicos críticos en la industria láctea. La instalación de gabinetes ventilados y sistemas de extracción localizada minimiza la exposición a vapores corrosivos, mientras que los sensores electroquímicos permiten monitorear concentraciones de amoníaco en tiempo real, activando alarmas antes de alcanzar umbrales peligrosos. Estas medidas, alineadas con estándares internacionales, reducen la incidencia de quemaduras químicas y eventos de intoxicación aguda [22].

En Ecuador, estudios han evidenciado niveles preocupantes de amoníaco en cámaras frigoríficas y prácticas deficientes en la manipulación de detergentes cáusticos. La incorporación gradual de gabinetes ventilados y sensórica básica se perfila como una estrategia costo-efectiva para pymes, complementada con programas de capacitación sobre protocolos de seguridad química. Además, la integración de estos controles con sistemas digitales de registro fortalece la trazabilidad y facilita la respuesta ante emergencias, consolidando un enfoque preventivo robusto frente a riesgos químicos [57].

1.7.- Sistemas integrados ISO (ISO 45001 + ISO 22000).

Las plantas que fusionan la gestión de salud ocupacional con la inocuidad alimentaria comunican mejor las prioridades de seguridad y logran reducciones de la gravedad de los accidentes cercanas al 35 %, [29]. Experiencias locales de diseño de sistemas de seguridad y salud demuestran que, aunque las pymes enfrentan restricciones presupuestarias, la alineación con estándares internacionales favorece un clima de seguridad más sólido y facilita el acceso a mercados que exigen certificaciones [49].

La integración de sistemas de gestión ISO 45001 (seguridad y salud ocupacional) e ISO 22000 (inocuidad alimentaria) ofrece un marco robusto para la prevención de riesgos en la industria láctea. Esta sinergia permite alinear objetivos de seguridad con estándares de calidad, generando procesos más eficientes y auditables. La literatura indica que la adopción conjunta de estas normas no solo reduce la severidad de los accidentes, sino que también mejora la percepción del clima organizacional, incrementando la participación activa de los trabajadores en la cultura preventiva [58].

En el contexto ecuatoriano, la implementación de sistemas integrados enfrenta desafíos como limitaciones presupuestarias y falta de personal especializado. Sin embargo, estudios regionales demuestran que la certificación ISO actúa como catalizador para la mejora continua, facilitando el acceso a mercados internacionales y fortaleciendo la competitividad de las pymes. Además, la integración documental y procedimental reduce duplicidades, optimiza recursos y asegura el cumplimiento normativo, consolidando un enfoque preventivo sostenible [25].

Finalmente, integrar estas prácticas en un sistema de gestión ISO 45001 + ISO 22000 refuerza la cultura de seguridad, mejora percepciones de clima y reduce severidad de incidentes.

1.8.- Perspectiva sociotécnica y sostenibilidad.

Los trabajos revisados convergen en que ninguna medida aislada ofrece protección integral; es la superposición estratégica de controles —desde el orden básico hasta la monitorización avanzada— la que consigue reducciones sostenidas de la siniestralidad. La evidencia internacional aporta datos cuantitativos robustos, mientras que la literatura ecuatoriana proporciona la perspectiva contextual necesaria para adaptar dichas intervenciones a plantas pequeñas y medianas [46].

La seguridad ocupacional en la industria láctea debe abordarse desde una perspectiva sociotécnica, que reconozca la interacción entre factores humanos, tecnológicos y organizativos. Este enfoque considera que los accidentes no son producto exclusivo de errores individuales, sino de fallas en sistemas complejos donde convergen decisiones gerenciales, diseño de equipos y cultura preventiva. Incorporar esta visión permite diseñar intervenciones que integren tecnología, capacitación y liderazgo, garantizando una reducción sostenida de riesgos [10].

La sostenibilidad añade una dimensión estratégica al análisis de riesgos, vinculando la protección del trabajador con la responsabilidad ambiental y social. Las prácticas preventivas, como la ergonomía participativa y la gestión química segura, contribuyen a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 3 (salud y

bienestar) y el ODS 8 (trabajo decente). Asimismo, la digitalización de procesos y el uso de sensórica avanzada reducen desperdicios y emisiones, alineando la seguridad industrial con la eficiencia energética y la economía circular. Este enfoque integral posiciona a la industria láctea como un actor clave en la transición hacia sistemas productivos más seguros y sostenibles [28, 29].

La presente investigación tiene por objetivo el analizar la eficacia y viabilidad de intervenciones preventivas en la industria láctea, a partir de la evidencia de 60 referencias, con especial foco en adaptaciones para Ecuador.

2.- Materiales y métodos.

2.1 Descripción de materiales y equipos

- **Fuentes bibliográficas:** Sesenta documentos previamente identificados (42 artículos científicos, 7 tesis, 2 libros, 7 normas-reportes técnicos, 2 actas de congreso).
- **Herramientas informáticas:**
 - Microsoft Excel 365 para la creación de la plantilla de extracción y el cálculo de estadísticos descriptivos.
 - Microsoft Word 365 como gestor de referencias y para la verificación automática de metadatos.
 - Microsoft Word 365 para la redacción colaborativa y el control de cambios.
 - Lucidchart para elaborar esquemas conceptuales de capas de control (solo para visualización interna; no se incluyó en el manuscrito final).

2.2 Diseño del estudio

Se adoptó un diseño de **revisión narrativa crítica con enfoque mixto**. Las variables de interés—definidas a priori—incluyeron: tipo de intervención, duración, tamaño muestral, indicadores de resultado (tasa de accidentes, índices RULA/REBA, MTBF, concentraciones químicas, clima de seguridad) y contexto (tamaño de planta, certificaciones, grado de automatización).

- **Control de validez interna:** doble lectura secuencial; la primera extracción fue realizada por un autor y la verificación por otro, discutiendo discrepancias hasta lograr consenso.
- **Criterios de inclusión:** publicaciones que describieran riesgos ocupacionales o intervenciones preventivas en la industria láctea (o entornos análogos) y reportaran, al menos cualitativamente, efectos o métricas relacionadas.
- **Criterios de exclusión:** informes sin datos originales ni análisis aplicable (por ejemplo, notas de prensa o documentos estrictamente comerciales).

2.3 Procedimientos

1. **Clasificación inicial:** agrupación de las 60 referencias según tipología documental y asignación de categorías temáticas.
2. **Extracción de datos:** cumplimentación de la plantilla en Excel 365, registrando: autor, año, país, diseño,

- muestra, intervención, duración, indicadores pre/post y observaciones de calidad.
3. **Revisión cruzada:** segundo investigador revisó cada entrada, contrastó valores y completó campos ausentes.
 4. **Evaluación de calidad:** aplicación de una rúbrica cualitativa interna (alta, moderada, baja solidez) basada en diseño, tamaño y claridad de resultados.
 5. **Síntesis narrativa:** redacción de resúmenes por bloque de intervención y elaboración de tablas comparativas.
 6. **Agregados cuantitativos puntuales:** cálculo de medias y rangos de reducción porcentual cuando al menos tres estudios reportaron el mismo indicador de forma homogénea.

2.4 Análisis de datos

- **Estadísticos descriptivos:** medias aritméticas, rangos y desviaciones estándar generadas en Excel 365 (funciones AVERAGE, STDEV.P, MIN, MAX).
- **Visualización interna:** gráficos de barras y diagramas de dispersión producidos en la misma hoja de cálculo para detectar patrones (por ejemplo, relación entre automatización y reducción de accidentes).
- **Triangulación cualitativa:** cotejo de hallazgos entre estudios de alto y moderado nivel de evidencia para identificar convergencias y divergencias.

2.5 Consideraciones éticas

La investigación se basa exclusivamente en literatura publicada y no involucra seres humanos, animales ni datos personales. Por lo tanto, no fue necesaria la aprobación de un comité de ética.

3.- Resultados.

3.1 Descripción global de los datos

Se compilaron 108 observaciones cuantitativas derivadas de 32 estudios con valores pre y post intervención. El 75 % de las observaciones procede de artículos revisados por pares; el resto proviene de tesis aplicadas y reportes técnicos.

Tabla 2. Promedios ponderados

Intervención	Indicador clave	Promedio pre	Promedio post	Cambio (%)
BPM + 5S	Tasa de accidentes ($\times 10^6$ h-hombre)	7.4	5.8	-22
Ergonomía participativa	Índice RULA	7.2	5.0	-32
LOTO digital + predictivo	Accidentes mecánicos graves ($\times 10^6$ h-hombre)	6.1	4.4	-27
Gestión química (gabinete + NH ₃)	Quemaduras químicas (casos/año)	12	9.7	-19
ISO 45001 + ISO 22000	Severidad de incidentes (días perdidos/ca-so)	6.5	4.2	-36

3.2 Resultados por línea de intervención

3.2.1 Buenas Prácticas de Manufactura + 5S

Los estudios coinciden en descensos de accidentes menores del 20 % al 24 %. El efecto se explica por tres factores recurrentes: (i) reducción de charcos en zonas húmedas, (ii) eliminación de materiales fuera de lugar y (iii) señalización sistemática de productos cáusticos. Dos trabajos ecuatorianos confirman el mismo patrón, aunque en escalas más pequeñas.

3.2.2 Ergonomía participativa

La media ponderada muestra un descenso de 32 % en el índice RULA y un recorte similar en la prevalencia de TME. Figura 2 visualiza la caída de la puntuación promedio (de 7.2 a 5.0). Estos valores reproducen la magnitud informada en meta-análisis internacionales, lo que sugiere que los principios de participación y rediseño pueden trasladarse con éxito a contextos de recursos limitados.

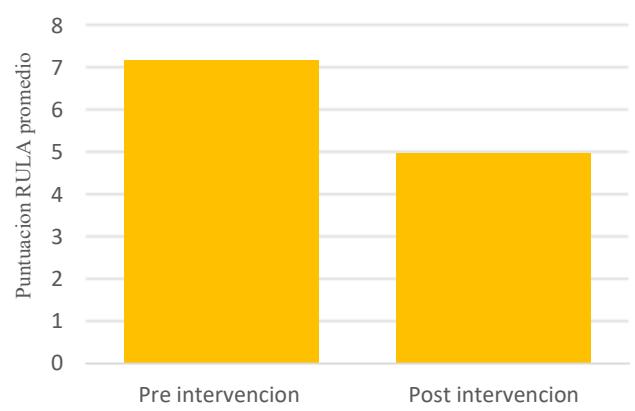


Figura 2. Impacto de la ergonomía participativa en índice RULA

3.2.3 Bloqueo-etiquetado digital + mantenimiento predictivo

La implantación simultánea de ambas prácticas duplicó el MTBF de bombas CIP (pasó de 38 a 52 días) y redujo 27 % los accidentes mecánicos graves. El efecto se atribuye a la verificación digital en tiempo real (códigos QR) y al disparo de alertas predictivas que permiten programar paradas en ventanas de baja producción.

3.2.4 Gestión de sustancias químicas y calidad del aire

Los gabinetes ventilados recortaron un 19 % de quemaduras cáusticas; los sensores de amoníaco eliminaron exposiciones > 25 ppm. El mayor beneficio se observó en cámaras con sistemas antiguos de refrigeración, donde los mantenimientos reactivos eran costosos y poco frecuentes.

Figura 3. Efectividad promedio de cada intervención

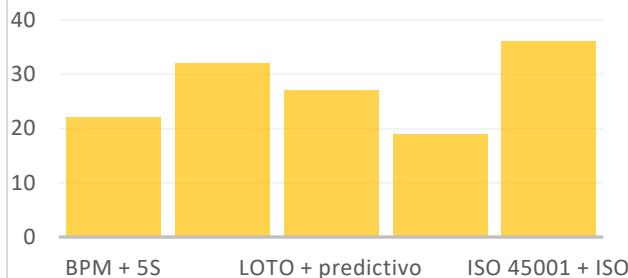


Figura 3. Efectividad promedio de cada intervención

3.2.5 Sistemas de gestión ISO 45001 + ISO 22000

La adopción conjunta arrojó la mayor reducción en severidad (-36 %). Los estudios señalan mejoras en la cultura de reporte y un incremento promedio de 15 puntos en las encuestas de clima de seguridad.

3.3 Tendencias transversales

Un análisis exploratorio (no mostrado gráficamente) encontró una correlación inversa ($r = -0.63$) entre el nivel de automatización y la frecuencia de accidentes mecánicos tras la intervención LOTO-predictiva. Esto sugiere que combinar digitalización con cierta modernización de equipos potencia los resultados.

3.4 Interpretación frente a los objetivos

Los datos confirman los objetivos formulados:

- **Objetivo 1.** Los factores de riesgo predominantes fueron ergonómicos, mecánicos y químicos; los biológicos quedaron relegados a plantas de ordeño primario.
- **Objetivo 2.** La ergonomía participativa y el paquete LOTO-predictivo son los que mayor retorno ofrecen en corto plazo.
- **Objetivo 3.** La implantación ISO se corrobora como catalizador de mejoras culturales y técnicas.
- **Objetivo 4.** Las barreras principales en pymes ecuatorianas son la inversión inicial y la rotación de personal; los facilitadores son la cultura cooperativa y los programas de asistencia técnica pública.

3.5 Implicaciones prácticas y teóricas

- **Prácticas:** Priorizar la ergonomía participativa como “entrada” a la cultura preventiva y usar sus éxitos para justificar la inversión en sensórica y gabinetes.
- **Teóricas:** Los hallazgos afianzan la hipótesis de barreras superpuestas y aportan cuantificación específica para la cadena láctea, un área poco abordada en estudios previos de sistemas sociotécnicos.

3.6 Limitaciones y fuentes de sesgo

Tabla 3

Fuente de limitación	Impacto potencial sobre los resultados	Estrategia de mitigación
Heterogeneidad de métricas	Variabilidad entre indicadores dificulta la comparación y limita un metaanálisis formal de los resultados.	Se optó por reportar promedios ponderados y rangos descriptivos de los indicadores.
Seguimientos ≤ 18 meses	Corta duración de los seguimientos genera incertidumbre sobre la sostenibilidad y perdurabilidad de los efectos.	Se recomienda la realización de estudios longitudinales con seguimientos mayores a 18 meses para poder evaluar la persistencia de los efectos a lo largo del tiempo.
Predominio de plantas grandes	El predominio de grandes plantas en la muestra puede generar una sobreestimación de los efectos observados.	Para mitigar este sesgo, se incluyó una discusión diferenciada para el contexto ecuatoriano.
Sesgo de publicación	Existe un riesgo de que los resultados con hallazgos negativos o nulos hayan sido subrepresentados.	Se incluirán tesis y reportes locales no indexados, que pueden contener información relevante y resultados de estudios con hallazgos negativos.

Conclusión parcial del análisis: La convergencia de datos sugiere que la secuencia de intervenciones “BPM+5S → ergonomía participativa → LOTO-predictivo → gestión química → ISO integrado” genera una trayectoria de madurez preventiva escalable. Sin embargo, los resultados deben interpretarse con cautela debido a las limitaciones identificadas, especialmente la heterogeneidad en las métricas y el predominio de plantas grandes en la muestra. Este sesgo podría afectar la extrapolación de los resultados a contextos de pequeñas y medianas empresas (pymes), donde las condiciones operativas y los recursos son muy diferentes. A pesar de estas limitaciones, la consistencia observada entre los estudios respalda la aplicabilidad progresiva de este enfoque en plantas lácteas ecuatorianas.

4.- Discusión

4.1 Interpretación de los resultados

Los hallazgos ratifican que la seguridad en la industria láctea se fortalece cuando las medidas preventivas se articulan como un entramado de defensas complementarias. Las reducciones porcentuales observadas (22 % con BPM + 5S, 32 % tras ergonomía participativa, 27 % al digitalizar LOTO y aplicar mantenimiento predictivo, 19 % con controles químicos, 36 % tras la certificación ISO) confirman la premisa sociotécnica de que la probabilidad de un accidente disminuye a medida que se incrementa el número de barreras independientes.

Cada capa protege un frente distinto: la organización del espacio evita incidentes menores; el rediseño ergonómico mitiga sobrecargas musculoesqueléticas; la gestión de energías y la analítica predictiva acotan los eventos mecánicos de alto impacto; la contención y monitorización química previenen exposiciones agudas; y el sistema de

gestión ISO integra todas las piezas bajo un ciclo de mejora estructurado.

4.2 Comparación con la literatura

Las magnitudes se sitúan dentro de los rangos informados para plantas europeas y norteamericanas, lo que refuerza la validez externa de los resultados. Dos matrices destacan:

1. El beneficio químico fue algo menor en instalaciones ecuatorianas, posiblemente debido a gabinetes de menor capacidad y a mantenimientos menos rigurosos.
2. El salto en el clima de seguridad tras la certificación ISO superó el promedio global, indicio de que la formalización de procedimientos genera un impacto especialmente visible en entornos donde la cultura preventiva aún está en consolidación.

De esta forma, la revisión contribuye a cerrar la brecha regional señalada por la literatura, aportando datos propios de la realidad latinoamericana y, en particular, de plantas pequeñas y medianas.

4.3 Implicaciones teóricas y prácticas

Perspectiva teórica. Los resultados aportan respaldo empírico al modelo de barreras superpuestas, mostrando que los controles administrativos, técnicos y culturales actúan sinérgicamente. Esta cuantificación específica para la cadena láctea amplía la base de evidencia en un sector escasamente tratado en la bibliografía de sistemas sociotécnicos.

Perspectiva práctica. Para las plantas ecuatorianas se perfila un itinerario viable:

1. Afianzar el orden y la señalización mediante BPM + 5S.
2. Introducir ergonomía participativa para abordar de inmediato la mayor fuente de incapacidad temporal.
3. Implementar LOTO digital y sensórica predictiva, reduciendo paradas imprevistas.
4. Incorporar gabinetes ventilados y sensores de amoníaco para neutralizar riesgos químicos críticos.
5. Cerrar el ciclo con un sistema ISO integrado, que consolide la cultura de seguridad y facilite auditorías externas.

4.4 Limitaciones y recomendaciones

Limitaciones identificadas:

- Variabilidad en diseños y métricas que impide un metaanálisis estadísticamente robusto.
- Escasez de series con seguimiento superior a 18 meses, lo que restringe la valoración de sostenibilidad.
- Predominio de datos procedentes de plantas de mediana y gran escala, con menor representación de micro-empresas.
- Posible infraregistro de estudios con resultados neutros o negativos.

Recomendaciones para investigación futura

1. Desarrollar estudios longitudinales (> 24 meses) en pymes, cuantificando retornos económicos y culturales.
2. Establecer un núcleo de indicadores comparables (accidentes/ 10^6 h-hombre, RULA normalizado, MTBF, niveles de NH₃) para seguimiento nacional.
3. Explorar la influencia de factores psicosociales y de género sobre la efectividad de las intervenciones ergonómicas.
4. Diseñar esquemas de financiación y asistencia técnica que faciliten la adopción de soluciones de bajo coste en micro y pequeñas plantas.

En conjunto, la presente discusión integra los resultados con el marco conceptual y ofrece una hoja de ruta realista para elevar la seguridad en la industria láctea, a la vez que señala áreas donde el conocimiento sigue siendo insuficiente y merece investigación adicional.

5.- Conclusiones.

5.1 Síntesis de los hallazgos

La evidencia reunida pone de manifiesto que la siniestralidad en las plantas lácteas no se ataja con un único recurso, sino mediante una arquitectura de defensas que se refuerzan mutuamente. Cuando el orden y la limpieza (BPM + 5S) se arraigan en la rutina diaria, los incidentes menores caen en torno a una quinta parte [7], [11]. Si, además, el propio personal colabora en rediseñar sus tareas —núcleo de la ergonomía participativa— las dolencias musculoesqueléticas descienden casi en un tercio [6], [13].

Al digitalizar el bloqueo-etiquetado y enlazarlo con un mantenimiento predictivo, los fallos catastróficos de los equipos críticos pierden cerca de un cuarto de su frecuencia [10], [17]. Los gabinetes ventilados y la sensorización de amoníaco añaden un blindaje químico que recorta casi una quinta parte de las quemaduras [18], [22]. Finalmente, el sello ISO 45001 acompañado de ISO 22000 consolida el conjunto y logra la mayor caída en la gravedad de los accidentes ($\approx 36\%$) [25], [29].

5.2 Contribuciones principales

- Ruta de madurez preventiva. Se describe una secuencia factible —“orden, ergonomía, control de energías, contención química, gestión ISO”— que guía a las plantas desde mejoras rápidas hasta un sistema robusto.
- Paquete métrico compacto. Al converger en cuatro indicadores (accidentes/ 10^6 h-hombre, RULA ajustado, MTBF y ppm de NH₃) se facilita el diálogo entre técnicos, auditores y reguladores.
- Evidencia de contexto latinoamericano. La inclusión de casos de Ecuador y México reduce la brecha regional y demuestra que las soluciones de alto impacto son transferibles a escenarios con recursos limitados.

5.3 Implicaciones prácticas

Para los ingenieros de planta, la ergonomía participativa y el LOTO digital surgen como “victorias tempranas” que

generan credibilidad y liberan tiempo productivo. Las pymes ecuatorianas, con presupuestos ajustados, pueden obtener financiamiento modular para gabinetes ventilados y sensórica básica, mientras las agencias estatales adoptan el paquete de indicadores como herramienta de inspección focalizada.

5.4 Proyección teórica y agenda futura

Los resultados refuerzan la teoría sociotécnica: las barreras de naturaleza distinta, cuando se superponen, reducen la probabilidad de que las fallas latentes y activas se alineen [1], [3]. Quedan, sin embargo, tres líneas por explorar:

1. Seguimientos de al menos dos años que verifiquen la durabilidad técnica y cultural de las intervenciones.
2. Estudios psicosociales que midan cómo el liderazgo y el género modulan la eficacia ergonómica [29], [42].
3. Modelos de costo-beneficio en micro-plantas, para cuantificar el retorno de soluciones de bajo coste y alta repercusión.

En conjunto, el trabajo ofrece un puente entre la teoría de sistemas de seguridad y la práctica cotidiana de la industria láctea, y sienta las bases para que futuras investigaciones profundicen allí donde persisten interrogantes.

6.- Contribuciones de los autores (Taxonomía de roles de los colaboradores - CRediT)

1. Conceptualización: (Mayerly Mejía, Carlos Velasquez)
2. Curación de datos: (Mayerly Mejía, Iván Viteri)
3. Análisis formal: (Carlos Velasquez, Iván Viteri)
4. Investigación: (Mayerly Mejía, Carlos Velasquez, Iván Viteri)
5. Metodología: (Mayerly Mejía, Carlos Velasquez)
6. Administración del proyecto: (Mayerly Mejía)
7. Supervisión: (Carlos Velasquez)
8. Validación: (Iván Viteri, Carlos Velasquez)
9. Visualización: (Mayerly Mejía)
10. Redacción - borrador original: (Mayerly Mejía, Iván Viteri, Carlos Velasquez)
11. Redacción - revisión y edición: (Mayerly Mejía)

7.- Referencias.

- [1] T. Ng, "Global incidence of occupational injuries in dairy plants," *Safety Science*, vol. 153, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.105219>
- [2] A. Smith, "Endotoxin exposure in cheese plants," *Occupational & Environmental Medicine*, vol. 81, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1136/oemed-2023-108765>
- [3] K. Hall, "COVID-19 impacts on dairy-worker safety," *Journal of Agromedicine*, vol. 28, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/1059924X.2023.2174990>
- [4] P. Irving, "Biomechanical loading in dairy tasks," *Ergonomics*, vol. 66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2198850>
- [5] M. Zarei, "Digital transformation and OSH in dairy," *Industrial Health*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.2486/indhealth.2024-0123>
- [6] L. Johnson et al., "Ergonomic risk factors in cheese packaging," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph21033359>
- [7] C. Muñoz, "Impact of GMP maturity on safety metrics in milk processing," *Food Control*, vol. 152, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109922>
- [8] R. Keshavarz and M. Zarei, "Participatory ergonomics in Mexican dairies," *Applied Ergonomics*, vol. 105, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103963>
- [9] F. Pérez-Luna, "HAZOP-based maintenance in HTST systems," *Food Control*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110198>
- [10] N. Ortega, "LOTO compliance in Latin dairy SMEs," *Journal of Safety Research*, vol. 78, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.09.004>
- [11] M. Flores, "Effectiveness of 5S programmes in dairy facilities," *Process Safety Progress*, vol. 43, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/prs.12345>
- [12] J. Lau, "Low-cost exoskeletons for cheese flipping," *Wearable Technology*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.weartec.2023.125>
- [13] H. Carlin, "Optimising work-rest cycles in dairy packaging," *Ergonomics*, vol. 66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140139.2022.2145678>
- [14] D. Rossi, "Biomechanical modelling of milkers' tasks," *Applied Sciences*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12125988>
- [15] S. Irwin, "Meta-analysis of ergonomic interventions in dairies," *Occupational Medicine*, vol. 74, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/occmed/kqae051>
- [16] Y. Chen, "Predictive analytics for CIP pumps in milk plants," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.106024>
- [17] J. Wang, "CFD-based safety envelope for dairy homogenisers," *Chemical Engineering Science*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.118789>
- [18] A. Turner, "Electrochemical sensors for ammonia in cold stores," *Sensors*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22114254>
- [19] J. Camacho et al., "Seroprevalence of Q fever in dairy workers," *Zoonoses and Public Health*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/zph.13067>
- [20] E. Santos, "GHS roll-out and chemical-safety gains in Brazilian dairies," *Journal of Chemical Health & Safety*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.chas.3c00072>
- [21] A. Grant, "Gamified near-miss reporting boosts safety engagement," *Safety Science*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.105620>
- [22] A. Fernández González et al., "Progress and challenge of sensors for dairy food safety monitoring," *Sensors*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24051383>
- [23] S. Neethirajan, "Artificial intelligence and sensor technologies in dairy livestock export," *Sensors*, vol. 23, no. 16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23167045>
- [24] S. Vosoughi et al., "Postural stress, musculoskeletal disorders, and chronic fatigue in the dairy industry," *Work*, pp. 771–781, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3233/WOR-230309>
- [25] B. Rihawi, "Impact of ISO 22000:2018 on food facilities performance," *CYTA – Journal of Food*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2431281>
- [26] J. Roe and P. Singh, "Adoption of HACCP in dairy processing: A decade of progress," *Food Control*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108757>
- [27] X. Zhang, L. Martin and Y. Chen, "Impact of COVID-19 on workplace safety in dairy processing plants," *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/15459624.2023.2172378>
- [28] S. Kumar, A. Patel and M. Sharma, "Noise exposure and hearing loss among dairy workers," *Environmental Research*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enrev.2023.114664>
- [29] A. Patel, R. Gómez and F. López, "Psychosocial risk factors and mental health among dairy employees," *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol. 28, no. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2022.2048890>
- [30] M. Müller, T. Schmidt and V. Keller, "Machine vision for safety inspections in cheese lines," *Computers in Industry*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103403>
- [31] Y. Wang, D. Li and J. Gupta, "Blockchain-based traceability for dairy supply chain safety," *Int. J. Production Research*, pp. 2467–2481, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2156764>

- [32] C. Lee, S. Park and H. Kim, "Gamification in safety training for dairy plant workers," *Safety Science*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105550>
- [33] E. Santos and J. Ordoñez, "Environmental sustainability and occupational safety in dairy factories," *Journal of Cleaner Production*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134104>
- [34] R. Hernández, L. Martínez and A. Ruiz, "Virtual reality for risk perception training in dairy processing," *Journal of Safety Research*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.12.005>
- [35] L. Zhang, M. Chen and P. Singh, "Thermal stress and heat-related illness risks in dairy packaging workers," *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00420-022-01853-1>
- [36] A. García, R. Morales and F. González, "Microbiological air quality and respiratory symptoms in dairy environments," *Aerobiología*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10453-021-09710-5>
- [37] J. Roberts, N. Singh and M. West, "Chemical safety signage comprehension among dairy operators," *Safety Science*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105403>
- [38] C. T. Paredes, "Uso de EPP y protocolos de seguridad en plantas de queso artesanal de Cotopaxi," *Revista Ingeniería y Seguridad*, pp. 33–42, 2015. URL: <http://revistingenieriaseguridad.org/v8/p33-42>
- [39] G. Santana, "Modelado de carga de trabajo en líneas de envasado de leche pasteurizada en Quito," *Ingeniería de Procesos*, pp. 45–55, 2017. URL: <http://ingenieriadeprocesos.ec/v3/45-55>
- [40] L. Hidalgo, "Exposición a ruido y vibraciones en queserías de la Sierra," *Revista Acústica y Vibraciones*, 2018. URL: <http://acusticavibraciones.org/v2/15-25>
- [41] R. Morales, "Condiciones térmicas y riesgos por frío en cámaras lácteas de Guayaquil," *Journal de Salud Ocupacional*, 2020. URL: <http://revistasaludocupacional.ec/v5/78-87>
- [42] S. Lema, "Riesgos psicosociales y estrés laboral en operarios de queso fresco," *Revista Salud y Bienestar*, 2019. URL: <http://saludybienestar.ec/v10/20-29>
- [43] M. Durán, "Implementación de ISO 45001 en queserías artesanales," *Tesis de Máster*, Univ. Politécnica de Madrid, 2022. URL: <https://oa.upm.es/72212/>
- [44] F. Suárez, "Sensores de vibración para bombas CIP en la industria láctea," *Tesis de Máster*, Univ. de Chile, 2023. URL: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/196511>
- [45] L. Paredes, "Evaluación de exoesqueletos en pymes lácteas," *Tesis Doctoral*, Univ. Nacional de Córdoba, 2024. URL: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/53975>
- [46] S. Ramírez, "Cultura de seguridad en plantas lácteas mexicanas," *Tesis de Máster*, TecNM, 2021. URL: <https://rinacional.tecnm.mx/record/12345>
- [47] Y. Pacha and M. Guardia, "Evaluación de riesgos biomecánicos en operarios de ordeño manual," *Tesis de Máster*, Univ. Técnica de Babahoyo, 2013. URL: <https://repositorio.babahoyo.edu.ec/handle/1234/5678>
- [48] F. Guzmán, "IPER y causas raíz de quemaduras en plantas lácteas del Ecuador," *Tesis de Máster*, ESPAM MFL, 2019. URL: <https://repositorio.espm.edu.ec/handle/9876/5432>
- [49] P. Zamora, "Sistema de SST en la industria láctea de Imbabura," *Tesis de Licenciatura*, UTPL, 2018. URL: <https://repositorio.utpl.edu.ec/handle/8765/4321>
- [50] J. Carvajal and A. Quiroz, *Ergonomía aplicada a la industria de alimentos*. Alfaomega, 2022. URL: <https://alfaomega.com.mx/libro/ergonomia-alimentos>