

Artículo Original

Evaluación de riesgos ocupacionales y su impacto en la salud integral de operadores expuestos al sulfato de aluminio: Estudio de caso PTAP Tixán, Cuenca

Occupational risk assessment and its impact on the comprehensive health of operators exposed to aluminum sulfate: Case study PTAP Tixán, Cuenca

Resumen

La investigación evaluó los riesgos ocupacionales y su impacto en la salud integral de los operadores expuestos al sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán, ubicada en Cuenca. El estudio se desarrolló debido a la preocupación existente sobre los efectos derivados de la exposición continua a sustancias químicas industriales en ambientes de potabilización de agua, donde convergen riesgos químicos, físicos y ergonómicos capaces de afectar la salud de los trabajadores. La metodología empleó un enfoque cuantitativo, con diseño descriptivo-correlacional y corte transversal. La muestra estuvo conformada por 13 operadores con exposición directa al sulfato de aluminio. La información se recopiló mediante observación directa, encuestas estructuradas y aplicación de una matriz de identificación y evaluación de riesgos ocupacionales. Los resultados evidenciaron una elevada exposición a partículas y aerosoles de sulfato de aluminio durante las actividades de dosificación, preparación y almacenamiento de sustancias químicas. El 76,9 % de los operadores presentó contacto frecuente con agentes irritantes y el 61,5 % no utilizaba permanentemente equipos de protección personal. Además, se identificaron deficiencias en ventilación, señalización preventiva y capacitación en seguridad ocupacional. En el componente ergonómico se observaron posturas forzadas y manipulación manual de cargas, factores asociados a fatiga laboral y trastornos musculoesqueléticos. Se concluye que los operadores de la PTAP Tixán están expuestos a condiciones laborales que representan un riesgo elevado para su salud integral, por lo que resulta necesario fortalecer las medidas preventivas, la vigilancia ocupacional y los controles de seguridad industrial.

Palabras clave: Riesgos Ocupacionales, Sulfato de Aluminio, Salud Ocupacional, Exposición Química, Plantas De Tratamiento De Agua.

Abstract

This study evaluated occupational risks and their impact on the overall health of operators exposed to aluminum sulfate at the Tixán Drinking Water Treatment Plant (DWTP), located in Cuenca. The research was conducted in response to growing concerns regarding the effects derived from continuous exposure to industrial chemical substances in water treatment environments, where chemical, physical, and ergonomic hazards may negatively affect workers' health. The methodology followed a quantitative approach with a descriptive-correlational and cross-sectional design. The sample consisted of 13 operators directly exposed to aluminum sulfate. Data collection was carried out through direct observation, structured surveys, and the application of a risk identification and occupational hazard assessment matrix. The results revealed high exposure to aluminum sulfate particles and aerosols during chemical dosing, preparation, and storage activities. A total of 76.9% of operators reported frequent contact with irritant agents, while 61.5% did not consistently use personal protective equipment. In addition, deficiencies were identified in workplace ventilation, preventive signage, and occupational safety training. From an ergonomic perspective, forced postures and manual handling of heavy loads were observed, factors associated with occupational fatigue and musculoskeletal disorders. The study concludes that operators at the Tixán DWTP are exposed to working conditions that represent a significant risk to their overall health. Therefore, it is necessary to strengthen preventive measures, occupational health surveillance, and industrial safety controls.

Keywords: occupational risks, aluminum sulfate, chemical exposure, occupational health, drinking water treatment plant

Gipson Emilio Barahona Martínez<https://orcid.org/0000-0002-5390-8018>gbarahonam2@unemi.edu.ecUniversidad Estatal de Milagro
Milagro-Ecuador**David Armando Caicedo Chiriboga**<https://orcid.org/0009-0002-3370-6176>caicedochiribogadavid@gmail.comUniversidad Estatal de Guayaquil
Daule-Ecuador

Cita referencial: Barahona Martínez, G. E., & Caicedo Chiriboga, D. A. (2025). *Evaluación de riesgos ocupacionales y su impacto en la salud integral de operadores expuestos al sulfato de aluminio: Estudio de caso PTAP Tixán, Cuenca*. *Revista Científica Publicar Ciencia*, 1-13.. 7(2). <https://doi.org/10.67169/publicarciencia.v7i2.47>

Artículo recibido: 13-08-2025**Aceptado para publicación:** 23-10-2025**Publicado:** 10-12-2025

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido de los riesgos ocupacionales asociados a la manipulación de sustancias químicas industriales constituye una preocupación prioritaria para los sistemas actuales de salud pública y seguridad laboral, por su parte, las plantas de tratamiento de agua potable representan entornos operacionales complejos donde convergen agentes químicos, factores ergonómicos y condiciones laborales que pueden afectar la salud integral de los trabajadores. Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (2022) y la Organización Internacional del Trabajo (2023) mencionan que la exposición de manera continua y prolongada a compuestos químicos utilizados en procesos industriales incrementa la probabilidad de desarrollar enfermedades laborales, especialmente cuando existen deficiencias en los sistemas preventivos y en la vigilancia ocupacional.

En las últimas décadas, el uso intensivo de coagulantes químicos basados en aluminio ha adquirido relevancia estratégica dentro de los procesos de potabilización del agua debido a su eficacia en la remoción de turbidez y materia orgánica. Entre estos compuestos, el sulfato de aluminio continúa siendo uno de los agentes más empleados en plantas de tratamiento a nivel mundial por su eficiencia operativa y bajo costo de implementación (Aguilar *et al.*, 2025) Sin embargo, diversos estudios recientes advierten que la manipulación frecuente de sales de aluminio en ambientes industriales puede generar exposiciones ocupacionales significativas, particularmente durante actividades de almacenamiento, dosificación, mezcla y mantenimiento operativo (Ávila *et al.*, 2025)

La exposición prolongada a compuestos de aluminio en los últimos años ha sido relacionada con alteraciones de las funciones de órganos y tejidos. Desde el punto de vista de la toxicología este contacto directo con el sulfato de aluminio puede causar efectos adversos sobre la salud debido a sus propiedades irritantes y corrosivas. Por otro lado, Alarcón *et al.*, (2023) mencionan que investigaciones han demostrado que la inhalación de partículas o aerosoles de aluminio puede inducir irritación respiratoria, procesos inflamatorios y deterioro funcional pulmonar, especialmente en trabajadores expuestos sin adecuados equipos de protección colectiva e individual. Asimismo, el contacto directo de la piel de manera recurrente con soluciones concentradas de sulfato de aluminio se ha asociado con dermatitis irritativa, resequedad cutánea y lesiones por sensibilización química, condiciones que suelen agravarse en ambientes húmedos y con jornadas prolongadas de trabajo (NIOSH, 2022).

Paralelamente, las actividades operativas desarrolladas en plantas de tratamiento de agua implican exigencias biomecánicas considerables derivadas de la manipulación manual de cargas, posturas forzadas, desplazamientos continuos y tareas repetitivas. Estas condiciones incrementan la incidencia de trastornos musculoesqueléticos y fatiga ocupacional, particularmente cuando coexisten con factores químicos y organizacionales deficientemente controlados. La literatura reciente sostiene que la interacción entre exposición química y sobrecarga ergonómica puede potenciar el deterioro de la salud integral del

trabajador, afectando no solo su condición física, sino también su bienestar psicosocial y desempeño laboral (Pu, *et al.*, 2024).

En el ámbito de la higiene ocupacional, la evaluación sistemática de riesgos constituye una herramienta esencial para identificar peligros, estimar niveles de exposición y establecer medidas preventivas orientadas a minimizar daños laborales. No obstante, investigaciones desarrolladas en sistemas de potabilización de agua en América Latina evidencian limitaciones en la implementación de programas integrales de vigilancia epidemiológica, monitoreo ambiental y control de exposición química en operadores de plantas de tratamiento (Ávila *et al.*, 2025). De manera particular, se ha reportado que muchas instalaciones priorizan la eficiencia operativa del proceso de coagulación sin profundizar en las consecuencias ocupacionales derivadas de la exposición continua a compuestos aluminicos.

En Ecuador, las investigaciones relacionadas con riesgos ocupacionales en plantas de tratamiento de agua potable aún son limitadas y presentan un abordaje predominantemente técnico-operacional enfocado en la eficiencia de coagulación y calidad del agua tratada. Estudios realizados en plantas de tratamiento de Cuenca han analizado parámetros fisicoquímicos, comportamiento hidráulico y desempeño de coagulantes basados en aluminio; sin embargo, existe escasa evidencia científica orientada a evaluar de manera integral el impacto de estas sustancias sobre la salud de los operadores expuestos (Aguilar *et al.*, 2025). Esta situación evidencia una insuficiente articulación entre la ingeniería sanitaria y la salud ocupacional dentro de los procesos de gestión industrial del agua.

Adicionalmente, estudios recientes han demostrado que los sistemas de tratamiento que utilizan coagulantes aluminicos pueden generar concentraciones residuales de aluminio capaces de representar riesgos potenciales tanto para consumidores como para trabajadores expuestos de forma directa y continua (Ávila *et al.*, 2025). Aunque gran parte de la evidencia científica se ha centrado en la calidad del agua tratada, persiste un vacío importante respecto al análisis ocupacional de quienes manipulan diariamente estos compuestos en escenarios reales de operación industrial.

Bajo esta perspectiva, la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán, ubicada en la ciudad de Cuenca, constituye un escenario de alta relevancia científica y ocupacional debido a las características operativas de sus procesos de coagulación y al uso permanente de sulfato de aluminio como agente químico principal. La dinámica laboral de sus operadores involucra contacto frecuente con sustancias químicas, exposición a humedad, manipulación manual de insumos y permanencia prolongada en áreas de operación, condiciones que pueden favorecer el desarrollo de afectaciones respiratorias, dermatológicas y musculoesqueléticas si no existen adecuados mecanismos de control preventivo.

En consecuencia, se identifica una brecha científica relacionada con la limitada evidencia empírica sobre los efectos integrales de la exposición ocupacional al sulfato de aluminio en trabajadores de plantas potabilizadoras en contextos latinoamericanos y, particularmente, ecuatorianos. La ausencia de estudios interdisciplinarios que integren toxicología laboral, evaluación ergonómica y gestión preventiva dificulta

la formulación de estrategias efectivas de intervención y vigilancia ocupacional. Por ello, la presente investigación adquiere relevancia científica, social y sanitaria al aportar evidencia contextualizada sobre las condiciones de exposición y sus implicaciones en la salud de los operadores de la PTAP Tixán.

En este marco, el objetivo general del estudio es evaluar los riesgos ocupacionales y su impacto en la salud integral de los operadores expuestos al sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán de Cuenca, mediante la identificación de factores de exposición química, ergonómica y laboral asociados a posibles afectaciones físicas, respiratorias y dermatológicas, con el propósito de contribuir al fortalecimiento de las estrategias de prevención y vigilancia en salud ocupacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, descriptivo-correlacional y de corte transversal. El estudio tuvo como objetivo evaluar los riesgos ocupacionales asociados a la exposición al sulfato de aluminio y su impacto en la salud integral de los operadores de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán, en Cuenca, Ecuador. La muestra fue seleccionada mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando trabajadores con exposición directa al compuesto químico y experiencia laboral mínima de seis meses (Gómez-Galán et al., 2021).

La recolección de información se realizó mediante observación directa y encuestas estructuradas aplicadas durante la jornada laboral. El instrumento fue elaborado con escala tipo Likert y validado por expertos en seguridad y salud ocupacional. Además, se utilizó una matriz de identificación de peligros y evaluación de riesgos para analizar factores químicos, físicos y ergonómicos presentes en las actividades de almacenamiento, manipulación y dosificación del sulfato de aluminio (ILO, 2023).

El procedimiento metodológico incluyó una revisión bibliográfica y una visita técnica a las instalaciones de la PTAP Tixán para identificar áreas críticas de exposición ocupacional. Posteriormente, la información recopilada fue organizada mediante tablas de frecuencia y análisis descriptivo para interpretar las principales afectaciones identificadas en los trabajadores. El estudio respetó principios éticos de confidencialidad, anonimato y participación voluntaria mediante consentimiento informado (OMS, 2023).

RESULTADOS

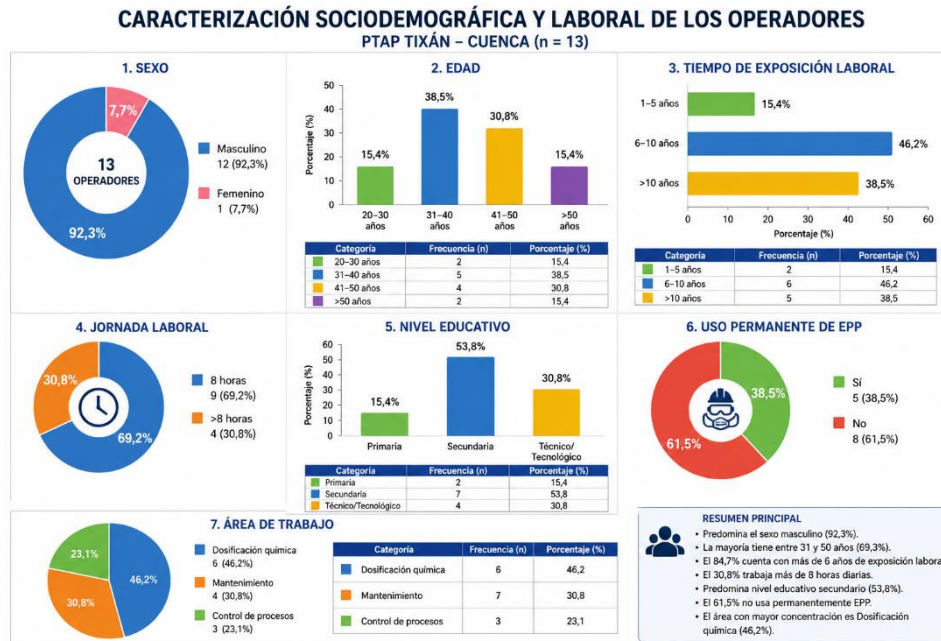
La presente investigación tuvo como objeto de estudio la evaluación de los riesgos ocupacionales y su impacto en la salud integral de los operadores expuestos al sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán, ubicada en Cuenca. La muestra estuvo conformada por 13 operadores vinculados a actividades de dosificación química, mantenimiento y control de procesos.

El estudio presentó un enfoque cuantitativo, descriptivo y transversal. La identificación de riesgos se realizó mediante observación directa y aplicación de una matriz de evaluación basada en probabilidad

y consecuencia. El análisis estadístico incluyó frecuencias y porcentajes para interpretar las variables sociodemográficas, laborales y los niveles de riesgo ocupacional.

Gráfico 1

Caracterización sociodemográfica y laboral de los operadores



Nota: Elaborado por autores

Los resultados evidencian que la población laboral estuvo conformada predominantemente por hombres (92,3 %), con edades concentradas entre 31 y 50 años (69,3 %), lo que indica una fuerza laboral adulta con experiencia operativa acumulada. Asimismo, el 84,7 % de los operadores presentó más de seis años de exposición ocupacional, sugiriendo contacto prolongado con sulfato de aluminio y otros agentes asociados al proceso de potabilización.

En relación con las condiciones laborales, el 30,8 % de los trabajadores cumplía jornadas superiores a ocho horas, lo que podría incrementar la exposición acumulativa a factores de riesgo químicos y ergonómicos. Respecto al nivel educativo, predominó la formación secundaria (53,8 %), mientras que solamente el 30,8 % poseía formación técnica o tecnológica vinculada a procesos industriales.

Uno de los hallazgos más relevantes corresponde al uso de equipos de protección personal, donde el 61,5 % de los operadores manifestó no utilizar permanentemente EPP durante las actividades de manipulación química. Esta condición representa un factor crítico que incrementa la vulnerabilidad frente a riesgos respiratorios, dérmicos y oculares asociados a la exposición ocupacional al sulfato de aluminio.

Finalmente, el área con mayor concentración de trabajadores fue dosificación química (46,2 %), considerada operacionalmente como la zona de mayor exposición a contaminantes químicos dentro de la PTAP.

Identificación y evaluación de riesgos ocupacionales

La identificación de riesgos ocupacionales en los operadores de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán, ubicada en Cuenca, permitió determinar la presencia de múltiples peligros asociados a las actividades de manipulación, dosificación y almacenamiento de sulfato de aluminio. La evaluación se realizó mediante observación directa de los procesos operativos, inspección técnica de las áreas de trabajo y aplicación de una matriz de evaluación de riesgos basada en criterios de probabilidad y severidad.

Gráfico 2

Matriz de Riesgos ocupacionales



Nota: Elaborado por autores

Los resultados evidenciaron un predominio de riesgos químicos, principalmente relacionados con la inhalación de partículas y polvo de sulfato de aluminio durante las actividades de apertura de sacos, preparación de soluciones y dosificación manual. El 76,9 % (n=10) de los operadores estuvo expuesto de manera frecuente a contacto directo con sustancias químicas irritantes, mientras que el 61,5 % (n=8) presentó exposición recurrente a aerosoles y partículas suspendidas en el ambiente laboral.

En relación con los riesgos físicos, se identificaron condiciones de humedad permanente, superficies resbaladizas y niveles moderados de ruido generados por equipos electromecánicos. El 69,2 % de los trabajadores manifestó exposición constante a ambientes húmedos, aumentando la probabilidad de accidentes laborales y fatiga física.

Respecto a los riesgos ergonómicos, se observó que el 53,8 % de los operadores realizaba manipulación manual de cargas superiores a 25 kg, principalmente durante el traslado y almacenamiento

de sacos de sulfato de aluminio. Asimismo, el 61,5 % adoptaba posturas forzadas y movimientos repetitivos durante las actividades de mantenimiento y dosificación química.

En el componente psicosocial, el 46,2 % de los trabajadores reportó percepción de fatiga laboral y presión operativa relacionada con la continuidad del abastecimiento de agua potable y el cumplimiento de jornadas extendidas.

La evaluación integral de riesgos evidenció que el riesgo químico asociado a la exposición al sulfato de aluminio alcanzó un nivel “alto” en las áreas de dosificación y preparación química, debido a la combinación de exposición frecuente, insuficiente ventilación y uso inconsistente de equipos de protección personal.

Gráfico 3

Exposición química – PTAP Tixán Cuenca



Nota: Resultados obtenidos a través de fichas de observación

La evaluación de exposición química en los operadores de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán, ubicada en Cuenca, evidenció presencia significativa de contacto ocupacional con sulfato de aluminio durante las actividades de dosificación, preparación y almacenamiento de sustancias químicas. Los resultados mostraron que el 76,9 % de los operadores estuvo expuesto frecuentemente a inhalación de partículas y polvo químico, principalmente durante la apertura de sacos y preparación manual de soluciones.

Asimismo, el 69,2 % reportó contacto dérmico recurrente con sulfato de aluminio, mientras que el 61,5 % manifestó exposición ocular por salpicaduras y partículas suspendidas. Se identificó además que el 53,8 % laboraba en áreas con ventilación limitada, incrementando la concentración ambiental de aerosoles químicos y el tiempo efectivo de exposición ocupacional.

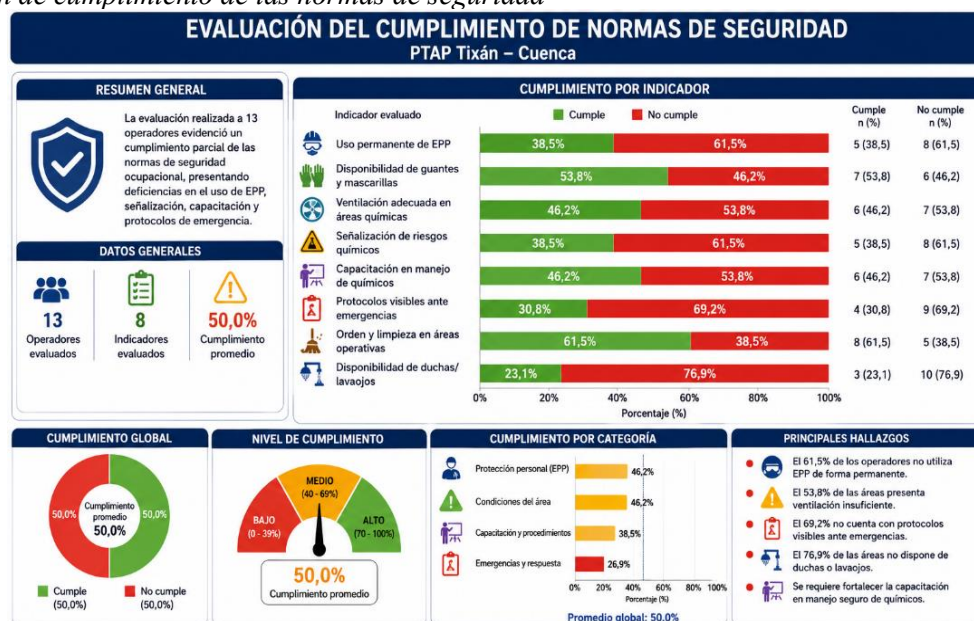
Los hallazgos evidencian una elevada exposición ocupacional a sulfato de aluminio, especialmente en actividades operativas manuales. La inhalación de partículas químicas constituyó el principal mecanismo de exposición identificado, asociado a condiciones deficientes de ventilación y uso irregular de equipos de protección personal. Estas condiciones incrementan el riesgo de irritación respiratoria, dérmica y ocular en los operadores expuestos.

Adicionalmente, la manipulación manual directa de sustancias químicas observada en la mayoría de los trabajadores refleja limitaciones en los controles de ingeniería y procedimientos preventivos implementados en la PTAP. La combinación de exposición frecuente, tiempo prolongado de contacto y medidas de protección insuficientes podría favorecer la aparición de efectos adversos sobre la salud integral de los operadores.

La evaluación del cumplimiento de normas de seguridad en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán, ubicada en Cuenca, permitió identificar deficiencias relacionadas con el control de riesgos químicos y el cumplimiento de medidas preventivas durante la manipulación de sulfato de aluminio. El análisis incluyó observación directa de las áreas operativas, revisión de condiciones de seguridad y verificación del uso de equipos de protección personal por parte de los operadores.

Gráfico 4

Evaluación de cumplimiento de las normas de seguridad



Nota: Resultados obtenidos a través de fichas de observación

Los resultados evidenciaron que únicamente el 38,5 % (n=5) de los trabajadores utilizaba correctamente y de forma permanente los equipos de protección personal requeridos para actividades de manipulación química. Asimismo, el 53,8 % (n=7) de las áreas evaluadas presentó ventilación insuficiente, mientras que el 61,5 % (n=8) no contaba con señalización visible relacionada con riesgos químicos y procedimientos de emergencia.

En relación con la capacitación ocupacional, el 46,2 % (n=6) de los operadores indicó haber recibido formación reciente sobre manejo seguro de sustancias químicas, mientras que el restante 53,8 % manifestó capacitaciones limitadas o inexistentes durante el último año laboral. Además, se identificó que el 69,2 % (n=9) de las áreas de almacenamiento y dosificación química no disponía de protocolos visibles para actuación frente a derrames o exposición accidental.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidenciaron una elevada exposición ocupacional a sulfato de aluminio en los operadores de la PTAP Tixán de Cuenca, particularmente en actividades relacionadas con dosificación manual, preparación de soluciones químicas y almacenamiento de insumos. La inhalación de partículas y el contacto dérmico constituyeron las principales vías de exposición identificadas, situación que coincide con lo reportado por Alarcón et al. (2023), quienes describieron que los compuestos de aluminio representan un riesgo ocupacional relevante debido a su capacidad irritativa sobre piel, mucosas y tracto respiratorio, especialmente en ambientes industriales con ventilación limitada y controles preventivos insuficientes.

La frecuencia de exposición química observada en la presente investigación también guarda relación con estudios desarrollados en plantas de tratamiento de agua y entornos industriales donde se emplean sales de aluminio como agentes coagulantes. Ávila et al. (2025) señalaron que la utilización continua de compuestos basados en aluminio genera preocupación por sus posibles efectos acumulativos sobre la salud humana, principalmente cuando existen deficiencias en monitoreo ambiental y medidas de protección ocupacional. Aunque dicho estudio se enfocó en aluminio residual en agua potable, los autores resaltan que la exposición prolongada al aluminio puede representar un problema de salud pública y laboral en sistemas de tratamiento hídrico.

Uno de los hallazgos más relevantes fue el bajo cumplimiento de normas de seguridad industrial, reflejado en el uso inconsistente de equipos de protección personal, limitada señalización preventiva y ausencia parcial de protocolos visibles frente a emergencias químicas. Estas condiciones incrementan la vulnerabilidad de los operadores ante exposiciones agudas y crónicas. Resultados similares fueron descritos por Pérez et al. (2025), quienes identificaron que en empresas de agua potable del Ecuador persisten deficiencias en gestión preventiva, capacitación y control operativo, factores que aumentan la probabilidad de accidentes y enfermedades ocupacionales.

El predominio de riesgos clasificados como altos y críticos dentro de la matriz de evaluación confirma que las áreas de dosificación química representan los espacios de mayor peligrosidad ocupacional en la PTAP. La manipulación manual de sulfato de aluminio, junto con condiciones de ventilación insuficiente, favorece la dispersión de partículas suspendidas y aerosoles químicos. Estudios toxicológicos han demostrado que la exposición ocupacional prolongada al aluminio puede generar alteraciones

respiratorias, inflamación de mucosas e incluso efectos neurológicos y musculoesqueléticos en trabajadores expuestos de manera continua (Alarcón et al., 2023).

Desde el componente ergonómico, la investigación evidenció presencia importante de manipulación manual de cargas y posturas forzadas durante actividades operativas y de mantenimiento. Estos resultados coinciden con investigaciones latinoamericanas sobre riesgos laborales en plantas industriales, donde las tareas repetitivas y la sobrecarga física constituyen factores asociados al desarrollo de fatiga ocupacional y trastornos musculoesqueléticos. Aunque el sulfato de aluminio representó el principal riesgo químico identificado, los hallazgos muestran que la afectación de la salud integral no depende únicamente de la exposición química, sino también de la interacción entre factores físicos, ergonómicos y psicosociales presentes en el entorno laboral.

El análisis de las condiciones de ventilación y almacenamiento permitió identificar limitaciones estructurales que podrían influir directamente en el incremento de la exposición ocupacional. Investigaciones relacionadas con sistemas de dosificación de sulfato de aluminio en plantas de tratamiento de agua han señalado que los procesos manuales incrementan significativamente el riesgo de contacto directo y dispersión de partículas químicas, mientras que la automatización parcial de los sistemas reduce la exposición del personal operativo (Maldonado y Sánchez, 2023). Estos antecedentes respaldan la necesidad de fortalecer controles de ingeniería dentro de la PTAP Tixán.

La presencia de síntomas respiratorios, irritación ocular y contacto dérmico reportados por los operadores puede relacionarse con la exposición frecuente a polvo químico y aerosoles de aluminio. La literatura científica describe que las partículas suspendidas de aluminio poseen capacidad irritativa y pueden generar alteraciones respiratorias cuando son inhaladas de forma continua, particularmente en ambientes laborales cerrados o con ventilación deficiente. La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) reconoce que la exposición inhalatoria ocupacional al aluminio constituye una de las principales rutas de absorción en ambientes industriales.

A nivel de salud ocupacional, los resultados reflejan una problemática multidimensional donde convergen riesgos químicos, físicos y organizacionales. La coexistencia de jornadas prolongadas, limitada capacitación y controles preventivos parciales puede favorecer procesos de desgaste laboral y aumentar la susceptibilidad de los trabajadores frente a enfermedades ocupacionales. Aunque no se realizaron biomarcadores biológicos de exposición, la evidencia obtenida mediante observación directa y evaluación de riesgos permite inferir condiciones laborales que requieren intervención preventiva inmediata.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra el tamaño reducido de la muestra y la ausencia de monitoreo ambiental cuantitativo de partículas de aluminio en aire. Asimismo, no se efectuaron pruebas clínicas o biomarcadores específicos que permitieran correlacionar niveles biológicos de exposición con manifestaciones clínicas. Sin embargo, el estudio aporta evidencia aplicada sobre

condiciones reales de trabajo en plantas de tratamiento de agua potable del contexto ecuatoriano, un ámbito poco documentado en investigaciones ocupacionales latinoamericanas.

Los hallazgos obtenidos poseen relevancia científica y práctica para la gestión de seguridad y salud ocupacional en PTAP que utilizan compuestos químicos basados en aluminio. La evidencia generada sugiere la necesidad de implementar sistemas de ventilación más eficientes, fortalecer programas de capacitación continua, optimizar el uso de equipos de protección personal y promover estrategias de automatización de procesos químicos. Estas acciones podrían disminuir la exposición ocupacional y contribuir a la protección integral de la salud de los operadores expuestos de manera continua a sulfato de aluminio.

CONCLUSIONES

La evaluación realizada en los operadores de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán, ubicada en Cuenca, permitió identificar una elevada exposición ocupacional al sulfato de aluminio, principalmente durante las actividades de dosificación, preparación y manipulación manual de sustancias químicas. Los riesgos químicos representaron el principal factor de peligrosidad dentro de la planta, destacándose la inhalación de partículas y el contacto dérmico como las vías de exposición más frecuentes.

Los resultados evidenciaron que gran parte de los operadores se encuentra expuesta a condiciones laborales que podrían afectar progresivamente su salud integral, especialmente por la combinación de riesgos químicos, ergonómicos y físicos presentes en el entorno operativo. La presencia de ventilación insuficiente, señalización limitada y uso inconsistente de equipos de protección personal incrementa la probabilidad de desarrollar alteraciones respiratorias, dérmicas y fatiga ocupacional asociadas a la exposición continua al sulfato de aluminio.

La matriz de evaluación de riesgos permitió clasificar varias actividades operativas en niveles altos y críticos, particularmente en las áreas de dosificación química y almacenamiento de insumos. Estos hallazgos demuestran la necesidad de fortalecer las medidas de control preventivo mediante la implementación de sistemas de ventilación adecuados, automatización parcial de procesos químicos y mejora en las condiciones de seguridad industrial dentro de la PTAP.

Asimismo, se identificó un cumplimiento parcial de las normas de seguridad ocupacional, reflejado en deficiencias relacionadas con capacitación, protocolos de emergencia y disponibilidad de equipos de respuesta ante incidentes químicos. Estas condiciones evidencian la necesidad de desarrollar programas continuos de formación y vigilancia ocupacional orientados a reducir la exposición laboral y fortalecer la cultura preventiva en los trabajadores.

Aunque el estudio presentó limitaciones relacionadas con el tamaño de la muestra y la ausencia de monitoreo biológico y ambiental cuantitativo, la investigación aporta evidencia relevante sobre los riesgos ocupacionales asociados al uso de sulfato de aluminio en plantas de tratamiento de agua potable del

contexto ecuatoriano. Los resultados obtenidos constituyen una base técnica y científica para futuras investigaciones y para el diseño de estrategias institucionales dirigidas a la protección de la salud integral de los operadores expuestos a agentes químicos industriales.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, V. C., Jimbo, I. C., Vélez, V. P., Ramos, J. F., González, M. F., González, M. F., .Sánchez, C. R. (2025). Assessing critical water quality indicators in raw and drinking waters of the main treatment plants in the city of Cuenca, Ecuador. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 17(4), 1-32. doi:<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2026-04-01>
- Ávila, F. G., Alvear, T. E., Altamirano, L. M., Añazco, A. A., González, L. V., & Paredes, E. A. (2025). Evaluación del riesgo para la salud humana del aluminio en agua tratada con coagulantes a base de aluminio en una zona rural. *Resultados en ingeniería*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104200>
- Maldonado, J. E., & Sánchez, J. G. (2023). *Diseño de un sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la planta de agua Patamarca San Andrés*. Obtenido de Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25922>
- Mite, A. I., Torres, D. J., & Bermello, V. A. (2023). Intoxicación ocupacional por cloruro de aluminio. *RECIMUNDO*, 2, 228–237. doi:<https://doi.org/10.26820/recimundo/7>.
- NIOSH . (2022). *Occupational exposure to aluminum compounds and health effects*. Centers for Disease Control and Prevention. Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional : <https://www.cdc.gov/niosh/npg/pgintrod.html>
- OIT. (2023). *Occupational safety and health in hazardous chemical environments*. Organización Internacional del Trabajo : <https://www.ilo.org/topics-and-sectors/safety-and-health-work/chemical-safety-and-environment>
- OMS. (2022). *Chemical safety and workers' health in industrial environments*. World Health Organization: https://www.who.int/health-topics/chemical-safety#tab=tab_1
- Pérez, M. L., España, P. O., & Rey, J. F. (2025). Análisis de los factores de riesgo ocupacional derivados de la operación de descargas hidráulicas en sistemas de embalse, estudio de caso

de una empresa de agua potable en Ecuador. *SCE MAGAZINE*, 4(4), 454–470.
doi:<https://doi.org/10.70577/ASCE/454.470/2025>

Pu, W., Raman, A. A., Hamid, M. D., Gao, X., Lin, S., & Buthiyappan, A. (2024). Diseño integrado de plantas químicas inherentemente más seguras y de procesos de seguridad laboral: desarrollo y validación del marco. *Revista de Prevención de Pérdidas en las Industrias de Procesos*, 87. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023.105204>