

Doi: <https://doi.org/10.70577/ASCE/454.470/2025>

Recibido: 2025-08-29

Aceptado: 2025-09-29

Publicado: 2025-10-13

**"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"**

**"Analysis of occupational risk factors derived from the operation of
hydraulic discharges in reservoir systems: A Case study of a drinking
water company in Ecuador"**

Autores

Martha Lilibeth Leones Pérez¹

Ing. Ambiental

lilithleones@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-9986-906X>

**Universidad Iberoamericana del
Ecuador**

Quito – Ecuador

Patricio Ojeda España²

Ing. Eléctrico

patricio.ojeda@epmapse.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0005-2874-4276>

**Universidad Iberoamericana del
Ecuador**

Quito - Ecuador

Janeth Fernanda Jiménez Rey³

PhD Ciencias de la Salud Ocupacional

janethfernandajr@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5176-2422>

Universidad Iberoamericana del Ecuador

Quito – Ecuador

Cómo citar

Leones Pérez, M. L., Ojeda España, P., & Jiménez 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". *ASCE MAGAZINE*, 4(4), 454–470.

Resumen

Este estudio analizó los factores de riesgo ocupacional derivados de la operación de descargas hidráulicas en sistemas de embalse, mediante un estudio de caso en una empresa de agua potable del Ecuador. El enfoque fue cuantitativo con diseño descriptivo-transversal, utilizando datos provenientes de monitoreos ambientales realizados por la empresa durante aproximadamente doce días en horarios no establecidos sistemáticamente. Los registros analizados incluyeron parámetros físico-químicos como pH, turbiedad, amoníaco, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, TDS y color. En el procesamiento estadístico se aplicó medidas de tendencia central y dispersión, pruebas de normalidad (Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk) y pruebas t, se caracterizó la consistencia y variabilidad de los peligros identificados. En los resultados se evidenció que el pH alcanzó valores máximos de 10,0, la turbiedad registró 562 NTU con alta variabilidad, y el amoníaco mantuvo una presencia constante, configurando riesgos químicos y biológicos significativos para los trabajadores. El oxígeno disuelto presentó valores mínimos de 4,72 mg/L, indicando condiciones propicias para el desarrollo de microorganismos anaerobios potencialmente patógenos. Con base en estos hallazgos, se elaboró una matriz de riesgo ocupacional adaptada de la clasificación de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y las directrices del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), la cual identificó niveles de riesgo que oscilaron entre moderados y críticos. Se concluyó que la gestión preventiva requiere la implementación prioritaria de controles de ingeniería, protocolos operativos estandarizados, equipos de protección personal adecuados y un sistema permanente de vigilancia ambiental y médica para proteger la salud de los trabajadores.

Palabras clave: Riesgo ocupacional; Descargas hidráulicas; Agua potable; Matriz de riesgo; Salud laboral; Embalses.



Abstract

This study analyzed occupational risk factors arising from hydraulic discharge operations in reservoir systems, using a case study from a water utility company in Ecuador. The approach was quantitative with a descriptive, cross-sectional design, utilizing data from environmental monitoring carried out by the company over approximately twelve days on a non-systematic schedule. The analyzed records included physico-chemical parameters such as pH, turbidity, ammonia, dissolved oxygen, temperature, conductivity, total dissolved solids (TDS), and color. Statistical processing involved measures of central tendency and dispersion, normality tests (Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk), and t-tests to characterize the consistency and variability of the identified hazards. The results revealed that pH reached maximum values of 10.0, turbidity registered 562 NTU with high variability, and ammonia was consistently present, constituting significant chemical and biological risks for workers. Dissolved oxygen showed minimum values of 4.72 mg/L, indicating conditions favorable for the development of potentially pathogenic anaerobic microorganisms. Based on these findings, an occupational risk matrix was developed, adapted from the International Labour Organization (ILO) classification and the guidelines of the National Institute for Safety and Health at Work (INSST). This matrix identified risk levels ranging from moderate to critical. It was concluded that preventive management requires the prioritized implementation of engineering controls, standardized operational protocols, adequate personal protective equipment, and a permanent environmental and medical surveillance system to protect workers' health.

Keywords: Occupational risk; Hydraulic discharges; Drinking water; Risk matrix; Occupational health; Reservoirs.

Introducción

Los embalses constituyen infraestructuras estratégicas dentro de los sistemas hídricos y energéticos, ya que permiten el almacenamiento y la regulación del recurso agua para múltiples fines, como el abastecimiento poblacional, la generación hidroeléctrica y el control de inundaciones (Wirley, 2025). No obstante, su operación implica escenarios laborales complejos donde convergen diversos factores de riesgo ocupacional. En este sentido, las actividades de mantenimiento y descarga de sedimentos exponen a los trabajadores a agentes químicos y biológicos potencialmente peligrosos, lo que convierte estas labores en un punto crítico dentro de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo.

A nivel internacional, la literatura técnica destaca que los embalses y presas funcionan como sumideros de agentes tóxicos y patógenos, con acumulación de metales pesados, nutrientes, microorganismos y productos de descomposición orgánica. Por consiguiente, durante las operaciones de descarga hidráulica, la resuspensión de estos sedimentos libera gases tóxicos como sulfuro de hidrógeno (H_2S) y amoníaco (NH_3) (Pesantes et al., 2019), así como bioaerosoles que afectan las vías respiratorias, dérmicas y gastrointestinales de los trabajadores (International Labour Organization (ILO), 2021). Estas tareas representan un alto riesgo, no solo por la exposición directa, sino también por la ausencia de protocolos específicos orientados al control integral de dichos agentes.

En el contexto latinoamericano, estudios desarrollados en embalses de Brasil y México identifican la presencia de coliformes fecales, metales pesados y otros contaminantes en los sedimentos (Silva et al., 2020), lo que evidencia síntomas respiratorios y dérmicos en los operadores expuestos a bioaerosoles y lodos contaminados (Ferreira et al., 2021). Estas investigaciones resaltan la necesidad de fortalecer las medidas preventivas y de protección personal, así como los programas de capacitación y monitoreo ambiental, aspectos recomendados tanto para agentes biológicos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), 2024) como químicos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), 2022). En este sentido, la aplicación de controles jerárquicos como la eliminación o minimización de la exposición, la implementación de controles de ingeniería, el establecimiento de medidas administrativas y el uso de equipos de protección personal adecuados resulta esencial para reducir la probabilidad de daño a la salud laboral.

En Ecuador, la operación de embalses destinados al abastecimiento de agua potable enfrenta condiciones similares. Investigaciones nacionales evidencian la presencia de microorganismos patógenos y metales en los sedimentos (Chauca, 2016), lo que representa un riesgo ocupacional significativo para los trabajadores encargados de las descargas hidráulicas (Baquero, 2016). Si bien la normativa nacional en seguridad y salud ocupacional, contenida en el Decreto Ejecutivo 255 y el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores (Ministerio de Trabajo, 2024), establece la obligación de identificar y controlar los riesgos químicos y biológicos, aún existen brechas en la aplicación de estrategias específicas para estas operaciones. Por tanto, el fortalecimiento de la gestión preventiva en este sector constituye una prioridad que requiere investigación aplicada y contextualizada.

En este marco, el presente estudio analiza los factores de riesgo ocupacional químicos y biológicos asociados a las descargas hidráulicas en sistemas de embalse, a partir de un estudio de caso en una empresa de agua potable en Ecuador. El objetivo es identificar los agentes de exposición, evaluar su impacto potencial sobre la salud de los trabajadores y proponer medidas de control alineadas con los lineamientos del INSST y la OIT. En consecuencia, esta investigación aporta evidencia técnica que contribuye al desarrollo de estrategias preventivas efectivas y sostenibles en la operación de infraestructuras hídricas.

Metodología

El presente estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo, ya que se trabajó con datos numéricos derivados del monitoreo de sedimentos en embalses. Este diseño resulta adecuado cuando se pretende medir y describir fenómenos a través de indicadores objetivos y verificables (Hernández, 2014).

La investigación es de tipo descriptivo, debido a que busca caracterizar la presencia de riesgos químicos y biológicos en los sedimentos, así como su impacto en las condiciones de trabajo de los operadores que realizan descargas hidráulicas. Los estudios descriptivos permiten especificar las propiedades importantes de personas, grupos o fenómenos (Vizcaino, 2023).

Asimismo, se adoptó un diseño transversal, ya que la información se analizó en un único periodo de tiempo, sin seguimiento longitudinal (Arias, 2012). Este diseño resulta

pertinente cuando se busca obtener un diagnóstico puntual de la situación objeto de estudio.

La unidad de análisis correspondió a un embalse operado por una empresa de agua potable en Ecuador. La base de datos consistió en registros de monitoreo de agua cruda de río, proporcionados directamente por la empresa. El muestreo se realizó durante aproximadamente doce días, en horarios no establecidos de forma sistemática, lo que resultó en un número variable de mediciones para cada parámetro físico-químico. En total, se analizaron registros correspondientes a 72 mediciones para la mayoría de las variables, aunque parámetros como el pH, el oxígeno disuelto, color y el amoníaco contaron con un número menor de mediciones (29, 26, 20 y 19, respectivamente), de acuerdo con la disponibilidad de los datos reportados por la empresa.

Para la recopilación de información secundaria, se revisaron los registros institucionales de la empresa, normativas nacionales vigentes en seguridad y salud ocupacional (Ministerio de Trabajo, 2024), así como literatura científica internacional vinculada a riesgos ocupacionales en embalses y presas hidroeléctricas.

La estrategia de análisis consistió en la categorización de Parámetros físico-químicos de la calidad del agua, variables que nos ayudaran a identificar según sus niveles, ya sean normales o excesivos en dos dimensiones principales:

- a) Riesgos químicos, asociados a la presencia de compuestos inorgánicos como metales pesados (plomo, mercurio, cadmio) y productos derivados de la descomposición de materia orgánica (TULSMA, 2017).
- b) Riesgos biológicos, vinculados con bacterias, hongos y parásitos presentes en el lodo y en las aguas estancadas.

La variable dependiente fue el nivel de riesgo ocupacional 1 que se exponen los trabajadores durante las operaciones de descarga hidráulica.

Procedimiento de análisis

1. Codificación y tabulación de las variables en el software estadístico IBM SPSS Statistics 27.
2. Análisis descriptivo (media, mediana, desviación estándar, frecuencias relativas) para caracterizar los contaminantes encontrados.

3. Prueba de normalidad (Kolmogórov-Smirnov/Shapiro-Wilk) para verificar la distribución de los datos.
4. Comparación de medias (ANOVA o t de Student, según corresponda) para identificar diferencias significativas entre parámetros de riesgo.
5. Elaboración de una matriz de riesgo ocupacional que integró los resultados químicos y biológicos, con base en la clasificación de la Organización Internacional del Trabajo OIT e Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST.

En cuanto a las consideraciones éticas, se garantizó la confidencialidad de la información recopilada y el consentimiento informado de los participantes. Asimismo, se aseguró que los resultados se utilizarán únicamente con fines académicos y de mejora de la seguridad ocupacional.

Resultados

El análisis de los datos físico-químicos, obtenidos de los monitoreos ambientales proporcionados por la empresa de agua potable, permitió identificar y caracterizar los principales peligros ocupacionales asociados a las operaciones de descarga hidráulica. Los valores descriptivos de los parámetros analizados se presentan en la Tabla 1.

Tabla. 1

Análisis descriptivo

Parámetros	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Temperatura °C	72	24,00	28,60	25,5365	0,81683
pH	29	7,08	10,00	7,8883	0,62293
Turbiedad NTU	72	22,7	562,0	215,043	148,6701
Color Pt - Co	20	50	75	62,50	12,825
Conductividad (us/cm)	72	68,1	136,0	97,940	10,0042
TDS mg/L	72	5,11	260,00	78,5831	65,46087
Oxígeno disuelto mg/L	26	4,72	7,70	5,8427	0,99908
Amoniaco mg/L	19	0,14	0,35	0,2232	0,05548
N válido (por lista)	0				

Nota: esta tabla muestra el numero de variables y el análisis descriptivo para cada una de ellas.

El pH presentó una media de 7.89, con un valor máximo de 10.00, lo que indica episodios de alcalinidad extrema. Por su parte, la turbiedad mostró una alta variabilidad ($DE = 148.67$ NTU) y un valor máximo de 562.0 NTU, lo que sugiere picos de contaminación particulada y microbial. El amoníaco se mantuvo en un rango constante (Media = 0.2232 mg/L), mientras que el oxígeno disuelto registró un mínimo de 4.72 mg/L, indicativo de condiciones ocasionales de hipoxia.

El análisis de distribución de datos (Tablas 2 y 3) reveló que parámetros como la turbiedad, el pH y el oxígeno disuelto presentaron distribuciones no normales ($p < 0.05$), lo que apunta a una exposición irregular y con picos impredecibles para los trabajadores. En contraste, el amoníaco y la conductividad mostraron distribuciones normales, lo que implica una exposición constante y predecible.

Tabla 2.*Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov*

Parámetro	Prueba	Estadístico	gl	valor p	Distribución
Turbiedad NTU	Kolmogórov-Smirnov	0,138	72	0,002	No normal
TDS mg/L	Kolmogórov-Smirnov	0,418	72	0	No normal
Conductividad (us/cm)	Kolmogórov-Smirnov	0,089	72	0,200 ⁴	Normal
Temperatura °C	Kolmogórov-Smirnov	0,15	72	0	No normal

Tabla 3.*Prueba de normalidad: Shapiro – Wilk*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
pH	0,676	29	<0,001
Color Pt – Co	0,641	20	<0,001
Oxígeno disuelto mg/L	0,759	26	<0,001
Amoníaco mg/L	0,959	19	0,544



La aplicación de pruebas estadísticas inferenciales, como la prueba t para una muestra (Tabla 4), confirmó que las concentraciones de conductividad ($t(71) = 83.07$, $p < 0.001$) y amoníaco ($t(18) = 17.53$, $p < 0.001$) fueron significativamente diferentes de cero, lo que valida la presencia consistente de estos parámetros en el ambiente laboral.

Tabla 4.

Prueba T Student

Valor de prueba = 0						
			95% de intervalo de confianza de la diferencia			
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
Conductividad (us/cm)	83,070	71	0,000	97,9403	95,589	100,291
Amoniaco mg/L	17,532	18	0,000	0,22316	0,1964	0,2499

Con base en estos hallazgos, se elaboró la Matriz de Riesgo Ocupacional (Tabla 5), la cual integra los resultados químicos y biológicos según la clasificación de la OIT (2021) y el e Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST (2022 y 2024).

Esta matriz identifica niveles de riesgo que varían entre moderados y críticos, con los puntajes más altos asociados a la turbiedad (25) y al pH (20), lo que los cataloga como riesgos "Muy Alto".



Tabla 5.

Peligro (clasif. OIT)	Parámetro / fuente (medido)	Prob. (1-5)	Sev. (1-5)	Puntaje	Nivel	Controles (jerarquía)	Vigilancia / acciones concretas
Químico — corrosión/irritación	pH (Media 7.89; Máx. 10.00; SD 0.62)	4 (Frecuente — presente consistentemente)	5 (Lesiones químicas, quemaduras oculares)	20	Muy alto	Eliminación/Substitución: neutralización previa cuando sea posible; Ingeniería: sistemas cerrados para muestreo y limpieza; Admin: SOPs, entrenamiento, señalización; EPP: guantes químico-resistentes, gafas/face shield, delantal.	Medir pH en punto de trabajo diario; alarmas cuando pH > 9.0; registros y procedimientos de lavado/neutralización; ficha SDS accesible.
Biológico — patógenos (infeccioso)	Turbiedad (Media 215 NTU; Máx. 562; Mediana 176; SD alta)	5 (Muy alta — picos impredecibles)	5 (Infecciones cutáneas, gastrointestinales, respiratorias)	25	Muy alto	Ingeniería: minimizar generación de aerosoles (cubiertas, bombas cerradas, extracción localizada); Admin.: limitar personal a lo esencial, rotación; higiene (lavado de manos), vacunaciones según riesgo; EPP: protección facial, guantes, mascarilla respiratoria en tareas de riesgo.	Medición rutinaria de turbidez; activar protocolos si turbidez > X (ver nota abajo); muestreo microbiológico dirigido tras picos; registro de incidentes.
Biológico — ambientes anaerobios / toxinas	Oxígeno disuelto (mín. 4.72 mg/L)	4 (Frecuente)	4 (Proliferación anaerobios → toxinas)	16	Alto	Ingeniería: tratamiento que reduzca materia orgánica; control de lodos; ventilación local; Admin.: SOPs para manejo de áreas con posibles gases tóxicos; EPP: respiradores si hay olores/gases.	Monitoreo de OD y materia orgánica; registro de eventos hipóxicos; muestreo para bacterias anaerobias si OD baja sostenida.



Químico — vapores irritantes	Amoniaco (agua) (Media 0.223 mg/L; Máx. 0.35 mg/L) — riesgo por volatilización	3 (Constante, predecible)	4 (Irritación respiratoria, broncoespasmo)	12	Alto	Ingeniería: ventilación local y extracción en áreas de tratamiento/mezcla; contención en tanques cerrados; Admin.: monitoreo de aire, límites de acceso; EPP: protección respiratoria aprobada si se superan límites.	Medición periódica de amoníaco en aire en zonas de trabajo; detector fijo/portátil
Físico / Térmico (cond. de trabajo)	Temperatura (Media 25.5 °C) + EPP impermeable	2	2	4	Bajo – Medio	Admin. /Ergonómico: rotación de tareas, pausas, hidratación; selección de EPP transpirables cuando posible.	Evaluación de carga térmica si se usan EPP impermeables + humedad alta; monitoreo subjetivo de confort y ausentismo por fatiga.
Químico / corrosivo menor	TDS / Conductividad (estables, SD baja)	2	1–2	2–4	Bajo	Buenas prácticas de manipulación, EPP básico (guantes).	Monitoreo periódico; inclusión en SDS/etiquetado.

Leyenda: Probabilidad (P) 1=Muy baja ... 5=Muy alta; Severidad (S) 1=Leve ... 5=Crítica; Puntaje = P×S. Niveles: 1–4 Bajo; 5–9 Medio; 10–14 Alto; 15–25 Muy alto.

Como cierre de los resultados, los parámetros más críticos identificados fueron el pH (por sus picos de alcalinidad extrema), la turbiedad (por su alta variabilidad y valor máximo elevado) y el amoníaco (por su presencia constante y potencial de volatilización), los cuales configuran escenarios de riesgo químico y biológico de magnitud considerable para el personal operativo.

Discusión

Los resultados de este estudio revelan condiciones ambientales que conllevan riesgos ocupacionales significativos, los cuales coinciden con hallazgos reportados en la literatura internacional. Por ejemplo, los valores de pH alcalino (hasta 10.00) concuerdan con lo documentado por Morábito (Morábito, 2007), quien señaló que pH superiores a 8.5 poseen potencial corrosivo e irritante para la piel y mucosas. Este hallazgo refuerza la necesidad de implementar controles técnicos, como sistemas cerrados de muestreo, tal como sugiere la jerarquía de controles de la OIT (2021).

Por otra parte, los elevados niveles de turbiedad (máx. 562 NTU) y su distribución no normal indican una exposición variable a agentes biológicos, lo que se alinea con lo reportado por la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2018), que asocia altas turbiedades con una mayor carga de patógenos. Sin embargo, mientras que estudios como el de Lu Rui (Lu et al., 2020) se centran en plantas de tratamiento, esta investigación evidencia que el riesgo también es crítico en operaciones de descarga de embalses, lo que amplía el ámbito de aplicación de dichas recomendaciones.

Respecto al amoníaco, su presencia constante, aunque en bajas concentraciones representa un riesgo químico latente por su potencial de volatilización, lo que coincide con lo expuesto por Soriano (Soriano et al., 2017). No obstante, a diferencia de lo reportado en contextos industriales con mayores concentraciones, aquí el riesgo es continuo y requiere monitoreo ambiental preventivo más que correctivo.

Cabe destacar que los bajos niveles de oxígeno disuelto (mín. 4.72 mg/L) refuerzan el riesgo biológico, tal como lo identificaron (Baque, 2016) y (Koh & Ahad, 2020) en ambientes acuáticos eutrofizados. Este resultado subraya la interconexión entre parámetros físico-químicos y riesgos para la salud laboral, un aspecto a veces subestimado en evaluaciones tradicionales de seguridad.

En contraste con lo reportado por Ferreira (Ferreira et al., 2021), quienes priorizaron metales pesados en sedimentos, este estudio encontró que los riesgos derivados de la turbiedad y el pH fueron igualmente críticos, lo que sugiere que las evaluaciones de riesgo en embalses deben ser multifactoriales y no restringirse a un solo tipo de contaminante.

La Matriz de Riesgo Ocupacional (Tabla 5) desarrollada sintetiza estos hallazgos y establece una base para la acción preventiva. La identificación de riesgos "Muy Alto" asociados a la turbiedad y al pH demanda la aplicación prioritaria de la jerarquía de controles de la OIT y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST, con especial énfasis en controles de ingeniería y medidas administrativas, tal como se documenta en estudios similares en entornos laborales complejos (Fontes, 2001)

Para culminar, los hallazgos de este estudio no solo validan la presencia de riesgos químicos y biológicos en operaciones de descarga hidráulica, sino que también destacan lo incierto en la exposición debido a la variabilidad de parámetros como la turbiedad y el pH. Estos resultados justifican la implementación de una matriz de riesgos específica y el reforzamiento de los controles de ingeniería y administrativos propuestos, en línea con los objetivos planteados en esta investigación y con las directrices internacionales en seguridad y salud en el trabajo.

Conclusiones

Este estudio logró identificar y evaluar los factores de riesgo ocupacional derivados de las operaciones de descargas hidráulicas en un embalse de una empresa ecuatoriana de agua potable, con lo cual se cumplió el objetivo principal de diagnosticar riesgos específicos y proponer medidas preventivas.

Los resultados confirmaron la presencia de condiciones ambientales críticas. Parámetros como el pH, que alcanzó valores de 10,0, y la turbiedad, con picos de 562 NTU, representan peligros químicos y biológicos significativos. Estos hallazgos se complementan con la presencia constante de amoníaco y episodios de bajo oxígeno disuelto, factores que incrementan el riesgo de exposición a agentes irritantes, corrosivos y patógenos.

El análisis estadístico reveló que la mayoría de los parámetros presenta distribuciones no normales, un hallazgo que indica exposiciones irregulares y picos de riesgo difíciles de predecir. Esta variabilidad refuerza la necesidad de que la gestión de riesgos adopte un enfoque adaptativo y proactivo.

La matriz de riesgo ocupacional que se desarrolló, con base en la clasificación de la OIT y el e Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST, clasificó los peligros asociados al pH y la turbiedad como “Muy alto”, y los relacionados con el amoníaco y el oxígeno disuelto como “Altos”. Esta evaluación justifica la aplicación prioritaria de la jerarquía de controles, que debe enfatizar las medidas de ingeniería, los protocolos operativos estandarizados y el uso sistemático de equipos de protección personal.

En síntesis, esta investigación aporta evidencia científica que sustenta la integración de la gestión de riesgos químicos y biológicos en los procesos operativos del sector de agua potable. Los resultados subrayan la urgencia de implementar estrategias preventivas integrales, las cuales deben alinearse con las directrices de la OIT y las normas internacionales de higiene industrial para proteger la salud de los trabajadores y garantizar la sostenibilidad de las operaciones en contextos de embalses.

Recomendaciones

A partir de los resultados y conclusiones de este estudio, se formula un plan de acción integral para la gestión de riesgos químicos y biológicos en la empresa de agua potable. Este plan se alinea con la jerarquía de controles de la OIT y el e Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST, se organiza en cinco ejes estratégicos:

1. Controles de ingeniería y contención

Se recomienda la instalación de sistemas cerrados para la toma de muestras y mantenimiento de equipos, con el fin de eliminar el contacto directo con aguas de pH elevado y alta turbiedad. De forma complementaria, se debe implementar ventilación localizada en zonas de agitación y almacenamiento para controlar los vapores de amoníaco, así como cubiertas en tanques y canales para minimizar la generación de aerosoles contaminados.

2. Protocolos operativos estandarizados

Es fundamental establecer procedimientos operativos específicos para condiciones de riesgo elevado, que incluyan criterios de acción inmediata ante umbrales críticos ($\text{pH} > 9.5$ o turbiedad > 300 NTU). Estos protocolos deben integrarse en el sistema de gestión de seguridad de la empresa.

3. Capacitación continua y cultura preventiva

Se debe implementar un programa de formación permanente que enfatice la identificación de riesgos químicos y biológicos, el reconocimiento de síntomas tempranos de exposición y la adopción de prácticas de higiene personal. La realización periódica de simulacros de emergencia consolidará una respuesta efectiva ante incidentes.

4. Optimización del uso de equipos de protección personal (EPP)

La empresa debe garantizar la disponibilidad y uso obligatorio de EPP específicos, como guantes resistentes a químicos, protección ocular y respiratoria, y ropa impermeable. Adicionalmente, se requiere evaluar el confort térmico del EPP para reducir la fatiga laboral en condiciones de alta humedad y temperatura.

5. Vigilancia ambiental y médica permanente

Es necesario establecer un programa de monitoreo ambiental que incluya mediciones rutinarias de pH, turbiedad, oxígeno disuelto y amoníaco en aire. Paralelamente, se debe implementar un sistema de vigilancia médica con exámenes periódicos orientados a la detección temprana de afecciones dérmicas, respiratorias y gastrointestinales.

Para asegurar la sostenibilidad de estas medidas, se recomienda revisar trimestralmente la matriz de riesgos, integrar todas las acciones al sistema de gestión de seguridad de la empresa y fomentar la investigación aplicada que fortalezca la evidencia científica en el sector de agua potable en Ecuador.

Referencias Bibliográficas

- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Baque, R. S. L. G. B. S. P. (2016). *Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582663826015>
- Chauca, J. (2016). *PLAN DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL, EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA, INSTALACIÓN DE ALCANTARILLADO PLUVIAL, CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA DISMINUIR LOS ACCIDENTES LABORALES EN LA EMPRESA "HIDROPLAYAS E.P.", EN EL CANTÓN PLAYAS, PROVINCIA DEL GUAYAS. 2016*. <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/3971>
- Ferreira, K. de S., Rani-Borges, B., Santos, G. L. M., Cardoso-Silva, S., Sá, L. R. M., & Pompêo, M. (2021). Metais nos Sedimentos em Reservatórios: ¿ha Toxicidades Potencial? *Sociedade & Natureza*, 33. <https://doi.org/10.14393/sn-v33-2021-58794>
- Fontes, R. (2001). *Seguridad y Salud en el Trabajo en América Latina y el Caribe: Análisis, temas y recomendaciones de política*. <http://dx.doi.org/10.18235/0009818>
- Hernández, R. F. C. B. M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación*. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2022). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo*. <https://www.insst.es/catalogo-de-publicaciones>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2024). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo*. <https://www.insst.es/catalogo-de-publicaciones>
- International Labour Organization (ILO). (2021). *International Labour Organization X Exposure to hazardous chemicals at work and resulting health impacts: A global review*. https://www.researchgate.net/publication/363952815_International_Labour_Organization_-_Exposure_to_hazardous_chemicals_at_work_and_resulting_health_impacts_A_global_review
- Koh, K. L., & Ahad, N. A. (2020). Normality for Non-normal Distributions. *Journal of Science and Mathematics Letters*, 8(2), 51–60. <https://doi.org/10.37134/jsml.vol8.2.7.2020>
- Lu, R., Frederiksen, M. W., Uhrbrand, K., Li, Y., Østergaard, C., & Madsen, A. M. (2020). Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111365>
- Ministerio de Trabajo. (2024). *Anexo-3_Norma-Tecnica-de-Seguridad-e-Higiene-del-Trabajo-signed-signed-signed*. https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/11/Anexo-3_Norma-Tecnica-de-Seguridad-e-Higiene-del-Trabajo-signed-signed-signed-signed.pdf
- Morabito, J. S. S. M. R. Z. M. (2007). *Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza: temperatura, pH, iones solubles y sólidos*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837653002>



- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano CUARTA EDICIÓN*. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/89633b31-b58e-41e9-913a-a47c37713290/content>
- Pesantes, A. A., Carpio, E. P., Vitvar, T., López, M. M. M., & Menéndez-Aguado, J. M. (2019). A multi-index analysis approach to heavy metal pollution assessment in river sediments in the Ponce Enríquez Area, Ecuador. *Water (Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/w11030590>
- Silva, R. B. P. da, Campos, M. C. C., Silva, L. S., Filho, E. G. de B., Lima, A. F. L. de, Pinheiro, E. N., & Cunha, J. M. (2020). Concentration of Heavy Metals in Soils under Cemetery Occupation in Amazonas, Brazil. *Soil and Sediment Contamination*, 29(2), 192–208. <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1696280>
- Soriano, Y. V. A. V., Ruiz-Luna Vicente; Caballero-Gutiérrez Ubaldo; Ramírez-Santiago Pablo; & Enríquez del-Valle Raymundo, José. (2017). ANÁLISIS DE NITRÓGENO, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y DISUELTOS TOTALES EN EL RÍO ATOYAC, OAXACA 1 [ANALYSIS OF NITROGEN, SUSPENDED SOLIDS AND TOTAL DISSOLVED IN THE ATOYAC RIVER, OAXACA]. In *Revista Mexicana de Agroecosistemas* (Vol. 4, Issue 2). <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/194/173>
- TULSMA. (2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE*. www.lexis.com.ec
- Vizcaíno, P. C. R. M. I. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658
- Wirley, P. V. H. M. C. (2025). *Gestión Sostenible de Embalses: Estrategia para impulsar la transición energética del país Cali-Colombia*. <https://congresomundialdemantenimiento.co/Web/2025/Trabajos/2025-093.pdf>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.