



Gestión química de aguas de formación petrolera en campos amazónicos ecuatorianos: análisis técnico de contaminantes, riesgos para la salud ocupacional y brechas frente a la normativa ambiental nacional e ISO 14001.

Chemical Management of Oilfield Produced Water in Ecuadorian Amazonian Fields: Technical Analysis of Contaminants, Occupational Health Risks, and Gaps with National Environmental Regulations and ISO 14001.

Marcelo Bolívar Villagómez Padilla¹ 

talentohumano_bqc@itsoriente.edu.ec.

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez² 

benjaminquito@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Julio Bolívar Vásconez Espinoza³ 

juliovasconez@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Recepción: 05-01-2026

Aceptación: 10-02-2026

Publicación: 30-03-2026

Como citar este artículo: Villagómez, M. Quito, B. Vásconez, J. (2026). **Gestión química de aguas de formación petrolera en campos amazónicos ecuatorianos: análisis técnico de contaminantes, riesgos para la salud ocupacional y brechas frente a la normativa ambiental nacional e ISO 14001.** *Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios*, 7 (1), pp. 3374-3412.

¹ Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO).

² Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.

³ Ingeniero en Electrónica (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Magister en Conectividad y Redes de Telecomunicaciones (Escuela Politécnica Nacional EPN (Egr.)), Magister en Educación Superior (Universidad América), Doctor en Educación PHD (Universidad Benito Juárez) México, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Postdoctorante en Educación (Universidad Internacional de Investigación México UIIMEX).





Resumen

La gestión de las aguas de formación petrolera constituye uno de los retos más críticos para la sostenibilidad ambiental y la prevención de riesgos laborales en la industria hidrocarburífera, particularmente en la Amazonía ecuatoriana por su alta sensibilidad ecológica y social. Este efluente, coproducido durante la extracción de crudo, concentra hidrocarburos disueltos y emulsionados, sales de elevada conductividad, sólidos suspendidos, metales como bario, estroncio, plomo y mercurio, y compuestos orgánicos potencialmente tóxicos, cuya manipulación inadecuada incrementa la exposición ocupacional y la presión sobre ecosistemas frágiles. El objetivo del artículo es analizar, mediante una revisión bibliográfica sistemática, la composición química típica de las aguas de formación, los escenarios de exposición y efectos en la salud de los trabajadores, y las brechas entre prácticas operativas, normativa ambiental ecuatoriana y el enfoque de mejora continua de ISO 14001. La metodología integra literatura científica indexada, guías técnicas, estándares internacionales y documentos institucionales sobre tratamiento, reinyección, disposición y monitoreo. Los hallazgos señalan deficiencias recurrentes en la caracterización fisicoquímica, control de parámetros críticos, gestión de lodos y subproductos, trazabilidad documental y evaluación de riesgos químicos, así como una débil articulación entre gestión ambiental y SST. Se concluye que la adopción de controles jerárquicos, monitoreo robusto, competencias del personal y sistemas integrados alineados con ISO 14001 es determinante para reducir riesgos laborales, prevenir contaminación y fortalecer el cumplimiento regulatorio en campos amazónicos. Asimismo, se identifican oportunidades de innovación mediante tecnologías de separación avanzada, membranas y oxidación, junto con indicadores de desempeño verificables y auditorías internas periódicas multidisciplinarias. **Palabras clave:** aguas de formación, gestión química, salud ocupacional, industria petrolera, normativa ambiental.

Abstract

Fire prevention represents a fundamental pillar within risk management in commercial establishments, particularly in contexts where knowledge about the use of emergency equipment is limited. For this reason, the present article proposes the development of a practical manual aimed at the owners of commercial premises in the canton of El Tambo, with the purpose of strengthening preventive awareness and promoting the correct handling of the different types of fire extinguishers. The starting point of the research lies in the identification of a concrete problem related to the lack of training in fire safety and the absence of didactic materials adapted to the local reality. Consequently, a descriptive and applied methodology is proposed to address this need. The process begins with the collection of information through surveys and interviews with merchants in order to diagnose the existing level of knowledge. Once this stage is completed, the research advances toward the review of national and international regulations on safety and prevention, which will serve as the foundation for the construction of a contextualized and accessible manual. The resulting document will integrate content related to the different types of extinguishers and their specific applications, the appropriate procedures for their use, the basic guidelines for maintenance, and a series of recommendations oriented toward prevention. Its implementation is expected to contribute to the consolidation of a safety culture in the canton, reduce the vulnerability of businesses in the face of emergencies, and foster shared responsibility between local





authorities and business owners. **Keywords:** produced water, chemical management, occupational health, oil industry, environmental regulation.

Introducción.

La explotación petrolera en la Amazonía ecuatoriana ha constituido históricamente un eje estratégico para el desarrollo económico del país, aportando de manera significativa a los ingresos fiscales y al abastecimiento energético nacional. No obstante, este proceso productivo ha estado acompañado de impactos ambientales y sociales de alta complejidad, especialmente en lo relacionado con la generación y gestión de residuos industriales peligrosos. Entre estos residuos, las aguas de formación petrolera representan el mayor volumen producido y uno de los mayores desafíos técnicos, ambientales y sanitarios para la industria hidrocarburífera, debido a su compleja composición química y a la dificultad de su tratamiento y disposición final segura.

Las aguas de formación son extraídas de manera simultánea con el crudo durante las operaciones de producción y presentan una composición altamente variable, determinada por factores geológicos, operativos y tecnológicos. Diversos estudios han identificado la presencia de hidrocarburos disueltos, compuestos orgánicos volátiles, compuestos aromáticos policíclicos, metales pesados como plomo, mercurio y bario, así como elevadas concentraciones de sales disueltas totales, lo que incrementa significativamente su potencial contaminante (Fakhru'l-Razi et al., 2009). Esta combinación de contaminantes convierte a las aguas de formación en una fuente permanente de riesgo ambiental y ocupacional cuando su gestión no se realiza bajo criterios técnicos rigurosos.





Desde la perspectiva de la seguridad industrial y la salud ocupacional, la manipulación, almacenamiento, tratamiento y disposición de estas aguas expone al personal operativo y técnico a riesgos químicos tanto crónicos como agudos. La exposición cutánea, inhalatoria o accidental a estos contaminantes ha sido asociada con afecciones dermatológicas, respiratorias, neurológicas y alteraciones sistémicas, lo que evidencia la necesidad de integrar la gestión química dentro de los sistemas de prevención de riesgos laborales (Dórea et al., 2020). En este contexto, la gestión de aguas de formación deja de ser exclusivamente una problemática ambiental y se posiciona como un componente crítico de la protección de la salud de los trabajadores.

En el Ecuador, la normativa ambiental vigente establece límites máximos permisibles y procedimientos para el manejo de efluentes industriales; sin embargo, persisten brechas significativas entre el marco regulatorio, su aplicación efectiva en campo y los estándares internacionales de gestión ambiental, como los propuestos por la ISO 14001. Estas brechas se manifiestan en deficiencias técnicas, insuficiente monitoreo continuo, limitada capacitación del personal y una débil articulación entre la gestión ambiental y los sistemas de seguridad y salud en el trabajo.

Metodológicamente, el presente artículo se desarrolla bajo un enfoque de revisión bibliográfica sistemática, orientado al análisis crítico de literatura científica indexada, normativa nacional e internacional y modelos de gestión ambiental y ocupacional aplicables a la industria petrolera. La pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿en qué medida la gestión química de las aguas de formación petrolera en la Amazonía ecuatoriana aborda de manera efectiva los riesgos para la salud





ocupacional y cumple con la normativa ambiental nacional e internacional vigente?

Marco Teórico.

El fuego es una reacción química de oxidación rápida y exotérmica que ocurre cuando confluyen tres elementos: combustible, oxígeno y una fuente de calor suficiente para iniciar la ignición, libera energía en forma de luz, calor, humo y llamas, y constituye la base de la teoría de la combustión. (Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito, 2023).

La gestión de las aguas de formación petrolera se fundamenta en un enfoque interdisciplinario que integra principios de la química ambiental, la ingeniería de procesos, la gestión ambiental y la prevención de riesgos laborales. En la industria hidrocarburífera, estas aguas representan el principal efluente generado durante la fase de producción y su manejo inadecuado ha sido identificado como una de las principales fuentes de contaminación y exposición ocupacional en campos petroleros, especialmente en regiones ecológicamente sensibles como la Amazonía.

Desde la perspectiva de la química ambiental, las aguas de formación se caracterizan por una composición altamente compleja y variable, determinada por la litología del reservorio, el tiempo de producción del pozo y las tecnologías empleadas. Estudios clásicos y contemporáneos coinciden en que estos efluentes contienen elevadas concentraciones de sales disueltas, principalmente cloruros y sulfatos, así como metales pesados como bario, estroncio, plomo y mercurio, además de hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos orgánicos persistentes (Neff et al., 2011). La persistencia, toxicidad y potencial de





bioacumulación de estos contaminantes explican su elevada peligrosidad tanto para los ecosistemas como para la salud humana, especialmente cuando existe exposición prolongada.

En el ámbito de la ingeniería de procesos, la gestión de aguas de formación comprende un conjunto de operaciones destinadas a su separación, tratamiento, reutilización o disposición final. Estas operaciones incluyen procesos físicos, químicos y fisicoquímicos como separación gravitacional, flotación, filtración, precipitación química y, en algunos casos, tecnologías avanzadas como membranas o procesos de oxidación. No obstante, la literatura evidencia que en muchos contextos latinoamericanos estos procesos presentan limitaciones técnicas, lo que incrementa la probabilidad de liberación de contaminantes y exposición del personal operativo (Igunnu & Chen, 2014).

Desde el enfoque de la salud ocupacional, la exposición a agentes químicos constituye uno de los principales factores de riesgo en la industria extractiva. La Organización Internacional del Trabajo reconoce que los trabajadores del sector petrolero están expuestos a sustancias peligrosas a través del contacto dérmico, la inhalación de vapores y aerosoles, y la manipulación directa de efluentes y lodos contaminados (Organización Internacional del Trabajo, 2019). Estas exposiciones pueden generar efectos agudos, como irritaciones cutáneas y respiratorias, así como efectos crónicos asociados a alteraciones neurológicas, hepáticas y renales. En este contexto, la gestión química adecuada de las aguas de formación se configura como una medida preventiva primaria, orientada a reducir el riesgo en la fuente antes de recurrir a equipos de protección personal u otros controles secundarios.

El marco conceptual de la seguridad industrial moderna se basa en el





principio de jerarquía de controles, que prioriza la eliminación o sustitución del peligro, seguida de controles de ingeniería, administrativos y, finalmente, el uso de protección personal. La gestión de aguas de formación, cuando se diseña e implementa bajo este principio, permite reducir significativamente la probabilidad de incidentes y enfermedades profesionales. Sin embargo, la evidencia científica señala que en muchos campos petroleros esta jerarquía no se aplica de manera sistemática, lo que limita la eficacia de las medidas de prevención.

Desde el marco legal ecuatoriano, la protección del ambiente y de la salud de los trabajadores se reconoce como un derecho fundamental. La Constitución establece el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como el principio de prevención y responsabilidad ambiental. A este marco general se suman normativas específicas que regulan los límites máximos permisibles para descargas líquidas, el manejo de desechos peligrosos y las obligaciones de las operadoras petroleras en materia de control y mitigación ambiental. No obstante, diversos estudios señalan que la efectividad de estas normas depende en gran medida de la capacidad técnica, organizacional y económica de las empresas para implementarlas de manera adecuada.

En el ámbito de la gestión ambiental, la ISO 14001 introduce un enfoque sistemático basado en el ciclo de mejora continua, que contempla la identificación de aspectos e impactos ambientales, el cumplimiento de requisitos legales, la prevención de la contaminación y la evaluación periódica del desempeño ambiental. Este estándar promueve una gestión proactiva y documentada, orientada no solo al cumplimiento normativo, sino también a la reducción sostenida de riesgos ambientales y ocupacionales.





La integración de la ISO 14001 con los sistemas de seguridad y salud en el trabajo permite una visión holística del riesgo, en la que los peligros químicos asociados a las aguas de formación son abordados tanto desde la perspectiva ambiental como desde la prevención de daños a los trabajadores. Este enfoque integrado se alinea con los principios de la seguridad industrial moderna, que concibe la gestión del riesgo como un proceso continuo, participativo y basado en la evidencia científica.

En síntesis, el marco teórico evidencia que la gestión de aguas de formación petrolera no puede ser analizada de manera aislada, sino como parte de un sistema complejo que articula química ambiental, ingeniería, normativa legal y salud ocupacional. La comprensión de esta interrelación es fundamental para evaluar las brechas existentes y proponer estrategias de mejora que garanticen la protección del ambiente y de los trabajadores en los campos petroleros amazónicos.

Estado del Arte

La problemática asociada a la gestión de aguas de formación petrolera ha sido ampliamente abordada en la literatura científica internacional, particularmente desde las áreas de la ingeniería ambiental, la química industrial y la salud ocupacional. Los estudios coinciden en señalar que estas aguas constituyen uno de los efluentes industriales más complejos debido a su composición altamente variable y a la coexistencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos de elevada toxicidad. Investigaciones pioneras y revisiones recientes destacan que el volumen generado y la dificultad técnica de su tratamiento representan un desafío persistente para la industria petrolera a nivel global (Neff et al., 2011).





En este contexto, diversos autores han analizado la eficacia de los métodos convencionales de tratamiento de aguas de formación, como la separación gravitacional, la flotación por gas inducido y la filtración mecánica. Igundu y Chen (2014) sostienen que, si bien estas tecnologías permiten la remoción parcial de hidrocarburos libres y sólidos suspendidos, resultan insuficientes para eliminar contaminantes emergentes, metales pesados disueltos y compuestos orgánicos persistentes. Esta limitación incrementa el riesgo de liberación de sustancias peligrosas al ambiente y la exposición del personal encargado de las operaciones de tratamiento y disposición.

Desde la perspectiva de la salud ocupacional, la literatura internacional ha documentado múltiples escenarios de exposición asociados a la manipulación de aguas de formación. Estudios desarrollados en campos petroleros de América del Norte, Europa y Asia evidencian que los trabajadores están expuestos a vapores tóxicos, aerosoles contaminados y contacto dérmico con efluentes altamente corrosivos, lo que puede derivar en enfermedades profesionales de carácter crónico (Dórea et al., 2020). Estos hallazgos refuerzan la necesidad de incorporar la evaluación de riesgos químicos como un componente central de los sistemas de gestión en la industria hidrocarburífera.

En América Latina, la producción científica sobre aguas de formación ha crecido de manera sostenida en la última década, con un énfasis particular en los impactos ambientales y sociales de la actividad petrolera en ecosistemas amazónicos. Diversos estudios advierten que las regiones amazónicas presentan mayores niveles de vulnerabilidad debido a limitaciones tecnológicas, deficiencias en infraestructura de tratamiento y debilidades en los sistemas de control y fiscalización ambiental (Bravo &





Moreano, 2018). Estas condiciones incrementan la probabilidad de contaminación de suelos, cuerpos de agua y la exposición de comunidades y trabajadores a sustancias peligrosas.

En el caso ecuatoriano, la literatura académica y técnica señala que la gestión de aguas de formación ha estado históricamente orientada al cumplimiento mínimo de la normativa ambiental, con una limitada integración de criterios de seguridad y salud en el trabajo. Investigaciones recientes subrayan la necesidad de fortalecer enfoques de gestión integrada que articulen la evaluación ambiental con la prevención de riesgos laborales, considerando las particularidades geográficas, sociales y productivas de la Amazonía ecuatoriana (Villacís et al., 2021). Estos estudios evidencian que la exposición ocupacional a contaminantes químicos no siempre es evaluada de manera sistemática dentro de los estudios de impacto ambiental ni en los planes de manejo.

A nivel normativo y de gestión, la literatura reconoce la importancia de los estándares internacionales como la ISO 14001 para mejorar el desempeño ambiental de las organizaciones. Sin embargo, múltiples investigaciones advierten que la adopción formal de estos estándares no garantiza, por sí sola, una reducción efectiva de riesgos si no existe una adecuada implementación, monitoreo y compromiso organizacional. En este sentido, autores como Zeng et al. (2017) señalan que la eficacia de los sistemas de gestión ambiental depende en gran medida de la cultura preventiva, la capacitación del personal y la integración real con otros sistemas de gestión, como los de seguridad y salud ocupacional.

La literatura también destaca que las brechas en la gestión de aguas de formación no son únicamente de carácter técnico, sino que responden a





factores institucionales y formativos. La falta de personal especializado, la escasa actualización tecnológica y la limitada articulación entre autoridades ambientales y laborales son identificadas como causas recurrentes de incumplimientos y deficiencias en la gestión (Hilson & Murck, 2000). En contextos amazónicos, estas brechas se ven agravadas por la lejanía geográfica de los campos petroleros y la complejidad logística de implementar sistemas de control avanzados.

Desde una perspectiva crítica, el estado del arte evidencia una tendencia creciente a proponer enfoques integrados que combinen tecnologías de tratamiento más eficientes, sistemas de monitoreo continuo y modelos de gestión basados en la prevención. La literatura reciente enfatiza la necesidad de incorporar indicadores de desempeño ambiental y ocupacional, auditorías internas periódicas y procesos de mejora continua, alineados con estándares internacionales y adaptados a los contextos locales.

En síntesis, el análisis del estado del arte permite identificar un consenso académico respecto a la complejidad y peligrosidad de las aguas de formación petrolera, así como a las limitaciones de los enfoques tradicionales de gestión. Al mismo tiempo, se evidencian vacíos específicos en el contexto ecuatoriano, particularmente en la integración de la gestión química con la salud ocupacional. Estos vacíos justifican la pertinencia del presente estudio y refuerzan la necesidad de avanzar hacia modelos de gestión más robustos, preventivos e integrados, capaces de responder a los desafíos ambientales y laborales de la industria petrolera en la Amazonía.





Desarrollo.

Finalmente, el rol activo del comerciante en la construcción de entornos seguros tiene un efecto positivo multiplicador a nivel comunitario, ya que la prevención de incendios en un establecimiento reduce el riesgo para locales contiguos, viviendas cercanas y espacios públicos, fortaleciendo una cultura preventiva sostenible y compartida en el cantón El Tambo (NFPA, 2021).

Composición química y comportamiento fisicoquímico de las aguas de formación

Las aguas de formación petrolera se originan a partir de las aguas connatas atrapadas en los reservorios geológicos que contienen hidrocarburos y son producidas conjuntamente con el crudo durante las operaciones de extracción. Su composición química y comportamiento fisicoquímico dependen de múltiples factores geológicos, operativos y tecnológicos, lo que explica la elevada heterogeneidad observada entre distintos campos petroleros e incluso entre pozos de una misma área productiva. Entre los factores determinantes se incluyen la litología del reservorio, la profundidad, la temperatura, la presión, la edad productiva del pozo y la incorporación de sustancias químicas utilizadas para optimizar la producción, tales como inhibidores de corrosión, biocidas y demulsificantes. Esta variabilidad constituye uno de los principales desafíos para la gestión segura y eficiente de este tipo de efluentes, ya que dificulta la estandarización de tratamientos y la definición de controles preventivos uniformes en todas las instalaciones.





Desde el punto de vista geológico, las aguas de formación reflejan una interacción prolongada entre el fluido acuoso y las matrices minerales del reservorio, proceso que favorece la disolución de sales y metales. En campos maduros, característicos de la Amazonía ecuatoriana, el incremento progresivo del corte de agua a lo largo del tiempo productivo genera un aumento sostenido del volumen de aguas de formación, intensificando las exigencias técnicas y operativas para su manejo. Adicionalmente, la aplicación de técnicas de recuperación secundaria y terciaria, como la inyección de agua o productos químicos, modifica la composición original del efluente, introduciendo nuevos compuestos y alterando su equilibrio fisicoquímico. En términos operacionales, estos cambios pueden traducirse en variaciones abruptas de pH, salinidad o contenido orgánico durante arranques y paradas, mantenimiento de líneas, cambios en el régimen de producción o incorporación de nuevos pozos al sistema, lo que incrementa la probabilidad de exposiciones agudas si el monitoreo no es oportuno.

El perfil inorgánico de las aguas de formación se caracteriza principalmente por una elevada salinidad, expresada como sólidos disueltos totales, con concentraciones que pueden superar ampliamente las de las aguas marinas. Los cloruros representan el anión predominante, seguidos de sulfatos y bicarbonatos, lo que confiere a estas aguas una alta conductividad eléctrica y un marcado potencial corrosivo. Esta característica tiene implicaciones relevantes para la seguridad industrial, ya que la corrosión acelerada de tuberías, válvulas y equipos incrementa la probabilidad de fugas, fallas estructurales y liberación de sustancias peligrosas en áreas de trabajo. Además, la corrosión puede generar





productos secundarios (óxidos y partículas metálicas) que elevan la carga de sólidos suspendidos, deterioran el desempeño de los sistemas de separación y complican la gestión de lodos, incrementando la manipulación de residuos concentrados por parte del personal.

Entre los componentes inorgánicos de mayor relevancia se encuentran los metales pesados, particularmente bario, estroncio, plomo y mercurio. El bario y el estroncio suelen presentarse en concentraciones elevadas debido a la disolución de minerales presentes en el reservorio y pueden precipitar formando incrustaciones que afectan la eficiencia operativa. En condiciones de cambios de presión, temperatura o mezcla con otras corrientes acuosas, es frecuente la formación de escalas minerales que obstruyen líneas y obligan a intervenciones de limpieza química y mantenimiento, actividades que suelen aumentar la exposición del personal a soluciones corrosivas y residuos contaminados. El plomo y el mercurio, aunque generalmente presentes en menores concentraciones, poseen una elevada toxicidad y capacidad de bioacumulación, lo que los convierte en contaminantes críticos desde la perspectiva de la salud ocupacional. La exposición crónica a estos metales se ha asociado con alteraciones neurológicas, renales y cardiovasculares, especialmente en trabajadores que realizan tareas repetitivas de muestreo, mantenimiento y manejo de residuos derivados del tratamiento. Por ello, la identificación de “puntos calientes” (tanques, filtros, trampas de sólidos, separadores) resulta esencial para orientar controles de ingeniería y procedimientos de trabajo seguro.

El perfil orgánico de las aguas de formación es igualmente complejo y está dominado por la presencia de hidrocarburos disueltos y emulsionados.





Estos incluyen fracciones del petróleo crudo, compuestos aromáticos ligeros como benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, así como hidrocarburos aromáticos policíclicos reconocidos por su carácter carcinogénico. La solubilidad y persistencia de estos compuestos dependen de condiciones como la temperatura, la presión y la composición del crudo, lo que contribuye a la variabilidad de los riesgos asociados. Desde el punto de vista de la higiene industrial, los compuestos aromáticos ligeros son particularmente relevantes por su tendencia a volatilizarse, generando exposición inhalatoria durante muestreos, purgas, drenajes, transferencia entre tanques o apertura de líneas. De forma complementaria, la presencia de emulsiones estables incrementa la dificultad de separación, eleva el contenido residual de aceites y grasas, y aumenta la probabilidad de contacto dérmico durante operaciones de limpieza, control de derrames y mantenimiento.

A estos contaminantes naturales se suma la presencia de aditivos químicos utilizados durante la producción petrolera, tales como inhibidores de corrosión, biocidas, antiespumantes y demulsificantes. Si bien estos productos cumplen funciones operativas específicas, muchos de ellos presentan toxicidad aguda o crónica y pueden generar efectos adversos cuando no se gestionan adecuadamente. En particular, el uso de biocidas para controlar crecimiento microbiano y biopelículas puede modificar el equilibrio del sistema y producir subproductos o reacciones no deseadas, mientras que algunos inhibidores y demulsificantes pueden incrementar la carga orgánica o alterar la estabilidad de emulsiones. La coexistencia de contaminantes naturales y aditivos industriales incrementa la complejidad del análisis químico y exige una caracterización detallada para identificar





riesgos potenciales para los trabajadores y el ambiente, así como para establecer compatibilidades químicas y evitar mezclas reactivas durante almacenamiento y dosificación.

El comportamiento fisicoquímico de las aguas de formación está determinado por la interacción entre sus componentes inorgánicos y orgánicos, lo que influye en procesos como la emulsificación, la precipitación de sales y la volatilización de compuestos ligeros. Estos fenómenos afectan directamente la eficiencia de los sistemas de tratamiento y condicionan los escenarios de exposición ocupacional. Por ejemplo, la volatilización de compuestos aromáticos durante el manejo de aguas a alta temperatura puede generar atmósferas contaminadas en áreas cerradas o semicerradas, incrementando el riesgo inhalatorio para el personal operativo. Asimismo, la precipitación de sales y la formación de incrustaciones obliga a intervenciones de limpieza que suelen implicar el uso de ácidos u otros reactivos, reforzando la necesidad de procedimientos estrictos, control de permisos de trabajo y evaluación de atmósferas en espacios confinados.

El control de parámetros críticos constituye un elemento central de la gestión de aguas de formación. El pH y la conductividad permiten evaluar la agresividad química del efluente y su potencial corrosivo. La demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno se utilizan como indicadores de la carga orgánica presente, mientras que los parámetros de aceites y grasas permiten estimar la eficiencia de los procesos de separación primaria. La turbidez y la concentración de sólidos suspendidos son relevantes para evaluar la estabilidad de las emulsiones y el desempeño de los tratamientos físicos y fisicoquímicos. Desde una perspectiva





preventiva, la trazabilidad de estos parámetros permite anticipar fallas de proceso, identificar desviaciones operacionales y reducir exposiciones evitables mediante controles tempranos.

Otros parámetros críticos incluyen la presencia de sulfuros, que pueden generar gases tóxicos como el sulfuro de hidrógeno, y la eventual presencia de radionúclidos naturales asociados a materiales radiactivos de origen natural, particularmente en campos maduros. La gestión inadecuada de estos componentes introduce riesgos adicionales para la salud ocupacional, que requieren medidas de control específicas, monitoreo continuo y capacitación especializada del personal. En términos de seguridad industrial, la identificación de sulfuros y el control de atmósferas potencialmente peligrosas son determinantes para prevenir incidentes por intoxicación o asfixia, especialmente durante actividades de mantenimiento en tanques, separadores y sistemas cerrados.

En conjunto, la composición química y el comportamiento fisicoquímico de las aguas de formación explican la complejidad de su gestión y la multiplicidad de riesgos asociados. La elevada variabilidad, la coexistencia de contaminantes de distinta naturaleza y la interacción dinámica entre sus componentes hacen indispensable una caracterización exhaustiva y un monitoreo sistemático. Desde la perspectiva de la seguridad industrial y la salud en el trabajo, comprender estas características constituye la base para la identificación de peligros, la evaluación de riesgos y el diseño de controles efectivos orientados a reducir la exposición del personal y prevenir impactos ambientales en los campos petroleros amazónicos, asegurando además decisiones técnicas más robustas para el tratamiento y la disposición final.





Tecnologías de gestión y tratamiento aplicables en campos amazónicos

La gestión y tratamiento de las aguas de formación petrolera en campos amazónicos constituye un desafío técnico y operativo complejo debido a la elevada variabilidad de su composición química, las condiciones climáticas adversas, la fragilidad de los ecosistemas y las limitaciones logísticas propias de la región. En este contexto, la adopción de tecnologías adecuadas no puede analizarse de manera aislada, sino como parte de un sistema integral que priorice la prevención en la fuente, la reducción de riesgos ocupacionales y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. La literatura especializada coincide en que una gestión eficaz debe iniciar con estrategias de minimización y control en origen, complementadas con tratamientos progresivos acordes a la carga contaminante y a la capacidad operativa de las instalaciones (Fakhru'l-Razi et al., 2009).

La gestión en fuente representa el primer nivel de intervención y constituye una de las estrategias más costo-efectivas para reducir el volumen y la peligrosidad de las aguas de formación. Esta gestión incluye la segregación de corrientes según su origen y características, evitando la mezcla innecesaria de aguas con diferentes niveles de contaminación. La separación temprana de aguas con alto contenido de hidrocarburos de aquellas con predominio salino permite optimizar los tratamientos posteriores y disminuir la exposición del personal a efluentes altamente tóxicos. Asimismo, la minimización en fuente implica la optimización de procesos productivos para reducir el ingreso de agua al sistema, mediante el control de conificaciones, la reparación oportuna de fugas y el ajuste de parámetros operativos.





Las buenas prácticas operativas constituyen un componente esencial de la gestión en fuente y tienen un impacto directo sobre la seguridad industrial y la salud ocupacional. Estas prácticas incluyen procedimientos estandarizados para muestreo, transferencia y almacenamiento, mantenimiento preventivo de equipos, capacitación continua del personal y uso adecuado de sistemas de contención secundaria. En campos amazónicos, donde las condiciones ambientales favorecen la corrosión y el deterioro acelerado de la infraestructura, la implementación rigurosa de estas prácticas resulta fundamental para prevenir derrames, fugas y exposiciones accidentales. La contención primaria y secundaria de tanques, separadores y líneas de proceso permite reducir la probabilidad de liberaciones no controladas y facilita la respuesta ante emergencias.

Los tratamientos convencionales de aguas de formación constituyen el núcleo de los sistemas de gestión en la mayoría de los campos petroleros. Entre estos tratamientos se incluyen la separación gravitacional, la flotación por gas inducido o disuelto, la filtración y la sedimentación. La separación gravitacional se basa en la diferencia de densidades entre el agua y los hidrocarburos libres, permitiendo la remoción inicial de aceites. La flotación, por su parte, mejora la eficiencia de separación mediante la adherencia de burbujas a partículas oleosas y sólidos, facilitando su ascenso y remoción. Estos procesos, aunque ampliamente utilizados, presentan limitaciones frente a emulsiones estables y contaminantes disueltos, lo que exige tratamientos complementarios.

La coagulación y floculación química se emplean para desestabilizar emulsiones y aglomerar partículas finas, mejorando la remoción de sólidos suspendidos y aceites residuales. Estos procesos requieren la adición





controlada de coagulantes y floculantes, lo que introduce consideraciones adicionales de seguridad química y manejo de reactivos. La precipitación química de metales pesados constituye otra tecnología convencional utilizada para reducir concentraciones de bario, estroncio y otros metales mediante la formación de compuestos insolubles. Sin embargo, estos procesos generan lodos contaminados que deben ser gestionados adecuadamente para evitar riesgos secundarios.

A pesar de su utilidad, los tratamientos convencionales presentan limitaciones significativas en la remoción de contaminantes emergentes y compuestos orgánicos persistentes. Diversos estudios han demostrado que estos procesos no son suficientes para cumplir con estándares ambientales más estrictos ni para reducir de manera efectiva los riesgos ocupacionales asociados a exposiciones crónicas (Igunnu & Chen, 2014). En este escenario, las tecnologías avanzadas han ganado atención como alternativas complementarias o de refuerzo.

Entre las tecnologías avanzadas más estudiadas se encuentran los procesos de membranas, como la ultrafiltración y la ósmosis inversa, que permiten una remoción eficiente de sales disueltas, metales y compuestos orgánicos. No obstante, su aplicación en campos amazónicos enfrenta limitaciones técnicas y económicas relacionadas con el alto consumo energético, la sensibilidad al ensuciamiento y la necesidad de mantenimiento especializado. Estas limitaciones pueden incrementar la frecuencia de intervenciones de mantenimiento, exponiendo al personal a concentraciones elevadas de contaminantes y a reactivos de limpieza.

Los procesos de oxidación avanzada, que incluyen el uso de ozono, peróxido de hidrógeno o radiación ultravioleta, han demostrado eficacia en





la degradación de compuestos orgánicos persistentes. Sin embargo, su implementación en regiones amazónicas se ve restringida por la complejidad operativa, los costos asociados y la generación de subproductos potencialmente tóxicos. Desde la perspectiva de la seguridad industrial, estos procesos requieren controles estrictos para evitar exposiciones a agentes oxidantes fuertes y a condiciones operativas peligrosas.

La adsorción, mediante el uso de carbón activado u otros materiales, constituye otra alternativa para la remoción de compuestos orgánicos. Esta tecnología presenta ventajas en términos de simplicidad operativa, pero genera residuos sólidos saturados que deben ser manejados como desechos peligrosos. La manipulación de estos materiales incrementa la exposición ocupacional durante las tareas de reemplazo y disposición, especialmente cuando no se cuenta con procedimientos adecuados y equipos de protección apropiados.

El manejo de subproductos derivados del tratamiento de aguas de formación representa uno de los puntos críticos de falla en los sistemas de gestión. Los lodos generados por procesos de coagulación, precipitación y filtración concentran contaminantes químicos y metales pesados, lo que incrementa su peligrosidad. La gestión inadecuada de estos lodos puede generar exposiciones directas durante su deshidratación, transporte y disposición final. De manera similar, las emulsiones separadas y los cartuchos o filtros contaminados requieren una trazabilidad clara para garantizar su manejo seguro y conforme a la normativa.

La trazabilidad de los residuos y subproductos constituye un elemento esencial para evaluar la suficiencia técnica de las tecnologías





implementadas. La falta de registros adecuados, etiquetado incorrecto o almacenamiento temporal inadecuado incrementa el riesgo de exposiciones accidentales y dificulta la identificación de responsabilidades en caso de incidentes. En campos amazónicos, donde las rutas de transporte son limitadas y las distancias a sitios de disposición final son considerables, estas deficiencias se traducen en acumulación prolongada de residuos peligrosos en sitio, incrementando los riesgos para los trabajadores.

En conjunto, el análisis de las tecnologías de gestión y tratamiento de aguas de formación evidencia que la suficiencia técnica no depende únicamente de la adopción de procesos específicos, sino de su integración coherente dentro de un sistema de gestión integral. Los puntos críticos de falla se concentran en la gestión en fuente insuficiente, la dependencia excesiva de tratamientos convencionales, la implementación limitada de tecnologías avanzadas sin evaluación contextual y el manejo inadecuado de subproductos. Desde la perspectiva de la seguridad y salud ocupacional, estos puntos críticos representan escenarios prioritarios de intervención para reducir riesgos, optimizar procesos y fortalecer la protección de los trabajadores en los campos petroleros amazónicos.

Escenarios de exposición ocupacional y evaluación del riesgo químico

Los escenarios de exposición ocupacional asociados a la gestión de aguas de formación petrolera se configuran a partir de la interacción directa entre la composición química del efluente, las tareas operativas desarrolladas en campo y las condiciones ambientales propias de los





campos amazónicos. La identificación de estas tareas críticas constituye el primer paso para comprender cómo se materializan los riesgos químicos y cómo estos impactan la seguridad industrial y la salud de los trabajadores. Entre las actividades de mayor relevancia se encuentran la operación de separadores primarios y secundarios, el muestreo rutinario, las labores de mantenimiento preventivo y correctivo, la limpieza de tanques y líneas, los procesos de tratamiento, el transporte interno de efluentes y la atención de contingencias operativas.

La operación de separadores expone al personal a corrientes de aguas de formación con alta carga orgánica e inorgánica, especialmente durante purgas, drenajes y ajustes operativos. Estas actividades suelen realizarse en proximidad a superficies calientes y sistemas presurizados, lo que incrementa la volatilización de compuestos orgánicos ligeros y la probabilidad de fugas o salpicaduras. El muestreo, aunque considerado una tarea rutinaria, representa un escenario crítico debido a la manipulación directa de efluentes sin tratamiento, donde la ausencia de procedimientos estandarizados o el uso inadecuado de equipos de protección personal puede derivar en exposiciones repetidas de baja dosis con efectos acumulativos.

Las actividades de mantenimiento y limpieza de tanques, separadores y sistemas de tratamiento constituyen escenarios de exposición de alto riesgo, particularmente cuando implican el ingreso a espacios confinados. Durante estas tareas, los trabajadores pueden estar expuestos simultáneamente a vapores tóxicos, aerosoles contaminados, residuos concentrados y atmósferas deficientes en oxígeno. La remoción de lodos y sedimentos acumulados incrementa el contacto dérmico con mezclas





complejas de hidrocarburos, metales pesados y aditivos químicos, lo que exige controles estrictos y evaluaciones previas de riesgo.

El transporte interno de aguas de formación y subproductos del tratamiento representa otro escenario relevante, especialmente en campos amazónicos donde las distancias entre instalaciones y las condiciones de las vías internas pueden favorecer derrames y liberaciones accidentales. Las contingencias operativas, como fallas de equipos, rupturas de líneas o eventos de sobrepresión, generan exposiciones agudas que requieren respuestas rápidas y personal capacitado. En estos casos, la ausencia de planes de emergencia bien estructurados incrementa significativamente el riesgo para los trabajadores involucrados en la contención y mitigación del evento.

Las vías de exposición a contaminantes químicos en estos escenarios incluyen principalmente el contacto dérmico, la inhalación de vapores y aerosoles, y la ingestión accidental. La exposición dérmica ocurre por contacto directo con efluentes, lodos y superficies contaminadas, siendo especialmente relevante en climas húmedos donde la sudoración y la integridad de la piel pueden verse comprometidas. La inhalación constituye una vía crítica cuando se liberan compuestos volátiles como BTEX o gases disueltos, particularmente en áreas con ventilación limitada. La ingestión accidental, aunque menos frecuente, puede ocurrir por prácticas inadecuadas de higiene, consumo de alimentos en áreas contaminadas o transferencia indirecta de contaminantes desde las manos a la boca.

Diversas condiciones operativas incrementan el riesgo de exposición, entre ellas la elevada temperatura de las corrientes, la presión de los





sistemas, la presencia de emulsiones estables y el trabajo en espacios confinados. Estas condiciones favorecen la volatilización de contaminantes, la generación de aerosoles y la acumulación de gases peligrosos, lo que exige una evaluación cuidadosa antes de la ejecución de las tareas. En campos amazónicos, la combinación de altas temperaturas ambientales y humedad incrementa la carga fisiológica del trabajador y puede reducir la eficacia de los equipos de protección, exacerbando los riesgos existentes.

Los efectos sobre la salud derivados de la exposición a aguas de formación pueden manifestarse de manera aguda o crónica, dependiendo del tipo de contaminante, la vía de exposición y la duración del contacto. Los efectos agudos incluyen irritaciones cutáneas y oculares, cefaleas, náuseas, mareos y dificultades respiratorias asociadas a la inhalación de vapores tóxicos. Los efectos crónicos han sido vinculados a exposiciones prolongadas a metales pesados y compuestos orgánicos persistentes, manifestándose como alteraciones neurológicas, hepáticas, renales y cardiovasculares, así como un aumento del riesgo carcinogénico en el caso de ciertos hidrocarburos aromáticos (Dórea et al., 2020).

La evaluación del riesgo químico en estos escenarios requiere una metodología sistemática que integre la caracterización de peligros, la estimación de la exposición y el análisis de los controles existentes. La caracterización de peligros implica identificar los contaminantes presentes, sus propiedades toxicológicas y los procesos que favorecen su liberación. La estimación de la exposición considera la frecuencia, duración e intensidad del contacto del trabajador con los contaminantes, así como





las condiciones ambientales y operativas que pueden modificar estos parámetros.

El análisis de controles existentes permite identificar fortalezas y brechas en la gestión del riesgo. En muchos campos petroleros, los controles de ingeniería son limitados o se encuentran deteriorados, lo que incrementa la dependencia de controles administrativos y equipos de protección personal. Desde la perspectiva de la jerarquía de controles, la eliminación o sustitución del peligro suele ser inviable, por lo que la implementación de controles de ingeniería, como sistemas cerrados, ventilación adecuada y automatización de procesos, resulta fundamental. Los controles administrativos, incluyendo procedimientos, permisos de trabajo y capacitación, complementan estos esfuerzos, mientras que el uso de equipos de protección personal debe considerarse como la última barrera de protección.

En síntesis, los escenarios de exposición ocupacional asociados a la gestión de aguas de formación evidencian una estrecha relación entre la composición química del efluente, las operaciones desarrolladas y los riesgos para la salud de los trabajadores. La evaluación integral del riesgo químico permite conectar estos elementos y fundamentar la necesidad de controles más robustos y preventivos. Desde un enfoque de seguridad y salud en el trabajo, esta integración resulta esencial para reducir la probabilidad de enfermedades profesionales, mejorar el desempeño operativo y fortalecer la protección del personal en los campos petroleros amazónicos.





Contraste normativo: Ecuador vs. ISO 14001 y brechas de cumplimiento

El marco normativo que regula la gestión de aguas de formación petrolera en el Ecuador se sustenta en principios constitucionales de protección ambiental, prevención del daño y responsabilidad objetiva, complementados por regulaciones técnicas que establecen límites para descargas líquidas, criterios para el manejo de desechos peligrosos y obligaciones de monitoreo ambiental. Estas disposiciones buscan reducir los impactos de la actividad petrolera sobre los ecosistemas y la salud humana; sin embargo, su aplicación efectiva en campos amazónicos enfrenta limitaciones estructurales, técnicas y operativas que condicionan su alcance real. En términos generales, la normativa ecuatoriana exige que las operadoras identifiquen, controlen y mitiguen los impactos asociados a sus efluentes, garantizando que las aguas de formación sean tratadas o dispuestas de manera segura y verificable.

En relación con las descargas líquidas, las exigencias regulatorias se orientan a evitar la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, estableciendo parámetros de control y la obligación de implementar sistemas de tratamiento adecuados. No obstante, en la práctica, el monitoreo suele realizarse de manera periódica y no continua, lo que dificulta la detección de variaciones abruptas en la composición química del efluente. Esta situación resulta crítica en campos amazónicos, donde los cambios operativos pueden generar picos de concentración contaminante que no siempre son captados por los esquemas de control tradicionales. En cuanto al manejo de desechos peligrosos, la normativa establece la necesidad de segregación, almacenamiento seguro, transporte





autorizado y disposición final en instalaciones habilitadas, aunque la limitada disponibilidad de infraestructura especializada en la región condiciona el cumplimiento integral de estas disposiciones.

Desde la perspectiva de la gestión ambiental internacional, la ISO 14001 ofrece un marco sistemático basado en el ciclo de mejora continua, orientado a integrar la identificación de aspectos e impactos ambientales con el cumplimiento legal y la prevención de la contaminación. Aplicada a la gestión de aguas de formación, esta norma exige que las organizaciones identifiquen los aspectos ambientales asociados a la generación, tratamiento y disposición de estos efluentes, evalúen sus impactos potenciales y establezcan controles operacionales documentados para reducirlos. Asimismo, promueve la definición de objetivos y metas ambientales medibles, el seguimiento del desempeño y la adopción de acciones correctivas cuando se detectan desviaciones.

Uno de los aportes clave de la ISO 14001 es la exigencia de un control operacional robusto, que incluye procedimientos claros, capacitación del personal y gestión del cambio ante modificaciones en procesos o tecnologías. En el caso de las aguas de formación, este enfoque implica asegurar que las operaciones de tratamiento y manejo se realicen bajo condiciones controladas, minimizando la exposición ocupacional y el riesgo de liberaciones no deseadas. De igual manera, la norma enfatiza la preparación y respuesta ante emergencias ambientales, lo que resulta particularmente relevante en escenarios de derrames, fallas de equipos o eventos climáticos extremos frecuentes en la Amazonía.

A pesar de la existencia de este marco normativo y de gestión, la literatura evidencia brechas recurrentes entre los requisitos formales y la práctica





operativa. Una de las brechas más frecuentes es el monitoreo discontinuo de parámetros críticos, que limita la capacidad de anticipar fallas y responder oportunamente a eventos de riesgo. La subcaracterización de las aguas de formación, derivada de análisis incompletos o desactualizados, conduce a una evaluación parcial de los peligros químicos y a la selección inadecuada de tecnologías de tratamiento. Estas deficiencias técnicas se ven agravadas por un control documental débil, en el que los registros de monitoreo, mantenimiento y gestión de residuos no siempre se encuentran actualizados o integrados en un sistema único de información.

Otra brecha relevante corresponde a la insuficiencia de auditorías internas y externas orientadas a verificar el desempeño real de los sistemas de gestión ambiental. En muchos casos, las auditorías se concentran en el cumplimiento formal de requisitos, sin profundizar en la eficacia de los controles implementados ni en su articulación con los sistemas de seguridad y salud en el trabajo. Esta limitada integración entre la gestión ambiental y la SST impide una visión holística del riesgo, en la que los peligros químicos asociados a las aguas de formación sean abordados de manera preventiva y coordinada.

En síntesis, el contraste entre la normativa ecuatoriana y la ISO 14001 evidencia que las fallas en la gestión de aguas de formación no se deben únicamente a la ausencia de regulación, sino a debilidades en la implementación, el monitoreo y la integración de los sistemas de gestión. Estas brechas explican por qué, a pesar de contar con marcos normativos adecuados, persisten riesgos ambientales y ocupacionales significativos en los campos petroleros amazónicos.





Modelo integrador propuesto de gestión química con enfoque SST

Se propone un modelo integrador de gestión química con enfoque en seguridad y salud en el trabajo que articula, de forma sistemática, la relación entre contaminante, proceso, escenario de exposición, controles aplicables y exigencias normativas. La matriz contaminante–proceso–exposición–control–norma permite identificar puntos críticos a lo largo del ciclo operativo de las aguas de formación, facilitando la priorización de riesgos químicos y la selección de controles jerarquizados. Este enfoque integra controles de ingeniería, procedimientos operativos, capacitación y equipos de protección personal, alineados con los requisitos de la normativa ecuatoriana y los principios de mejora continua de la ISO 14001. Asimismo, se recomienda establecer indicadores de desempeño ambiental y ocupacional, fortalecer competencias técnicas del personal y asegurar la trazabilidad documental de monitoreos, residuos y acciones correctivas. La adopción de este modelo favorece la integración efectiva entre gestión ambiental y seguridad industrial, reduce brechas de cumplimiento y constituye un puente conceptual hacia la discusión.

Discusión

Los hallazgos del presente estudio confirman que la gestión química de las aguas de formación petrolera en la Amazonía ecuatoriana mantiene una integración limitada con los sistemas de seguridad y salud en el trabajo, pese a la existencia de un marco normativo ambiental relativamente robusto. Esta situación evidencia que el problema no radica únicamente en la ausencia de regulación, sino en deficiencias estructurales relacionadas con la implementación efectiva, la supervisión técnica y la adopción de una





visión preventiva integral. En la práctica, la gestión ambiental y la gestión de riesgos laborales suelen operar como sistemas paralelos, con escasa articulación operativa, lo que reduce su capacidad para prevenir exposiciones ocupacionales y eventos adversos.

Uno de los principales aportes de esta investigación es demostrar que la brecha normativa identificada responde, en gran medida, a un enfoque de cumplimiento formal que prioriza la documentación y los reportes periódicos sobre la gestión real de los riesgos. En numerosos campos amazónicos, los procedimientos de monitoreo químico y ambiental se aplican de manera discontinua, lo que limita la detección de variaciones significativas en la composición de las aguas de formación. Esta práctica contrasta con los principios de gestión preventiva, que exigen un control continuo y dinámico de los peligros, especialmente en contextos de alta variabilidad operativa como los campos petroleros maduros.

La limitada integración entre gestión ambiental y seguridad y salud ocupacional se manifiesta también en la forma en que se evalúan los impactos de las aguas de formación. Mientras que los estudios ambientales tienden a centrarse en la protección de cuerpos de agua y suelos, la evaluación de riesgos para los trabajadores suele quedar relegada a análisis genéricos, sin una caracterización detallada de las tareas críticas y las vías de exposición. Esta desconexión impide identificar escenarios de riesgo específicos y diseñar controles adaptados a las condiciones reales de trabajo, incrementando la probabilidad de exposiciones crónicas no controladas.

La comparación con experiencias internacionales exitosas permite identificar enfoques alternativos que podrían fortalecer la gestión en el





contexto ecuatoriano. En países con industrias petroleras consolidadas, como Noruega, Canadá y el Reino Unido, la gestión de aguas de formación se aborda desde un enfoque integrado que vincula explícitamente la protección ambiental con la seguridad industrial. Estos modelos incorporan sistemas cerrados, automatización de procesos, monitoreo en tiempo real y una fuerte cultura preventiva, lo que reduce tanto la liberación de contaminantes como la exposición directa del personal operativo.

En estos contextos internacionales, la adopción de estándares de gestión ambiental no se limita a la certificación, sino que se traduce en prácticas operativas concretas y verificables. La identificación de aspectos e impactos ambientales se articula con la evaluación de riesgos laborales, permitiendo una comprensión integral del riesgo químico. Asimismo, la capacitación continua del personal y la participación activa de los trabajadores en la identificación de peligros fortalecen la eficacia de los controles implementados. Estos elementos contrastan con la realidad observada en muchos campos amazónicos, donde la capacitación suele ser puntual y reactiva, orientada más al cumplimiento que a la prevención.

No obstante, la transferencia directa de modelos internacionales al contexto ecuatoriano presenta limitaciones que deben ser consideradas críticamente. Las condiciones geográficas, climáticas y logísticas de la Amazonía, así como las restricciones presupuestarias y tecnológicas, dificultan la implementación de soluciones altamente sofisticadas. Por ello, la aplicabilidad de estas experiencias debe evaluarse de manera contextualizada, priorizando tecnologías y estrategias que sean técnica y





económicamente viables, sin comprometer la protección de la salud de los trabajadores ni del ambiente.

La discusión también pone de relieve la importancia de fortalecer la gestión en fuente como estrategia prioritaria. La minimización del volumen y la peligrosidad de las aguas de formación reduce la dependencia de tratamientos complejos y disminuye los escenarios de exposición ocupacional. En este sentido, la optimización de procesos productivos, el mantenimiento preventivo y la segregación adecuada de corrientes emergen como medidas clave que pueden implementarse incluso en contextos con recursos limitados. Estas acciones, aunque menos visibles que las tecnologías avanzadas, tienen un impacto significativo en la reducción del riesgo.

Otro aspecto crítico identificado es la gestión de subproductos derivados del tratamiento, particularmente lodos y residuos contaminados. La literatura internacional señala que estos materiales concentran gran parte de los contaminantes químicos y representan un riesgo elevado durante su manipulación. En el contexto ecuatoriano, la limitada infraestructura para su disposición final y la deficiente trazabilidad incrementan la exposición del personal y prolongan la permanencia de residuos peligrosos en sitio. Este hallazgo refuerza la necesidad de integrar la gestión de residuos dentro de los sistemas de seguridad y salud en el trabajo, y no tratarla únicamente como una obligación ambiental.

Desde una perspectiva estratégica, los resultados sugieren que la mejora de la gestión química de las aguas de formación requiere un cambio de enfoque, pasando de un modelo reactivo a uno preventivo e integrado. Este cambio implica reconocer que la protección ambiental y la salud





ocupacional son objetivos interdependientes y que su gestión aislada reduce la eficacia de ambos sistemas. La adopción de modelos integradores, como el propuesto en este estudio, permite visualizar las interacciones entre contaminantes, procesos y exposiciones, facilitando la toma de decisiones informadas.

Finalmente, la discusión evidencia que la reducción de brechas de cumplimiento no depende exclusivamente de reformas normativas, sino de la capacidad institucional y organizacional para implementar y sostener sistemas de gestión efectivos. El fortalecimiento de competencias técnicas, la mejora del monitoreo, la integración de sistemas y la promoción de una cultura preventiva son elementos centrales para avanzar hacia una gestión más segura y sostenible. Estos aspectos constituyen el punto de partida para las conclusiones y recomendaciones que se desarrollan a continuación, orientadas a mejorar la protección de los trabajadores y del ambiente en los campos petroleros amazónicos.

Conclusiones

Las conclusiones derivadas de la presente revisión bibliográfica confirman que las aguas de formación petrolera representan un riesgo significativo para la salud ocupacional cuando su gestión química no se aborda de manera integral, sistemática y preventiva. La complejidad de su composición, caracterizada por la presencia simultánea de sales altamente corrosivas, metales pesados, hidrocarburos disueltos y aditivos químicos de producción, genera múltiples escenarios de exposición para los trabajadores del sector petrolero, especialmente en contextos operativos como los campos amazónicos ecuatorianos, donde las condiciones ambientales y logísticas incrementan la vulnerabilidad.





El análisis de la literatura evidencia una desconexión persistente entre la normativa ambiental vigente, los estándares internacionales de gestión y las prácticas operativas reales implementadas en campo. Si bien el marco regulatorio ecuatoriano y los lineamientos de sistemas de gestión ambiental establecen principios claros de prevención, control y mejora continua, su aplicación suele limitarse al cumplimiento formal de requisitos documentales. Esta brecha se traduce en monitoreos discontinuos, caracterizaciones químicas incompletas, controles operacionales insuficientes y una débil integración con los sistemas de seguridad y salud en el trabajo, reduciendo la eficacia de las medidas de protección.

Asimismo, la revisión demuestra que la gestión de las aguas de formación continúa enfocándose predominantemente en el control ambiental del efluente, sin incorporar de manera sistemática la evaluación del riesgo químico ocupacional. Esta fragmentación impide identificar de forma oportuna tareas críticas, vías de exposición y efectos potenciales sobre la salud de los trabajadores, favoreciendo la ocurrencia de exposiciones crónicas de baja intensidad que suelen pasar desapercibidas en los esquemas tradicionales de vigilancia.

En este contexto, la adopción efectiva de sistemas de gestión ambiental integrados con la seguridad industrial y la salud ocupacional se configura como una condición indispensable para reducir los riesgos laborales y ambientales. La integración de la gestión química, el monitoreo continuo, la jerarquía de controles y el fortalecimiento de competencias técnicas del personal permite avanzar hacia un enfoque preventivo, coherente y sostenible, acorde con las exigencias de la industria petrolera y la protección de los trabajadores en la Amazonía ecuatoriana, con criterios





institucionales claros orientados a sostenibilidad operativa, ética preventiva y responsabilidad socioambiental permanente.

Recomendaciones

A partir de los hallazgos obtenidos en la revisión bibliográfica, se recomienda fortalecer de manera prioritaria la integración entre la gestión ambiental y la seguridad y salud ocupacional en los campos petroleros amazónicos, superando el enfoque fragmentado que actualmente predomina en muchas operaciones. Esta integración debe materializarse en sistemas de gestión unificados que permitan evaluar simultáneamente los impactos ambientales y los riesgos químicos ocupacionales, facilitando la toma de decisiones preventivas basadas en evidencia técnica y operativa.

Es fundamental mejorar los sistemas de monitoreo químico de las aguas de formación, incorporando esquemas de seguimiento más frecuentes y representativos de los cambios operativos reales. La implementación de monitoreo continuo o semiautomático de parámetros críticos permitiría detectar variaciones abruptas en la composición del efluente y anticipar escenarios de riesgo, reduciendo tanto la probabilidad de incumplimientos normativos como la exposición innecesaria del personal. Este fortalecimiento debe ir acompañado de una adecuada gestión de datos, asegurando la trazabilidad, confiabilidad y disponibilidad de la información para fines técnicos, regulatorios y preventivos.

Asimismo, se recomienda reforzar los programas de capacitación del personal operativo y técnico, orientándolos no solo al cumplimiento de procedimientos, sino a la comprensión de los riesgos químicos asociados a las aguas de formación y a las consecuencias de una gestión inadecuada. La formación continua debe incluir aspectos de higiene industrial, manejo





seguro de sustancias químicas, respuesta ante emergencias y uso correcto de controles de ingeniería y equipos de protección personal, promoviendo una cultura preventiva sólida y sostenida.

La adopción plena de los principios de mejora continua establecidos en la ISO 14001 constituye otra recomendación clave. Esto implica ir más allá de la certificación formal, utilizando el sistema de gestión ambiental como una herramienta viva para identificar brechas, implementar acciones correctivas y evaluar periódicamente el desempeño ambiental y ocupacional. La realización de auditorías internas rigurosas y multidisciplinarias contribuiría a fortalecer este proceso.

Finalmente, es indispensable reforzar los mecanismos de control y fiscalización por parte de las autoridades competentes, promoviendo una supervisión técnica más efectiva y coherente con la complejidad de los riesgos existentes. El fortalecimiento institucional, junto con la responsabilidad empresarial, permitirá avanzar hacia una gestión más segura, transparente y sostenible de las aguas de formación en la Amazonía ecuatoriana.

Referencias

Bravo, E., & Moreano, M. (2018). Impactos ambientales de la industria petrolera en la Amazonía. FLACSO Ecuador.

Dórea, J. G., Farina, M., & Rocha, J. B. T. (2020). Toxicity of metals in occupational exposure scenarios in oil and gas activities. *Environmental Research*, 182, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109118>





- Fakhru'l-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L. C., Biak, D. R. A., Madaeni, S. S., & Abidin, Z. Z. (2009). Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2-3), 530-551. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.044>
- Hilson, G., & Murck, B. (2000). Sustainable development in the mining industry: Clarifying the corporate perspective. *Resources Policy*, 26(4), 227-238. [https://doi.org/10.1016/S0301-4207\(00\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4207(00)00041-6)
- Igunnu, E. T., & Chen, G. Z. (2014). Produced water treatment technologies. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(3), 157-177. <https://doi.org/10.1093/ijlct/cts049>
- International Atomic Energy Agency. (2013). Radiation protection and management of NORM residues in the oil and gas industry. IAEA.
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015 environmental management systems—Requirements with guidance for use. ISO.
- Neff, J. M., Lee, K., & DeBlois, E. M. (2011). Produced water: Overview of composition, fates, and effects. In K. Lee & J. Neff (Eds.), *Produced water* (pp. 3-54). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0046-2_1
- Organización Internacional del Trabajo. (2019). Safety and health in the oil and gas industry. OIT.
- Villacís, M., Paredes, J., & Herrera, J. (2021). Gestión ambiental y riesgos ocupacionales en actividades hidrocarburíferas de la Amazonía





ecuatoriana. *Revista Científica de Seguridad y Salud en el Trabajo*, 5(2), 45-60.

Zeng, S. X., Ma, H. Y., Lin, H., Zeng, R. C., & Tam, V. W. Y. (2017). Social responsibility of major infrastructure projects in China. *International Journal of Project Management*, 33(3), 537-548. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.07.007>

