

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GELOGÍA Y PETRÓLEOS**

**PORPUESTA LÍMIETES PERMISIBLES PARA LA IDENTIFICACIÓN  
Y REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON  
HIDROCARBUROS Y PARA LIXIVIADOS DE LODOS Y RIPIOS DE  
PERFORACIÓN. UNA PROPUESTA PARA COMPLEMENTAR EL  
RAOH 2020**

**PROPUESTA LÍMITES PERMISIBLES DE LIXIVIADOS PARA LA  
DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS Y RIPIOS DE PERFORACIÓN EN  
SUPERFICIE**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
PETRÓLEOS**

**JULIO ALFREDO PIEDRA APOLO**

**[julio.piedra@epn.edu.ec](mailto:julio.piedra@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: PHD. JOHNNY ZAMBRANO**

**[johnny.zambrano@epn.edu.ec](mailto:johnny.zambrano@epn.edu.ec)**

**DMQ, agosto 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Julio Piedra, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**Julio Piedra**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Julio Piedra, bajo mi supervisión.

---

**PhD. Johnny Zambrano**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Julio Piedra

PhD. Johnny Zambrano

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Julio y Marlene, que me han acompañado y han sido un pilar a lo largo de este duro camino.

A mis sobrinos: Erick, Mateo, Madelyne, Doménica y Joshua.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre Marlene, por su entrega incondicional.

A mi padre Julio, por sus consejos y sacrificio.

A Johnny Zambrano, por su apoyo como tutor de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	2
Perforación .....	2
Fluidos de perforación .....	3
Composición del fluido de perforación.....	6
Ripios de perforación .....	8
pH.....	9
Conductividad eléctrica.....	10
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) .....	11
Metales .....	12
Zinc.....	13
Cadmio .....	14
Plomo.....	14
Mercurio.....	14
Hierro .....	15
Cobre.....	15
Arsénico.....	16
Cromo .....	16
2 METODOLOGÍA.....	18
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
3.1 Resultados .....	26
3.2 Conclusiones.....	29
3.3 Recomendaciones.....	30

4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31
5	ANEXOS.....	34
	ANEXO I .....	34
	LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL RAOHE .....	34
	ANEXO II .....	35
	LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN COLOMBIA .....	35
	ANEXO III .....	36
	LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN PERÚ .....	36
	ANEXO IV .....	37
	LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN MÉXICO .....	37

## RESUMEN

En el proceso de la perforación de un pozo petrolero, es fundamental contar con un fluido de perforación, a este fluido también se lo conoce como lodo de perforación. Este lodo puede ser de base agua, aire o aceite y su composición consta de varios aditivos que se le añaden para que adquiera propiedades que se requieren para llevar a cabo una perforación segura y eficiente. Además de los aditivos, el lodo también interactúa con las formaciones geológicas que se encuentran en el subsuelo: por lo cual, el retorno del lodo a superficie transporta compuestos de estas formaciones. Los aditivos, en combinación con lo que el lodo trae desde el pozo, contienen compuestos que pueden ser perjudiciales tanto como para el medio ambiente como para la salud humana, y van desde metales pesados hasta hidrocarburos aromáticos policíclicos, los cuales tienen consecuencias adversas para el medio ambiente y nocivas para las personas.

Dentro del Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE) emitido en el 2001 se tenían en los anexos límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y ripios de perforación. Estos límites tienen el objetivo de mitigar el impacto causado en la fase de perforación de un pozo petrolero. Sin embargo, el nuevo Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOH), publicado en el 2020, no cuenta con estos límites. En este trabajo se propone una tabla con los parámetros y sus límites permisibles que caracterizan la calidad para la disposición final de los lodos y ripios de perforación, además se realizó la comparación entre normativas de varios países de la región, analizando la pertinencia de añadir parámetros y actualizar sus valores.

**PALABRAS CLAVE:** límites permisibles, lodos, ripios, medio ambiente, metales.

## ABSTRACT

In the process of drilling an oil well, it is essential to have drilling fluid, which is also known as drilling mud. This mud can be water-based, air-based, or oil-based, and its composition consists of various additives that are added to give it the properties required for a safe and efficient drilling operation. In addition to the additives, the mud also interacts with the geological formations found underground. As a result, the return of the mud to the surface carries compounds from these formations. The additives, in combination with what the mud brings up from the well, contain compounds that can be harmful to both the environment and human health. These range from heavy metals to polycyclic aromatic hydrocarbons, all of which have adverse consequences for the environment and are harmful to people.

Under the Replacement Regulation of the Environmental Regulation for Hydrocarbon Operations in Ecuador (RAOHE) issued in 2001, there were permissible leachate limits for the final disposal of drilling mud and cuttings. These limits aimed to mitigate the impact caused during the drilling phase of an oil well. However, the new Environmental Regulation for Hydrocarbon Operations in Ecuador (RAOH), published in 2020, does not include these limits. This document proposes a table with parameters and their permissible limits that characterize the quality for the final disposal of drilling mud and cuttings. Additionally, a comparison was made between regulations from various countries in the region, analyzing the relevance of adding parameters and updating their values.

**KEYWORDS:** permissible limits, muds, cuttings, environment, metals.

# **1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

Los lixiviados de lodos y rípios de perforación pueden contener altas concentraciones de contaminantes que pueden afectar negativamente el medio ambiente y la salud humana. Por esta razón, es necesario establecer límites permisibles de lixiviados para la disposición final de estos residuos, a fin de garantizar que no se generen impactos ambientales negativos.

En varios países se disponen de diversas normativas y reglamentaciones que establecen límites permisibles para la disposición final de residuos peligrosos y no peligrosos. Por ejemplo, en Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) establece límites de concentración para diversos contaminantes en los lixiviados generados por la disposición final de residuos sólidos municipales (National Primary Drinking Water Regulations | US EPA, 2023).

En el caso de la industria hidrocarburífera, el Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH) establece requisitos y procedimientos para la gestión ambiental de las operaciones hidrocarburíferas en Ecuador. En este reglamento, publicado en el año 2020, se menciona acerca de los efluentes generados por las operaciones hidrocarburíferas; sin embargo, no se establecen límites específicos para los lixiviados generados por la disposición final de lodos y rípios de perforación en superficie.

Por esta razón, se propone establecer límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y rípios de perforación en superficie, a fin de complementar el RAOH y garantizar una gestión ambiental adecuada de estos residuos. Para establecer estos límites, se realizó un análisis de normativas y regulaciones de países vecinos.

## **1.1 Objetivo general**

Proponer una tabla con límites permisibles de lixiviados de lodos y rípios de perforación en superficie comparando el reglamento actual con reglamentos y normativas de países vecinos, tomando en cuenta los avances tecnológicos desde que se emitió el reglamento del 2001.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Analizar el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas emitido en 2020 y compararlo con su versión del 2001
2. Revisar reglamentación y normativa de países vecinos y comparar parámetros con el RAOH del 2020

## **1.3 Alcance**

El presente proyecto se enfocará en proponer límites permisibles y parámetros de análisis para lo que era la Tabla 7 del Anexo 2 del RAOHE del 2001. Específicamente, se realizará una revisión bibliográfica y de normativa comparable de otros países para proponer estos límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y ripios de perforación en superficie (Tabla 7, Anexo 2 RAOHE).

El trabajo se ceñirá a una revisión bibliográfica y de normativa comparable y no incluye trabajo de campo o análisis de laboratorio.

## **1.4 Marco teórico**

### **Perforación**

La perforación es una fase dentro de la industria petrolera en donde se perfora un pozo, el cual puede ser: exploratorio, de producción, de avanzada o de inyección. Cada pozo tiene un objetivo distinto, el pozo exploratorio permite confirmar la sospecha de existencia de hidrocarburo en el subsuelo, los pozos de producción son utilizados justamente para la producción de hidrocarburos, ya sea petróleo o gas, con los pozos de avanzada se delimitan los límites del reservorio y los pozos de inyección son necesarios para la aplicación de métodos de recuperación de petróleo como la inyección de agua para mantener la presión.

La perforación por percusión y la perforación rotatoria son las dos formas de perforar un pozo. En las primeras exploraciones de petróleo se usó la perforación por percusión entre los siglos XIX y XX. El método utiliza una tubería de perforación pesada de acero suspendida de un cable con una broca en la parte inferior. El método implica levantar y soltar la herramienta una y otra vez. La masa de metal que se encuentra por encima de la

broca brinda la fuerza necesaria para perforar el suelo, abriendo un hoyo (API, 2001). El hoyo permanece vacío salvo por una pequeña cantidad de agua. Luego de atravesar varios pies, se eleva la broca con la tubería de perforación y se extraen los ripios mediante un tubo abierto con una válvula en el fondo (API, 2001). La perforación por percusión es un método sencillo, que funciona de manera eficaz exclusivamente en pozos poco profundos. Por la falta de eficiencia de la broca y a la necesidad de levantar del hoyo las herramientas frecuentemente, las perforaciones se realizan muy lentamente (API, 2001).

El método rotatorio, que se introdujo en la industria a comienzos del siglo XX, consiste en suspender la broca del extremo de una tubería de perforación, que se mantiene en una torre de perforación. La perforación sucede cuando la tubería y la broca se mueven, imponiendo peso sobre la roca. Un fluido de perforación, comúnmente conocido como lodo, se bombea dentro de la tubería con el fin de enfriar, lubricar y retirar los recortes del hoyo. El lodo se mueve por de las toberas de la broca, chocando con el fondo del hoyo y luego se eleva en el espacio anular (el espacio entre la tubería de perforación y la pared del pozo), llevando los ripios suspendidos en él (API, 2001). El lodo se filtra en la superficie usando zarandas y otras herramientas para eliminar los ripios, luego se bombea nuevamente dentro del pozo. Este tipo de perforación tiene una eficacia que no se podía obtener con la perforación por percusión: puede retirar los recortes del pozo sin sacar la tubería a la superficie gracias a la circulación del lodo (API, 2001).

### **Fluidos de perforación**

El fluido de perforación es esencial para los trabajos de reacondicionamiento y perforación de pozos. Este fluido ofrece una variedad de propiedades físicas y químicas que facilitan el proceso de perforación y protegen tanto al pozo como a los equipos involucrados.

Los fluidos de perforación pueden estar elaborados de una amplia gama de sustancias o mezclas con características particulares, y su composición depende en gran medida de las características geológicas y geotécnicas de la zona en donde se realizará la perforación. Algunos de los fluidos más comunes son agua, aceite, aire o gas y combinaciones de agua y aceite con un porcentaje controlado de sólidos suspendidos. El aire o el gas se utilizan en la perforación mediante métodos de aire reverso o lodo aireado, en los que se inyecta aire a alta presión para elevar los recortes de perforación desde el fondo del pozo y mantenerlo limpio y despejado. Este método funciona bien en formaciones geológicas blandas o no consolidadas, donde la estabilidad del pozo no es tan importante (API, 2001).

Los lodos a base de agua, que son mezclas de agua con aditivos y productos químicos para mejorar sus propiedades viscosas y lubricantes, utilizan agua en los fluidos de

perforación. Dado que funcionan bien en una variedad de formaciones geológicas y brindan un buen control de la presión en el pozo, estos lodos a base de agua se utilizan ampliamente en una variedad de operaciones de perforación.

Los lodos a base de aceite, por otro lado, son preferidos en formaciones geológicas donde el uso de agua podría ser perjudicial debido a reacciones químicas con ciertos minerales o la pérdida de la circulación de fluidos en capas permeables. Los lodos a base de aceite mejoran la estabilidad de las paredes del pozo y la capacidad de elevación de recortes de perforación, lo que es particularmente beneficioso en formaciones geológicas más complejas y difíciles (PDVSA, 2002).

Para garantizar su eficacia y seguridad durante todo el proceso, el lodo debe cumplir con una serie de características y propiedades. En primer lugar, es crucial que el fluido no sea tóxico, corrosivo o inflamable, ya que estas características podrían poner en peligro tanto al personal que trabaja en la plataforma como al ambiente. La inflamabilidad puede crear condiciones peligrosas en caso de accidentes o fugas, mientras que la toxicidad puede tener efectos adversos en la salud de los trabajadores.

Además, el fluido utilizado para perforar debe ser inerte a las sales solubles o minerales que se encuentran en el subsuelo, en las formaciones geológicas que se atraviesan durante la perforación. De esta manera, se evita la posibilidad de que se den reacciones químicas que puedan alterar la composición de la roca y comprometer la estabilidad del pozo. Para garantizar un flujo de circulación constante y controlado, la estabilidad del fluido de perforación es esencial para mantener las paredes del pozo estabilizadas y evitar colapsos o problemas durante el proceso de perforación.

Ya que el proceso de perforación implica la exposición a condiciones de alta temperatura y presión, especialmente en formaciones geotérmicas o en pozos de gran profundidad, el fluido debe ser estable a altas temperaturas. Incluso en entornos difíciles y cambiantes, la resistencia del fluido a estas condiciones extremas garantiza su funcionalidad y eficacia.

El fluido de perforación debe ser inmune al desarrollo de bacterias y microorganismos, que es otro aspecto importante. La proliferación de bacterias en el fluido podría degradarlo y deteriorarlo, lo que tendría un impacto negativo en sus propiedades y capacidades. Para garantizar una perforación segura y efectiva, es fundamental mantener el fluido libre de contaminantes biológicos. El fluido de perforación debe mantener sus características durante todas las operaciones de perforación y adaptarse a las demandas que cambian en cada etapa del proceso. Esto significa que el fluido debe poder adaptarse y mantener sus características físicas y químicas para satisfacer las necesidades específicas de

perforación, como estabilizar las paredes del pozo, limpiar los recortes de perforación y proteger la broca y el equipo de perforación (PDVSA, 2002).

En la Tabla 1.1 se establecen las funciones de los fluidos de perforación.

**Tabla 1.1** Funciones de los fluidos de perforación.

<b>Función</b>	<b>Descripción</b>
Capacidad de transporte	La densidad, la viscosidad y el punto cedente del fluido, junto con la velocidad de circulación o la velocidad anular, permiten que el ripio se mueva desde el fondo del hoyo hasta la superficie.
Enfriar y lubricar	El fluido de perforación enfría la broca al expulsar el calor producido por la fricción mecánica entre la broca y la formación durante la circulación. El fluido actúa como lubricante en cierta medida por sí solo, pero puede mejorarse con aceite o cualquier producto químico fabricado para tal fin.
Formar revoque	Cubrir la pared del hoyo con un revoque liso, delgado, flexible, de baja permeabilidad y altamente compresible reduce los problemas de derrumbe y atascamiento de tuberías en formaciones permeables. El aumento de la concentración y dispersión de los sólidos arcillosos permite el revoque.
Controlar la presión de la formación	En función de la densidad y altura vertical del pozo, el fluido de perforación ejerce una presión hidrostática, que debe controlar la presión de la formación para evitar un influjo hacia el pozo. La geometría del hoyo no afecta esta presión.
Capacidad de suspensión	La propiedad reológica del fluido, conocida como resistencia o fuerza de gel, permite que las partículas sólidas se mantengan en suspensión cuando se interrumpe la circulación. Aunque no evita la caída de los sólidos, esta propiedad la retrasa.
Flotabilidad	La sarta de perforación y la tubería de revestimiento pierden peso cuando se introducen en el hoyo debido al factor de flotación, que depende de la densidad o peso del fluido. Como resultado, el peso de la sarta en el aire se multiplica por el factor de flotación para calcular su peso en el fluido.

Estabilidad	La estabilidad de las formaciones permeables se logra mediante el uso de peso y revoque de alta calidad, mientras que las formaciones impermeables requieren peso cuando se trata de lutitas presurizadas, y las formaciones impermeables requieren inhibición o fluido cien por ciento aceite cuando se trata de lutitas reactivas.
Evaluación	Para facilitar la toma de núcleos y la evaluación de formaciones perforadas, el fluido debe ser de alta calidad, especialmente en la zona productora.
Hidráulica	La potencia se transmite desde la superficie hasta el fondo del pozo a través del fluido. El programa hidráulico busca maximizar la caída de presión en la mecha para determinar los mejores valores de caudal y chorros, lo que facilita una limpieza efectiva del fondo del hoyo y del espacio anular.

Fuente: Fluidos de Perforación PDVSA

Autor: PDVSA, 2002

Elaborado por: Piedra, 2023

### **Composición del fluido de perforación**

Para proteger el medio ambiente y salvaguardar la salud humana al garantizar una gestión adecuada de productos químicos tóxicos y contaminantes utilizados como aditivos, es fundamental comprender los componentes de los fluidos de perforación. Esto mitiga la contaminación del suelo y del agua, especialmente cuando el lodo se decanta.

La composición del lodo varía según las distintas necesidades que surgen al planear un proyecto de perforación. La perforación se realiza a través de una variedad de formaciones, que a su vez pueden requerir una variedad de tipos de fluidos (API, 2001).

En consecuencia, es razonable que se requieran varias mejoras en el fluido para lidiar con las diversas condiciones que surgen a medida que avanza la perforación (PDVSA, 2002).

Para lograr una composición con la que el fluido de perforación pueda desempeñar de manera correcta sus funciones, es necesario añadir componentes químicos, los que se detallan en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2** Componentes químicos de los fluidos de perforación.

Densificantes	Material	Fórmula Química
	Galena	SPb
	Hematita	FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Magnetita	FE <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
	Baritina	SO <sub>4</sub> Ba
	Siderita	CO <sub>3</sub> Fe
	Dolomita	CO <sub>3</sub> CaCO <sub>3</sub> Mg
	Calcita	CO <sub>3</sub> Ca
Viscosificantes	Material	Componente Principal
	Bentonita	Silicato de aluminio y sodio / calcio
	Atapulgita	Silicato de aluminio y magnesio
	CMC	Derivado de celulosa
	Goma Xántica	Derivado de goma xántica
	HEC	Derivado de celulosa
	Goma Guar	Goma de polisacarido
Materiales para controlar el filtrado	Aditivos	
	Bentonita	
	Polímeros manufacturados	
	Almidones	
	Adelgazantes orgánicos (Lignitos, Lignitos Sulfanatos)	
	Carbonato de calcio	
Materiales para controlar reología	Aditivos	
	Lignosulfontos	
	Lignitos	
	Adelgazantes poliméricos	
Materiales para controlar pH	Material	Fórmula Química
	Soda Cáustica	NaOH
	Hidróxido de Potasio	KOH
	Cal	Ca(OH) <sub>2</sub>
Materiales para controlar pérdida de circulación	Aditivos	
	Fibra celulosa	
	Grafito siliconizado	
	Carbonato de calcio	
Materiales para dar lubricidad	Lubricantes	
	Aceites, minerales	
	Surfactantes	
	Grafito siliconizado	
	Gilsonita	

	Bolillas de vidrio
Materiales para flocular	Floculantes
	Sales
	Cal hidratada
	Polímeros sintéticos (poliacrilamidas)
	Goma guar
	Polímeros acrílicos
	Yeso
Materiales estabilizantes de Lutitas	Productos químicos
	Polímeros sintéticos de alto peso molecular (PHPA)
	Asfaltos
	Sales inorgánicas
	Cal / yeso
Materiales para controlar la corrosión	Agentes oxidantes
	Oxígeno (CO <sub>2</sub> )
	Gases ácidos (H <sub>2</sub> S)
	Secuestradores de Oxígeno
	Sales solubles de sulfato y cromato
Materiales para controlar bacterias y hongos	Bactericidas
	Sulfuros orgánicos
	Aminas cuaternarias
	Aldehídos
	Clorofenoles
Materiales para precipitar contaminantes	Materiales
	Cal
	Yeso
	Bicarbonato de sodio
	Carbonato de sodio

Fuente: Fluidos de Perforación PDVSA

Autor: PDVSA, 2002

Elaborado por: Piedra, 2023

### **Ripios de perforación**

Los pequeños fragmentos de roca generados durante el proceso de perforación de pozos petroleros u otras operaciones de exploración geológica se conocen como ripios de perforación, también conocidos como recortes de perforación. Estos trozos de roca se forman cuando los dientes de la broca rompen formaciones geológicas.

Se utilizan zarandas vibratorias para separar los ripios del lodo líquido. Funcionan como cedazos y permiten filtrar los recortes de tamaño adecuado para evitar que vuelvan al pozo.

Una vez separados, los ripios de perforación se someten a un examen exhaustivo para evaluar su composición y características. Se evalúan su forma, tamaño, color, textura, contenido de hidrocarburos y otras propiedades geotécnicas para el análisis geológico y la toma de decisiones en la operación de perforación (Schlumberger Energy Glossary, s.f.).

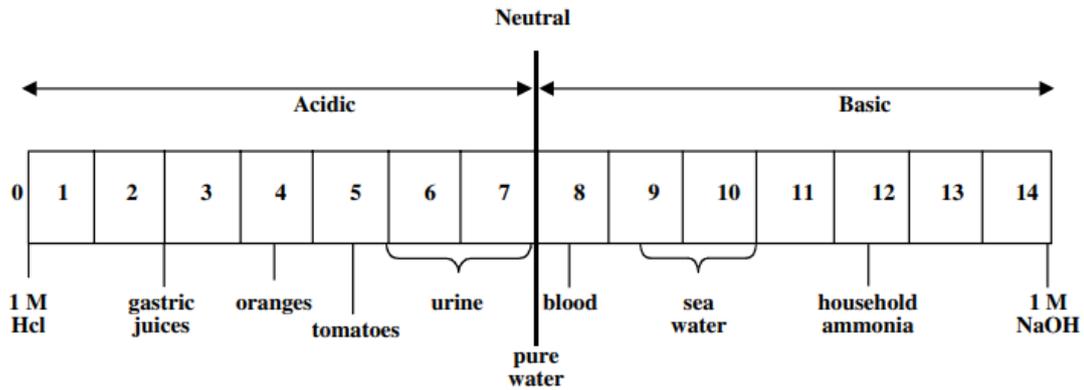
Además, es importante tener en cuenta que los ripios de perforación pueden contener sustancias químicas peligrosas y metales pesados que se encuentran naturalmente en las formaciones geológicas o que se utilizan como parte del fluido de perforación. Si no se manejan adecuadamente, estos contaminantes, como el arsénico, el mercurio, el cromo y otros, pueden tener efectos adversos tanto para el medio ambiente como para la salud humana.

Es esencial realizar una gestión adecuada de los ripios de perforación y otros desechos producidos durante la operación para reducir los efectos ambientales y proteger la salud pública. Estos desechos deben ser manejados, almacenados y dispuestos de acuerdo con las normas y reglamentos ambientales establecidos por las autoridades competentes.

## **pH**

El pH se mide por la cantidad de iones de hidrógeno ( $H^+$ ). Las soluciones van desde muy ácidas (con una alta concentración de iones  $H^+$ ) hasta muy básicas. La escala de pH oscila entre 0 y 14, con 7 como valor neutro. El pH del agua juega un papel crucial en las reacciones químicas que ocurren en él, y valores de pH demasiado altos o bajos pueden inhibir el crecimiento de microorganismos. Se consideran básicos los valores altos de pH y ácidos los valores bajos de pH.

Los valores de pH bajos indican una concentración alta de  $H^+$ , mientras que los valores de pH altos indican una concentración baja de  $H^+$ . La concentración de  $H^+$  varía diez veces debido a una relación logarítmica inversa (Spellman, 2003); ver Figura 1.1.



**Figura 1.1** Escala de valores del pH.

Fuente: Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations

Autor: Spellman, 2003

### Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de un cuerpo o sustancia es su capacidad para conducir una corriente eléctrica. En el caso del agua, la presencia de diversos componentes disueltos está directamente relacionada con su conductividad. Los cationes (sodio, magnesio, calcio, hierro y aluminio) con carga positiva y los sólidos disueltos inorgánicos (cloruro, nitrato, sulfato y fosfato) con carga negativa tienen un rol relevante en la medida de la conductividad del agua (Spellman, 2003).

La disolución de minerales en el suelo, la escorrentía superficial, las actividades humanas como la agricultura y la minería y la liberación de aguas residuales industriales y domésticas son algunas de las varias fuentes de estos iones en el agua. Cuando se aplica un campo eléctrico al agua, estos iones disueltos tienen la capacidad de conducir una corriente eléctrica porque están cargados eléctricamente.

La conductividad eléctrica del agua está directamente influenciada por la presencia de cationes y sólidos disueltos inorgánicos en él. Dado que hay más partículas cargadas que pueden facilitar el flujo de corriente, un aumento en la concentración de iones disueltos generalmente resulta en un aumento en la conductividad del agua. Sin embargo, un agua con una concentración de iones baja tendrá una conductividad eléctrica más baja. Cuando se encuentran en agua, los compuestos orgánicos como el aceite, el fenol, el alcohol y el azúcar tienen baja conductividad y no conducen bien la corriente eléctrica. La temperatura

también afecta la conductividad del agua: cuanto más caliente esté el agua, más conductiva será.

La conductividad del agua es un indicador para evaluar la calidad del agua porque puede revelar información importante sobre la cantidad de minerales y iones disueltos presentes en el agua. Un aumento significativo en la conductividad puede indicar la presencia de contaminantes o sales disueltas, lo que puede tener implicaciones para su uso seguro en una variedad de aplicaciones, como el consumo humano, la agricultura o la industria (Spellman, 2003).

### **Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)**

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son una clase de compuestos químicos que se forman mediante la fusión de anillos bencénicos, lo que les da una estructura única en forma de anillos conjugados. Estos compuestos se obtienen de una variedad de fuentes, incluido el naftaleno, que se usa comúnmente en bolitas de naftalina para proteger la ropa de las polillas.

Es importante destacar que los HAP están presentes naturalmente en el petróleo y que también se producen durante la combustión incompleta de materiales orgánicos, como durante la quema de combustibles fósiles, la cocción de alimentos a la parrilla o la emisión de humos de los motores de vehículos. Esto implica que la exposición a los HAP puede ocurrir en una variedad de situaciones cotidianas, como el uso de ciertos productos, la contaminación del aire o la exposición laboral en la industria del petróleo.

Sin embargo, se ha descubierto que algunos de estos materiales con estructuras de varios anillos, particularmente aquellos con cinco o más anillos bencénicos, son carcinógenos potentes. Debido a su capacidad para dañar y alterar el material genético (ADN) en las células, se ha demostrado que pueden causar cáncer en humanos y animales. Los HAP son sustancias químicas persistentes y tóxicas que se acumulan en los tejidos de los organismos vivos y permanecen en el entorno durante largos períodos de tiempo.

Se ha relacionado con un mayor riesgo de desarrollar cáncer, particularmente cáncer de pulmón, vejiga, piel y otros órganos, la exposición crónica y a largo plazo a altas concentraciones de HAP, especialmente a través del aire contaminado o de la ingesta de alimentos y agua contaminados. Debido a su capacidad para atravesar la barrera placentaria y alterar el desarrollo embrionario, los HAP también se han relacionado con problemas respiratorios y cardiovasculares (Chang, 2010).

## **Metales**

Los metales, en su forma iónica, están presentes en una variedad de compuestos químicos, como iones positivos o cationes en solución. Los metales pesados, que tienen una densidad superior a  $5 \text{ kg/dm}^3$ , se encuentran entre ellos. Estos metales son comunes en los lixiviados, líquidos que se producen al filtrarse a través de materiales sólidos, como desechos sólidos urbanos o vertederos, y que pueden contener una variedad de sustancias potencialmente peligrosas.

Algunos metales en los lixiviados pueden poner en peligro la salud de humanos, animales y microorganismos, especialmente en concentraciones elevadas. La dosis, la duración de la exposición y la sensibilidad individual son algunos de los factores que determinan la toxicidad de los metales (Spellman, 2003). Es importante destacar que la mayoría de los metales no son dañinos en niveles normales y que, en pequeñas cantidades, muchos de ellos son necesarios para que el cuerpo funcione correctamente.

En varios casos, los metales ingresan al agua como compuestos que se ionizan, lo que libera el metal en forma de iones positivos. Los organismos acuáticos pueden absorber estos iones y, en algunos casos, acumularlos a lo largo de la cadena alimentaria, poniendo en riesgo la salud de los que se alimentan de estos organismos, incluidos los humanos que dependen de los recursos acuáticos para su alimentación.

El plomo, el mercurio, el cadmio, el arsénico y el cromo son algunos de los metales pesados más conocidos por sus efectos perjudiciales. La exposición a estos metales conlleva una variedad de problemas de salud, como daños neurológicos, trastornos renales, enfermedades respiratorias, alteraciones en el sistema cardiovascular y una variedad de efectos perjudiciales en el desarrollo y funcionamiento del sistema nervioso, especialmente en niños y fetos.

Es fundamental manejar adecuadamente los lixiviados y otros efluentes contaminados con metales para proteger el medio ambiente y la salud humana. Esto abarca la implementación de métodos de gestión de desechos sólidos que reducen la liberación de metales y la contaminación posterior del agua. Es esencial realizar análisis y monitoreo regulares de la calidad del agua para detectar la presencia de metales y garantizar que los niveles estén dentro de los límites seguros establecidos por las autoridades reguladoras (Spellman, 2003). En la Tabla 1.3 se resume la peligrosidad de algunos metales.

**Tabla 1.3** Peligrosidad de metales para la salud

<b>Metal</b>	<b>Peligro para la Salud</b>
Bario	Efectos en el sistema circulatorio y aumento de la presión sanguínea.
Cadmio	Concentración en el hígado, riñones, páncreas y tiroides.
Cobre	Daño al sistema nervioso y efectos en los riñones; tóxico para los seres humanos.
Plomo	Daño al sistema nervioso y efectos en los riñones; tóxico para los seres humanos.
Mercurio	Trastornos del sistema nervioso central.
Níquel	Trastornos del sistema nervioso central.
Selenio	Trastornos del sistema nervioso central.
Plata	Hace que la piel se vuelva grisácea.
Zinc	Causa problemas de sabor (no representa un peligro para la salud).

Fuente: Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations

Autor: Spellman, 2003

Elaborado por: Piedra, 2023

## **Zinc**

El zinc es un micronutriente necesario para que el organismo funcione correctamente. Es esencial para muchos procesos biológicos, incluida la síntesis de proteínas, la división celular, el metabolismo de los carbohidratos y la capacidad inmunitaria. Aunque su inclusión en la dieta es clave para mantener una buena salud, una saturación excesiva de este mineral puede causar la toxicidad por zinc, un estado peligroso que puede tener un impacto negativo en varios sistemas y funciones del cuerpo humano.

Los síntomas de la toxicidad por zinc varían en severidad y pueden aparecer en varios sistemas del cuerpo. La ingesta excesiva de zinc puede ocasionar náuseas, vómitos, diarrea, cólicos abdominales y problemas gastrointestinales. El consumo excesivo de suplementos de zinc sin supervisión médica produce estas molestias gastrointestinales, lo que resalta la importancia de mantener un equilibrio en la ingesta de este nutriente (Briffa et al, 2020).

## **Cadmio**

El cadmio y el zinc presentan varias similitudes químicas, y ambos suelen participar en procesos geoquímicos juntos. El agua contiene ambos metales en el estado de oxidación +2. La hipertensión, el daño renal, el daño al tejido testicular y la destrucción de glóbulos rojos son algunos de los efectos de la intoxicación aguda por cadmio en humanos. La similitud química del cadmio con el zinc es responsable de una gran parte de sus efectos fisiológicos. En algunas enzimas, el cadmio puede reemplazar al zinc, alterando la heteroestructura de las enzimas y disminuyendo su actividad catalítica, lo que genera síntomas de enfermedad (Manahan, 2010).

## **Plomo**

Se utiliza como un antidetonante en una gran variedad de productos, incluyendo gasolina, baterías, joysticks, tintes para el cabello, cosméticos, cerámicas, aleaturas, armas, municiones, soldaduras, plomadas e insecticidas (Londoño et al, 2016).

La intoxicación aguda por plomo origina disfunciones graves en los riñones, el sistema reproductivo, el hígado, el cerebro y el sistema nervioso central, así como enfermedades o muerte. Se cree que la exposición al plomo ha causado retraso mental en muchos niños. La anemia es causada por una intoxicación leve por plomo. La persona afectada puede experimentar dolores musculares y de cabeza, y generalmente está cansada e irritable. El plomo inorgánico se obtiene de una variedad de fuentes industriales y mineras, así como de la gasolina con plomo. En algunos lugares, la galena (PbS) y la caliza que contiene plomo son fuentes contaminantes de plomo (Manahan, 2010).

## **Mercurio**

Como metal pesado contaminante, el mercurio se constituye en una preocupación por su toxicidad. Varios minerales contienen mercurio como componente traza, y las rocas continentales contienen una media de 80 partes por billón o algo menos de este elemento. Los combustibles fósiles y el lignito contienen mercurio a niveles de 100 partes por billón o más, y las emisiones derivadas de la combustión de estos combustibles son una importante fuente de mercurio en el medio ambiente (Manahan, 2010).

El mercurio tiene efectos toxicológicos, incluidos daños neurológicos como irritabilidad, parálisis, ceguera o locura; rotura de cromosomas y defectos congénitos. Los síntomas menos graves de la intoxicación por mercurio son psicopatológicos. Los síntomas de la intoxicación leve por mercurio pueden pasar desapercibidos porque se parecen a problemas comunes de comportamiento humano. Algunas formas de mercurio son

relativamente atóxicas y se utilizaban antiguamente como medicamentos para tratar la sífilis. Otros tipos de mercurio, especialmente los compuestos orgánicos, son extremadamente peligrosos (Manahan, 2010).

## **Hierro**

Aunque el cuerpo humano puede tolerar niveles moderados de hierro, un exceso puede ser dañino. El consumo excesivo de hierro puede provocar vómitos y diarrea con sangre. La dosis potencialmente mortal de hierro se estima desde 200 mg/kg y hasta 250 mg/kg de peso corporal (Yip & Dallman, 1996).

Se ha demostrado que niveles elevados de hierro en el cuerpo también pueden estar relacionados con un mayor riesgo de promover la carcinogénesis, es decir, el desarrollo y crecimiento acelerado de tumores. Se ha descubierto una relación entre la acumulación de hierro y la velocidad de crecimiento de algunos tumores cancerosos. Esto ha motivado investigaciones adicionales para comprender mejor el rol que tiene el hierro en el desarrollo del cáncer y cómo su regulación podría ayudar a prevenir y tratar el cáncer. También se han establecido correlaciones entre los niveles de hierro y el riesgo de enfermedades coronarias. Aunque el hierro es necesario para que el cuerpo funcione de manera adecuada, un exceso o desequilibrio de este elemento puede conducir a la oxidación del colesterol y otros lípidos en la sangre, lo que incrementa el riesgo de desarrollar padecimientos cardiovasculares. Por lo tanto, es fundamental seguir las recomendaciones médicas sobre cómo comer y suplementarse para mantener un equilibrio adecuado de hierro en el cuerpo (Yip & Dallman, 1996).

## **Cobre**

El cobre es uno de los micronutrientes más importantes para que el organismo funcione correctamente. Es necesario para muchos procesos biológicos, como la síntesis de hemoglobina, la formación de tejido conectivo y la producción de energía. La exposición excesiva a este metal puede provocar una toxicidad por cobre, que afecta varios sistemas del cuerpo y puede manifestarse con una variedad de síntomas y efectos negativos.

La acumulación excesiva de cobre puede causar problemas gastrointestinales incluyendo náuseas, vómitos, diarrea y calambres abdominales. La toxicidad del cobre también puede dañar el hígado. La inflamación, la fibrosis y la cirrosis son alteraciones hepáticas que pueden ocurrir a medida que el cobre se acumula en este órgano. Estas perturbaciones

pueden alterar el funcionamiento del hígado y afectar negativamente el metabolismo y la capacidad del cuerpo para eliminar toxinas.

Otra consecuencia preocupante de la toxicidad por cobre son los trastornos neurológicos. El sistema nervioso puede verse afectado por un exceso de este mineral, lo que puede generar síntomas como cambios de humor, irritabilidad, problemas cognitivos y movimientos involuntarios anormales. En casos más graves, la acumulación de cobre en el cerebro provoca enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Wilson, una afección genética que dificulta la eliminación adecuada de cobre del organismo (Briffa et al, 2020).

### **Arsénico**

La exposición al arsénico acarrea una variedad de efectos nocivos en la salud humana, incluidas lesiones cutáneas, enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cáncer. Los efectos más preocupantes incluyen el cáncer de piel, pulmón, vejiga y riñón, enfermedades malignas que pueden tener un impacto fatal en la vida de las personas afectadas.

Uno de los signos más visibles de la intoxicación por arsénico son las lesiones en la piel, que se manifiestan como hiperpigmentación y queratosis, que son cambios en la piel que la hacen más gruesa y rugosa. Además de estas manifestaciones externas, el arsénico se ha relacionado con el desarrollo de problemas cardiovasculares, como hipertensión arterial, las enfermedades del corazón y las complicaciones en el sistema circulatorio.

La exposición al arsénico puede originar cáncer, como el cáncer de piel, que puede desarrollarse en áreas de la piel expuestas a altos niveles de arsénico. El cáncer de pulmón también es un riesgo significativo, especialmente para aquellos que están expuestos al arsénico a través de la inhalación de partículas en el aire, como en áreas con altas concentraciones de contaminación industrial. Además, se ha demostrado que la exposición prolongada al arsénico incrementa el riesgo de desarrollar cáncer de vejiga y riñón. El arsénico puede afectar el sistema nervioso, causando síntomas como neuropatías periféricas, trastornos cognitivos y alteraciones en la función motora, además de sus efectos cancerígenos (Briffa et al, 2020).

### **Cromo**

Debido a su capacidad carcinogénica y sus efectos negativos en varios órganos y sistemas del cuerpo, el cromo y su variante hexavalente (Cr(VI)), constituye una amenaza significativa para la salud de las personas. Su relación directa con los problemas respiratorios agudos y crónicos, que pueden manifestarse como dificultad para respirar, tos

prolongada y exacerbación de enfermedades respiratorias preexistentes como el asma, además del cáncer de pulmón, es una de las preocupaciones más alarmantes porque la exposición prolongada a este compuesto aumenta significativamente el riesgo de desarrollar esta forma letal de cáncer respiratorio.

El cromo también es un potente irritante de la piel, generando así enrojecimiento, picazón y erupciones en la piel debido a su alta corrosión.

Sin embargo, el cromo hexavalente tiene más riesgos que los sistemas respiratorio y cutáneo. Según estudios, la exposición a este metal tóxico también está relacionada con enfermedades hepáticas y renales, lo que enfatiza la capacidad del cromo para afectar numerosos órganos importantes del cuerpo humano. En el hígado, la exposición al cromo puede causar problemas funcionales y estructurales que comprometen su capacidad de filtración y eliminación de toxinas, mientras que los efectos nocivos en el hígado pueden variar desde daño celular leve hasta trastornos más graves como hepatotoxicidad (Briffa et al, 2020).

## 2 METODOLOGÍA

En este documento se presenta una propuesta de límites permisibles para los lixiviados de lodos y los ripsos de perforación. Se propone que estos límites complementen al RAOH del 2020, ya el reglamento (RAOHE) del 2001 incluía estos límites en una tabla en el apartado de anexos.

Se recopilaron normativas de países de la región donde se realizan actividades hidrocarburíferas a través de la investigación. Para comparar los límites permisibles del RAOHE del 2001 con los límites permisibles en los reglamentos de otros países, se requirió el método comparativo. Este método permitió encontrar similitudes y/o diferencias y se propone una tabla actualizada con mejoras en los límites permisibles, ya que han transcurrido más de 20 años desde que entró en vigencia el RAOHE.

La historia hidrocarburífera del Ecuador tiene sus raíces a finales del siglo XIX, específicamente en lo que hoy en día se constituye la provincia de la Península de Santa Elena, donde se llevó a cabo la extracción de diversas sustancias bituminosas como el petróleo, la brea y el keroseno. Estos primeros intentos marcaron los inicios de la industria petrolera en el país. En el año 1911 se logró un hito significativo para el país al perforar el primer pozo petrolero en la Península de Santa Elena, marcando así el inicio formal de la explotación petrolera en el territorio ecuatoriano. Esta exploración abrió las puertas a un vasto potencial de recursos energéticos y sentó las bases para el desarrollo de la industria petrolera en Ecuador (Zambrano, 2023).

No obstante, la perforación del primer pozo en la región del Oriente ecuatoriano marcó otro momento importante en la historia hidrocarburífera. En el año 1967, la expansión hacia la Amazonía Ecuatoriana permitió el descubrimiento de nuevas reservas de petróleo, lo que impulsó aún más la industria petrolera y la convirtió en una fuente importante de ingresos para el país (Baby et al, 2004).

Durante el transcurso del tiempo, la extracción de petróleo en Ecuador ha atravesado múltiples fases de expansión, así como cambios en su enfoque y estrategias. La industria ha desempeñado un papel importante en la economía de Ecuador, generando ingresos importantes para el gobierno y generando puestos de trabajo para miles de personas. Sin embargo, debido a los efectos negativos de la explotación de hidrocarburos en áreas sensibles y comunidades locales, también ha estado acompañada de controversias y desafíos, especialmente en términos ambientales y sociales.

Actualmente, Ecuador sigue siendo un líder en la producción de petróleo en la zona, y la gestión de sus recursos de hidrocarburos es un tema importante y complicado para el progreso sostenible del país. La explotación de estos recursos y la preservación del medio ambiente y el bienestar de las comunidades son un desafío constante que requiere un enfoque integral y responsable por parte de las autoridades y las empresas del sector.

En el pasado, las leyes que regulaban las actividades hidrocarburíferas en el país se enfocaban en los aspectos económicos y de desarrollo, ignorando en gran medida la importancia del cuidado y protección del medio ambiente. No obstante, el desarrollo de importantes reuniones internacionales, como la cumbre de Estocolmo en 1972 y, más tarde, la cumbre de Río de Janeiro en 1992 dio lugar a un cambio significativo en la conciencia ambiental. Los encuentros internacionales tuvieron un impacto significativo en la percepción del medio ambiente, transformándolo de un simple objeto de explotación a un ser con derechos y dignidad propias (Zambrano, 2023).

La inclusión del medio ambiente como persona y no como un mero objetivo en la regulación de las actividades hidrocarburíferas y otras áreas relacionadas con el desarrollo ocurrió en este contexto. En Ecuador, se implementó el Texto Unificado de Legislación Secundaria en Materia Ambiental (TULSMA), el cual reúne y unifica una serie de normas reglamentarias secundarias relacionadas con asuntos ambientales. El TULSMA ayudó a establecer límites legales para las emisiones, descargas y vertidos al medio ambiente estableciendo normas claras y específicas para proteger el entorno natural y la calidad de vida de las comunidades.

El objetivo principal de TULSMA es garantizar que la legislación ambiental del país sea estable, proporcionando un marco normativo claro y actualizado para que tanto las entidades públicas como privadas comprendan y cumplan con la legislación ambiental vigente. De esta manera, se busca promover una explotación responsable de los recursos hidrocarburíferos y otras actividades industriales, fomentando la adopción de prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Dado que en el país la explotación de petróleo tiene una gran importancia, Ecuador ha sido consciente de los efectos ambientales que esta industria puede tener. Por lo tanto, se han generado e implementado medidas y regulaciones para garantizar que la explotación de petróleo se lleve a cabo de manera responsable y sostenible en todas sus fases. El Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en Ecuador (RAOH) contiene estas pautas (Zambrano, 2023).

El RAOH es un conjunto de regulaciones ambientales específicas para el sector hidrocarburífero nacional, estableciendo un marco normativo detallado que abarca desde la exploración y perforación hasta la producción y transporte de petróleo. Durante el mandato del expresidente Lenin Moreno, el Gobierno aprobó este reglamento, que se publicó en el Registro Oficial No. 174 el 1 de abril de 2020. El RAOH ha desempeñado un papel importante en el cuidado ambiental en las operaciones petroleras en Ecuador, asegurando que se cumplan con estándares ambientales desde su implementación.

El RAOH también tiene como objetivo salvaguardar zonas vulnerables y ecosistemas frágiles, como reservas naturales, parques nacionales y territorios indígenas, limitando las actividades petroleras con el fin de proteger la biodiversidad y los recursos naturales del Ecuador. La aplicación exitosa del RAOH requiere un compromiso activo tanto del gobierno como de las empresas del sector hidrocarburífero para garantizar el cumplimiento de estos estándares y principios.

En el Título IV, Capítulo I, Art. 42, dice: “**Tratamiento y disposición final de fluidos y ripsos de perforación.**- Los lodos y ripsos de perforación junto con los lodos de decantación del tratamiento de fluidos de perforación deberán someterse a un sistema de tratamiento conforme se establezca en el Estudio Ambiental que permita mejorar su estructura y composición a fin de que cumpla con los límites máximos permisibles en la Norma Técnica que se expida para el efecto para su disposición final en superficie.” Esta Norma Técnica se refiere justamente a los límites permisibles que se encontraban a manera de anexo en el RAOHE del 2001 y que hasta la presente fecha no se han implementado. Estas tablas se encuentran en el ANEXO I.

En Colombia la Resolución 0631 de 2015, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, regula el manejo final de residuos peligrosos y no peligrosos. Con el fin de proteger y preservar la calidad del agua y el medio ambiente en general, esta importante normativa establece límites permisibles para el vertimiento de aguas residuales domésticas y no domésticas en una variedad de industrias y sectores.

La Resolución 0631 de 2015 establece que los parámetros físicos, químicos y biológicos en los vertimientos de aguas residuales deben ser monitoreados y respetados. Estos parámetros aseguran que los contaminantes en las aguas residuales no superen niveles críticos que puedan afectar negativamente la salud pública y los ecosistemas en general.

El artículo 11 de la resolución detalla específicamente los parámetros fisicoquímicos y sus límites máximos permisibles para el sector hidrocarburífero. La tabla completa con los valores establecidos para cada parámetro se encuentra en el ANEXO II. Esto se hace para

garantizar que las operaciones petroleras cumplan con los estándares ambientales establecidos.

Es importante mencionar que esta resolución también establece criterios y procedimientos para la evaluación y monitoreo de la calidad de los lixiviados, líquidos contaminantes producidos por el proceso de descomposición de desechos en vertederos. Para evitar la contaminación del suelo y las fuentes de agua subterráneas cercanas a los sitios de disposición de desechos, es esencial controlar y monitorear los lixiviados.

En Perú, el Ministerio del Ambiente es responsable de regular los efluentes líquidos producidos por las operaciones del subsector de hidrocarburos, como está establecido en el Decreto Supremo N° 037-2008-PCM. Esta regulación crucial establece los límites máximos permisibles (LMP) para una variedad de parámetros físicos, químicos y biológicos que se encuentran en los lixiviados producidos por la disposición final de efluentes líquidos de la industria petrolera.

La Tabla N°01 del Artículo 1 del Decreto Supremo N° 037-2008-PCM contiene información detallada sobre los límites máximos permitidos para cada uno de los parámetros que deben ser monitoreados y controlados en los lixiviados. Estos límites están establecidos para asegurar que las descargas de aguas residuales de las actividades hidrocarburíferas no excedan niveles que puedan afectar negativamente la salud de las personas y el medio ambiente. En el ANEXO III se puede visualizar a detalle la referida tabla.

En México la protección y conservación de la calidad de las aguas y bienes nacionales son elementos clave en la gestión ambiental y la promoción de un desarrollo sostenible. La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 juega un papel importante en establecer los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales hacia cuerpos receptores propiedad del país. Dichos límites se encuentran en las tablas 1 y 2 de la norma, y estas tablas se encuentran en el ANEXO IV de este documento.

El objetivo principal de esta norma es preservar la integridad de los ecosistemas acuáticos y garantizar una disponibilidad adecuada de agua en cantidad y calidad para satisfacer las necesidades actuales y futuras de la población mexicana. La regulación tiene como objetivo evitar que los cuerpos de agua se contaminen y deterioren, así como proteger la salud pública y el bienestar de los ecosistemas que dependen de ellos.

La norma NOM-001-SEMARNAT-2021 aborda una amplia gama de sustancias que podrían ser perjudiciales para el ambiente acuático y la salud humana al establecer límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales. Estos contaminantes

incluyen sólidos suspendidos, grasas, aceites, nitrógeno y fósforo, patógenos y metales pesados.

La norma tiene como objetivo asegurar un medio ambiente saludable para las generaciones actuales y futuras, además de preservar el ambiente y proteger la salud pública. Al mantener la calidad de las aguas, se contribuye a la conservación de la biodiversidad acuática, el hábitat de especies vulnerables y la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos, que desempeñan un papel importante en la mitigación del cambio climático y la provisión de servicios ecosistémicos.

Se realiza la Tabla 2.1 para poder así identificar diferencias y similitudes en varios parámetros después de obtener las tablas con los límites permisibles de los países mencionados en este documento. Sin embargo, se observa que la normativa ecuatoriana carece de límites permisibles para algunos parámetros que son relevantes al formar parte de los aditivos en la composición de los fluidos de perforación y tienen un impacto tanto en el medio ambiente como en la salud de las personas. Debido a esto, se incluyen algunos de estos parámetros en la tabla comparativa que no se incluyen el RAOHE del 2001.

La inclusión de parámetros adicionales en esta tabla comparativa brindará una perspectiva más completa para la evaluación del impacto ambiental que tiene la decantación de los lixiviados de lodos y ripios de perforación. También proporcionará una visión más completa de los límites permisibles establecidos en comparación con diferentes países.

**Tabla 2.1** Comparación de los límites de algunos países permisibles para diferentes parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Unidad	Límites permisibles			
		Ecuador	Colombia	Perú	México
Potencial de hidrógeno	-	6<pH<9	6.00 a 9.00	6.0 - 9.0	6-9
Conductividad eléctrica	μS/cm	4000	-	-	-
Hidrocarburos totales	mg/l	<1	10	20	-
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/l	<0.003	Análisis y reporte	-	-
Cadmio	mg/l	<0.05	0.1	0.1	0.1
Cromo total	mg/l	<1.0	0.5	0.5	0.5
Vanadio	mg/l	<0.2	1	-	-
Bario	mg/l	<5	Análisis y reporte	5	-
Plomo	mg/l	-	0.2	0.1	0.2
Hierro	mg/l	-	3	-	-
Arsénico	mg/l	-	0.1	0.2	0.2
Cobre	mg/l	-	1	-	4
Zinc	mg/l	-	3	-	10
Mercurio	mg/l	-	0.01	0.02	0.005

Elaborado por: Piedra, 2023

En la Tabla 2.1 se observa que los parámetros de plomo, hierro, arsénico, cobre, zinc y mercurio no están considerados en los anexos del RAOHE del 2001. Por otra parte, el potencial de hidrógeno es igual en las diferentes normativas analizadas, por lo tanto, no se sugiere un cambio para este parámetro. Con respecto a la conductividad eléctrica, los hidrocarburos totales, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, el cadmio, el vanadio y el bario tienen límites más estrictos en el RAOHE del 2001. En la Tabla 2.2 se puede apreciar a los países tienen los límites más estrictos para cada parámetro.

**Tabla 2.2** Países con los límites permisibles más estrictos para cada parámetro.

Parámetro	País
Potencial de hidrógeno	Ecuador
Conductividad eléctrica	Ecuador
Hidrocarburos totales	Ecuador
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Ecuador
Cadmio	Ecuador
Cromo total	Colombia
Vanadio	Ecuador
Bario	Ecuador
Plomo	Perú
Hierro	Colombia
Arsénico	Colombia
Cobre	Colombia
Zinc	Colombia
Mercurio	México

Elaborado por: Piedra, 2023

Al agregar nuevos parámetros a las tablas de límites permitidas, es fundamental asegurarse de que existan protocolos o procedimientos bien establecidos que indiquen cómo tomar muestras y realizar las mediciones precisas de estos parámetros. El mercurio, que se mide según la norma NTE INEN-ISO 12846, es un ejemplo de esto. Estas normas técnicas son esenciales para garantizar que los resultados obtenidos sean precisos y confiables, y para mantener la coherencia en la evaluación de la calidad del agua y otros recursos naturales.

El INEN, o Servicio Ecuatoriano de Normalización, es un organismo importante en Ecuador para desarrollar los procedimientos establecidos en el Sistema Ecuatoriano de la Calidad. Este organismo es responsable de satisfacer las necesidades del país en los campos de Normalización, Reglamentación, Metrología y Evaluación de la Conformidad.

El INEN es responsable de proporcionar las normas necesarias dentro del ámbito de la Normalización. Planifica, organiza, dirige, controla y evalúa el desarrollo de los documentos normativos necesarios para lograrlo (INEN, s.f.). Estas normas se convierten en el marco técnico-legal y son fundamentales para organizar y controlar las actividades de varios procesos industriales y ambientales.

La Normalización contribuye directamente a la calidad, inocuidad y seguridad de los productos y servicios que se comercializan en el país (INEN, s.f.), lo cual es un aspecto importante de la normalización. Las normas garantizan que los bienes y servicios cumplan con estándares de calidad y seguridad adecuados al establecer criterios y especificaciones

técnicas. En el caso de medir parámetros ambientales, seguir las normas establecidas asegura la precisión de los resultados y permite una evaluación más precisa del impacto en el medio ambiente y la salud pública.

La aplicación adecuada de las normas de toma de muestras y medición de parámetros en el contexto de la industria petrolera y otras actividades relacionadas con la perforación es esencial para evaluar y reducir el impacto ambiental de los fluidos y ripsos de perforación. Esto ayuda a garantizar que se cumplan los límites permisibles establecidos, protegiendo así la calidad de los cuerpos de agua y el entorno natural circundante.

En la Tabla 2.3 se indican de las normas que miden el correspondiente parámetro.

**Tabla 2.3** Normas técnicas utilizadas en Ecuador.

Parámetro	Norma
Potencial de hidrógeno	NTE INEN-ISO 10523
Conductividad eléctrica	-
Hidrocarburos totales	-
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	NTE INEN-ISO 17993
Cadmio	NTE INEN-ISO 8288
Cromo total	NTE INEN-ISO 18412
Vanadio	NTE INEN-ISO 14597
Bario	-
Plomo	NTE INEN-ISO 8288
Hierro	NTE INEN-ISO 6332
Arsénico	NTE INEN-ISO 11969
Cobre	NTE INEN-ISO 8288
Zinc	NTE INEN-ISO 8288
Mercurio	NTE INEN-ISO 12846

Elaborado por: Piedra, 2023

Es importante señalar que, aunque no se hayan encontrado normas para medir los parámetros de Conductividad Eléctrica, Hidrocarburos Totales y Bario, se los incluye debido a que estos parámetros ya se encontraban originalmente en los límites permisibles en el RAOHE del 2001.

### **3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1 Resultados**

El TULSMA es una normativa importante en la unificación de las normas reglamentarias secundarias relacionadas con el medio ambiente, proporcionando un marco normativo coherente y consistente para proteger el medio ambiente. El RAOH actúa como una regulación clave para guiar las operaciones hidrocarburíferas del país y garantizar el cumplimiento de estrictos estándares ambientales desde su establecimiento. El RAOH resalta su énfasis en la preservación de áreas vulnerables y ecosistemas frágiles, lo que demuestra una verdadera dedicación a proteger la biodiversidad y los recursos naturales excepcionales de Ecuador. En Ecuador, el TULSMA y el RAOH son fundamentales para llevar a cabo una gestión ambientalmente responsable de los recursos hidrocarburíferos. Al unificar y establecer límites legales claros, estas regulaciones fomentan la protección del medio ambiente y aseguran un enfoque más sostenible en la explotación de los recursos hidrocarburíferos del país.

La Tabla 3.1, que se elaboró después de realizar la comparación entre las normas vigentes de varios países de la región, muestra los límites permisibles sugeridos para los lixiviados de lodos y rípios de perforación. Esta tabla es necesaria para establecer estándares ambientales adecuados y proteger el entorno natural y la salud pública.

La Tabla 3.1 muestra una evaluación más completa y precisa de los lixiviados producidos por lodos y rípios de perforación al agregar varios parámetros que no se encontraban en el RAOHE del 2001. Al agregar estos nuevos parámetros, se muestra un enfoque más integral que considera elementos importantes para evaluar el impacto ambiental de dichos desechos.

Además, se han sustituido ciertos límites por otros más rigurosos para los parámetros que ya se incluían en la regulación del 2001. Establecer límites más rigurosos tiene como objetivo mejorar aún más la protección ambiental y garantizar que los niveles de contaminantes en los lixiviados estén bajo control, reduciendo así los posibles efectos perjudiciales en los ecosistemas cercanos. Igualmente, la Tabla 3.1 se conservaron algunos valores que son más rigurosos en la normativa ecuatoriana para algunos parámetros en comparación con los establecidos por otras regulaciones. En la Tabla 3.2 se muestra el contraste entre los límites permisibles propuestos en este trabajo y los límites permisibles que constan en el RAOHE del 2001.

**Tabla 3.1** Tabla propuesta de límites permisibles para lixiviados de lodos y rípios de perforación.

Parámetro	Unidad	Límites permisibles
Potencial de hidrógeno	-	6<pH<9
Conductividad eléctrica	μS/cm	<4000
Hidrocarburos totales	mg/l	<1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/l	<0.003
Cadmio	mg/l	<0.05
Cromo total	mg/l	<0.5
Vanadio	mg/l	<0.2
Bario	mg/l	<5
Plomo	mg/l	<0.1
Hierro	mg/l	3
Arsénico	mg/l	<0.1
Cobre	mg/l	1
Zinc	mg/l	3
Mercurio	mg/l	<0.005

Elaborado por: Piedra, 2023

**Tabla 3.2** Comparación entre los límites permisibles propuestos y los límites permisibles del RAOHE del 2001.

Parámetro	Unidad	Límites permisibles RAOH 2001	Límites permisibles propuestos
Potencial de hidrógeno	-	6<pH<9	6<pH<9
Conductividad eléctrica	μS/cm	4000	<4000
Hidrocarburos totales	mg/l	<1	<1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/l	<0.003	<0.003
Cadmio	mg/l	<0.05	<0.05
Cromo total	mg/l	<1.0	<0.5
Vanadio	mg/l	<0.2	<0.2
Bario	mg/l	<5	<5
Plomo	mg/l	-	<0.1
Hierro	mg/l	-	3
Arsénico	mg/l	-	<0.1
Cobre	mg/l	-	1
Zinc	mg/l	-	3
Mercurio	mg/l	-	<0.005

Elaborado por: Piedra, 2023

En la Tabla 3.2 se observa la falta de varios parámetros que podrían estar presentes en los lixiviados de lodos y ripsos de perforación, en comparación con las regulaciones de otros países. Debido a los aditivos utilizados, estos parámetros están relacionados con la composición del lodo y la interacción del fluido con las formaciones geológicas. Esta omisión es crucial porque la falta de estos parámetros en las normas podría restringir una evaluación completa de los efectos ambientales y los riesgos asociados con la gestión de estos desechos. Por lo tanto, para garantizar una gestión ambientalmente responsable de estos desechos, es esencial incluir estos parámetros adicionales en las regulaciones relacionadas con los lixiviados de lodos y ripsos de perforación.

Sin embargo, a pesar de haber transcurrido más de dos décadas desde que entró en vigencia el RAOHE con sus límites permisibles, es pertinente mencionar que estos valores se asemejan considerablemente a los establecidos en las normativas de los países vecinos Perú y Colombia, que han sido publicadas en años más recientes. De hecho, en algunos parámetros, los límites del RAOHE incluso resultan más rigurosos. Esta convergencia en los estándares normativos entre países muestra un compromiso por abordar de manera responsable los desafíos ambientales asociados con las actividades hidrocarburíferas, sobre todo en la fase de la perforación.

## 3.2 Conclusiones

- La fase de la perforación en la industria del petróleo es la más importante, ya que es aquí donde se comprueba que hay petróleo en el subsuelo y es a través de los pozos perforados que se puede extraer el petróleo a superficie.
- Los fluidos de perforación (lodos) cumplen con un papel fundamental en la perforación al tener varias funciones importantes como mantener la estabilidad del pozo o llevar a superficie los recortes o ripios de perforación.
- Es esencial cumplir con las regulaciones que rigen las operaciones de extracción de hidrocarburos con el fin de reducir el impacto ambiental. Esto es especialmente importante durante la fase de perforación.
- Se deben cumplir con los límites permisibles en la decantación de lixiviados, ya que varios de los compuestos que se encuentran presentes en los lodos y ripios de perforación son perjudiciales, tanto para el medio ambiente como para las personas.
- Los límites permisibles en el RAOHE del 2001 no han quedado obsoletos, ya que algunos de ellos son incluso más rigurosos que los de las normativas de los países mencionados en este documento.
- Existen varios parámetros que se encuentran en las normativas de los países con los que se realiza la comparación que no estaban presentes en la tabla de límites permisibles del RAOHE del 2001, siendo estos metales que se utilizan como aditivos en la elaboración de los fluidos de perforación o que están presentes en el subsuelo.
- La consideración de las normas técnicas que permiten medir los parámetros que se muestran en la tabla propuesta es importante ya que se incorporan procedimientos estandarizados para garantizar que los resultados de las mediciones sean precisos.

### **3.3 Recomendaciones**

- Es recomendable complementar el RAOH para incluir los límites permisibles para la disposición de lixiviados de lodos y ripsos de perforación, así como otras regulaciones pendientes. No se ha tomado ninguna medida a lo largo del tiempo transcurrido desde la emisión de dicho documento (abril 2020) hasta la fecha actual.
- Se aconseja ampliar el espectro de parámetros considerados dentro de los límites permisibles, incluso si actualmente no se utilizan todos los aditivos en la elaboración de lodos. La necesidad de implementar esta medida se debe a la posibilidad de que en el futuro se utilicen nuevos componentes o tecnologías en las operaciones de extracción de hidrocarburos. Al anticipar y considerar posibles cambios en la composición de los lodos, se fortalecerá la capacidad regulatoria para abordar cualquier impacto ambiental potencial y garantizar una gestión preventiva y sostenible de estos efluentes.
- Establecer un sistema de seguimiento exhaustivo para monitorear la transparencia y la frecuencia con la que se realizan las pruebas para determinar los valores de los parámetros contemplados dentro de los límites permitidos. La implementación de esta medida asegurará una mayor precisión y confiabilidad en los resultados de las mediciones, lo que a su vez mejorará la gestión ambiental en el sector de los hidrocarburos.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- API. (2001). *Manual de Fluidos de Perforación: Procedimiento Estándar para las Pruebas de Fluidos de Perforación*.
- Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R. (2004). *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo* (1a edición).
- Bowie, S., & Thornton, I. (2011). *Environmental geochemistry and health: Report to the Royal Society's British National Committee for Problems of the Environment*. Springer.
- Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*.
- Bridges, S., & Robinson, L. (2020). *A practical handbook for drilling fluids processing*. Gulf Professional Publishing.
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Castro-González, N. P., Sánchez, F. C., Moreno-Rojas, R., Moreno-Ortega, A., & Tamariz-Flores, J. V. (2017). Health risks in rural populations due to heavy metals found in agricultural soils irrigated with wastewater in the Alto Balsas sub-basin in Tlaxcala and Puebla, Mexico. *International Journal of Environmental Health Research*, 27(6), 476-486. <https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1386767>
- Chang, R. (2010). *Química* (10a. Edición).
- Gobierno de Colombia. (2015). *Resolución 0631*.
- Gobierno de México. (2021). *NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021*.
- Gobierno de Perú. (2008). *Decreto Supremo N° 037-2008-PCM*.

- Gobierno del Ecuador. (2001). *Decreto No. 1215: Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (Registro Oficial No. 265)*.
- Gobierno del Ecuador. (2003). *Decreto No. 3516: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Registro Oficial Edición Especial No.2)*.
- Gobierno del Ecuador. (2020). *Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (Registro Oficial No. 174)*.
- INEN, V. Y. C. (2023, 13 julio). *Normalización INEN*.  
<https://inennormalizacion.blogspot.com/>
- Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA y ANIMAL. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145.  
[https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Manahan, S. E. (2009). *Environmental Chemistry, Ninth Edition*. CRC Press.
- National Primary Drinking Water Regulations | US EPA*. (2023, 9 enero). US EPA.  
<https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
- PDVSA. (2002). *Fluidos de Perforación*. Primera versión.
- Pichtel, J. (2005). *Waste management practices: Municipal, Hazardous, and Industrial*. CRC Press.
- Schlumberger Energy Glossary. (s. f.). *Energy Glossary*. Recuperado 3 de junio de 2023, de <https://glossary.slb.com/es/terms/c/cuttings>
- Selinus, O. (2013). *Essentials of medical Geology: Revised Edition*. Springer Science & Business Media.

Spellman, F. R. (2003). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*.

CRC Press.

Veil, J. A. (2002). Drilling Waste Management: past, present, and future. *All Days*.

<https://doi.org/10.2118/77388-ms>

Yip, R., & Dalman, P. (1995). *Present Knowledge in Nutrition*.

Zambrano, J. (2023). *Clases de Legislación Petrolera y Ambiental* [Diapositivas; Apuntes de clase].

## 5 ANEXOS

### ANEXO I

#### LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL RAOHE

<b>a) SIN impermeabilización de la base</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Expresado en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor límite permisible</b>
Potencial hidrógeno	pH	---	6<pH<9
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	4,000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.003
Cadmio	Cd	mg/l	<0.05
Cromo total	Cr	mg/l	<1.0
Vanadio	V	mg/l	<0.2
Bario	Ba	mg/l	<5
<b>b) CON impermeabilización de la base</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Expresado en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor límite permisible</b>
Potencial hidrógeno	pH	---	4<pH<12
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	8,000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<50
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.005
Cadmio	Cd	mg/l	<0.5
Cromo total	Cr	mg/l	<10.0
Vanadio	V	mg/l	<2
Bario	Ba	mg/l	<10

## ANEXO II

### LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN COLOMBIA

PARÁMETRO	UNIDADES	EXPLORACIÓN (UPSTREAM)	PRODUCCIÓN (UPSTREAM)	REFINO	VENTA Y DISTRIBUCIÓN (DOWNSTREAM)	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO (MIDSTREAM)
<b>Generales</b>						
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	400,00	180,00	400,00	180,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	200,00	60,00	200,00	60,00	60,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSD)	mL/L	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

PARÁMETRO	UNIDADES	EXPLORACIÓN (UPSTREAM)	PRODUCCIÓN (UPSTREAM)	REFINO	VENTA Y DISTRIBUCIÓN (DOWNSTREAM)	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO (MIDSTREAM)
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Hidrocarburos</b>						
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Compuestos Orgánicos Halogenados Aromáticos (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
<b>Compuestos de Fosforo</b>						
Fosforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Ortofosfato (P <sub>1</sub> -PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>						
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Nitrógeno Amomiacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Nitrógeno Total (N)	mg/L	10,00	10,00	10,00 o 40,00 si en el proceso de refino se incluyen actividades de hidrogenación	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>iones</b>						
Cloruro Total (Cl)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1.200,00	1.200,00	500,00	250,00	250,00
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	300,00	300,00	300,00	250,00	250,00
Sulfuro (S <sup>2-</sup> )	mg/L	1,00	1,00	1,00		
<b>Metales Pesados</b>						
Arsénico (As)	mg/L	0,10	0,10	0,10		
Bario (Ba)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10	0,10		
Cinc (Zn)	mg/L	5,00	5,00	3,00		
Cobalto (Co)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50	0,50		
Hierro (Fe)	mg/L	3,00	3,00	3,00		
Manganeso (Mn)	mg/L	0,51	0,51	0,01		
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50	0,50		
Plata (Ag)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	0,20	0,10		
Selenio (Se)	mg/L	0,20	0,20	0,20		
Vanadio (V)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
<b>Otros Parámetros para Análisis y Reporte</b>						
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color - Medida de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 625 nm y 690 nm	m <sup>1</sup>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

### ANEXO III

#### LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN PERÚ

Parámetro Regulado	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (mg/l) (Concentraciones en Cualquier momento)
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	20
Cloruro	500 (a ríos, lagos y embalses) 2000 (estuarios)
Cromo Hexavalente	0,1
Cromo Total	0,5
Mercurio	0,02
Cadmio	0,1
Arsénico	0,2
Fenoles para efluentes de refinerías FCC	0,5
Sulfuros para efluentes de refinerías FCC	1,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	250
Cloro residual	0,2
Nitrógeno amoniacal	40
Coliformes totales (NMP/100 mL)	< 1000
Coliformes Fecales NMP/100 mL)	< 400
Fósforo	2,0
Bario	5,0
pH	6,0 - 9,0
Aceites y grasas	20
Plomo	0,1
Incremento de Temperatura <sup>a</sup>	<3°C

## ANEXO IV

### LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN MÉXICO

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84
Carbono Orgánico Total <sup>1</sup>	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21
Nitrógeno Total	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
Huevos de Helmintos (huevo/filtro)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1								
Escherichia coli, (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200
Enterococos fecales <sup>2</sup> (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200
pH (UpH)	6-9																	
Color verdadero	Longitud de onda									Coeficiente de absorción espectral máximo								
	436 nm									7,0 m <sup>-1</sup>								
	525 nm									5,0 m <sup>-1</sup>								
	620 nm									3,0 m <sup>-1</sup>								
Toxicidad aguda (UT)	2 a los 15 minutos de exposición																	
<p>N.A.: No Aplica                      P.M.: Promedio Mensual                      P.D.: Promedio Diario                      V.I.: Valor Instantáneo                      NMP: Número más probable                      UpH: Unidades de pH                      UT: Unidades de Toxicidad</p> <p><sup>1</sup> Si Cloruro es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO.  <sup>2</sup> Si Cloruro es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT.  <sup>3</sup> Si la conductividad eléctrica es menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta E. coli.  <sup>4</sup> Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales.</p> <p>Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente.</p>																		

Parámetros (miligramos por litro)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
Arsénico	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
Cadmio	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,05	0,075	0,1	0,1	0,15	0,2	0,05	0,075	0,1
Cianuro	1	2	3	1	1,5	2	2	2,50	3	2	2,5	3	1	1,50	2	1	1,5	2
Cobre	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Cromo	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
Mercurio	0,01	0,015	0,02	0,005	0,008	0,01	0,01	0,015	0,02	0,005	0,008	0,01	0,005	0,008	0,01	0,005	0,008	0,01
Níquel	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
Plomo	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Zinc	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20
Parámetros medidos de manera total	P.M.: Promedio Mensual P.D.: Promedio Diario V.I.: Valor Instantáneo																	