

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA DE GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**PROPUESTA LÍMITES PERMISIBLES PARA LA IDENTIFICACIÓN Y
REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON
HIDROCARBUROS Y PARA LIXIVIADOS DE LODOS Y RIPIOS DE
PERFORACIÓN**

**PROPUESTA LÍMITES PERMISIBLES PARA LA IDENTIFICACIÓN
DE SUELOS CONTAMINADOS EN TODAS LAS FASES DE LA
INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA, INCLUIDAS LAS ESTACIONES
DE SERVICIOS**

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

BEICY STEPHANIE MORALES MOREIRA

beicy.morales@epn.edu.ec

DIRECTOR: PhD. JOHNNY ROBINSON ZAMBRANO CARRANZA

johnny.zambrano@epn.edu.ec

DMQ, Octubre 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Beicy Stephanie Morales Moreira 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.

BEICY STEPHANIE MORALES MOREIRA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Beicy Stephanie Morales Moreira, bajo mi supervisión.

JOHNNY ROBINSON ZAMBRANO CARRANZA
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante 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.

BEICY STEPHANIE MORALES MOREIRA

JOHNNY ROBINSON ZAMBRANO CARRANZA

AGRADECIMIENTO

Agradecida primero con Dios por haberme permitido llegar hasta este gran momento en mi vida, segundo mis padres, tías, abuelita y hermanas, por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi carrera para lograr culminar mis estudios, a mis amigos y compañeros de clase quien fueron un gran apoyo académico y con los cuales compartí varios momentos únicos y a mis profesores que fueron pilar para mi formación a lo largo de mi paso en la mejor Universidad del país, la Escuela Politécnica Nacional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Actividades hidrocarburíferas que contaminan el suelo.....	3
1.4.2 Descripción de los parámetros.....	5
1.4.3 Métodos de muestreo	8
1.4.4 Normativas Vigentes en el Ecuador.....	9
1.5 Países Vecinos y sus legislaciones.....	10
1.5.1 México	10
1.5.2 Perú	11
1.5.3 Brasil.....	11
1.5.4 Argentina	11
1.5.5 Estados Unidos.....	12
2.1 Legislación Ambiental en el Ecuador	13
2.2 Reseña Histórica del INEN en el Ecuador.....	14
2.3 Historia de Legislación Ambiental Internacional.....	15
2.4 Normativas Ambientales de países Vecinos	16
2.4.1 México	16
2.4.2 Perú	16
2.4.3 Brasil.....	18
2.4.4 Argentina	21
2.4.5 Estados Unidos.....	21
3.1 Resultados	23
1.6 Conclusiones.....	26

1.7	Recomendaciones.....	26
3.3.1	Medidas de Mitigación	27

RESUMEN

La legislación ambiental en el Ecuador inicio en los años 90s, hasta que en el 2001 fue expedido el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE) que buscaba regular, controlar, inspeccionar y auditar las operaciones hidrocarburíferas en todas sus fases, desde la exploración, producción, refinamiento hasta su comercialización.

Para el año de 2020 se implementó el Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburífera (RAOH), que reemplazaba al del 2001, pero en este último existe un vacío legal con respecto a Tablas de parámetros permisibles de contaminantes de hidrocarburo en los suelos, por lo que en este trabajo se propone una tabla, mediante análisis de las normativas ambientales de países vecinos como Perú, Brasil, Argentina; con la finalidad de implementar nuevos parámetros y sus respectivos límites que garanticen la calidad de los suelos en donde se desarrollan actividades hidrocarburíferas, de acuerdo a la pertinencia que hay en el país.

El estudio abarca normativas ambientales de varios países, donde mencionan los parámetros que son utilizados y sus rangos para garantizar en su territorio una alta calidad de suelo, y así del medio ambiente. Dichos parámetros se compararon con los que tiene el Ecuador y se implementó nuevos que pueden reforzar el reglamento para operaciones más limpias y amigables con el medio ambiente.

También se describe algunas técnicas de mitigación que se podrían implementar en el país en lugares que han sido contaminados por hidrocarburos y todo ese suelo se volvió pasivo, por falta de técnicas para restaurar su producción.

PALABRAS CLAVE: contaminantes, hidrocarburos, suelo, legislación ambiental, límites permisibles.

ABSTRACT

Environmental legislation in Ecuador began in the 1990s, until 2001, when the Environmental Regulation for Hydrocarbon Operations in Ecuador (RAOHE) was issued. Hydrocarbon Operations in Ecuador (RAOHE) was issued in 2001, which sought to regulate, control, inspect and audit hydrocarbon operations in all their aspects, control, inspect and audit hydrocarbon operations in all their phases, from exploration, production, production, and exploration, production, refining and commercialization of hydrocarbons.

By 2020, the Environmental Regulation for Hydrocarbons Operations was implemented. Environmental Regulation of Hydrocarbon Operations (RAOH), which replaced the 2001 one, was implemented by 2020, but in the latter there is a legal void with respect to Tables of permissible parameters of hydrocarbon contaminants in soils. A table is proposed in this work, by analyzing the environmental regulations of neighboring countries such as Peru, Brazil, Argentina; with the purpose of implementing new parameters and their respective limits that guarantee the quality of the soils where hydrocarbon the quality of the soils where hydrocarbon activities are developed, according to the pertinence in the country.

The study covers environmental regulations of several countries, where they mention the parameters that are used and their ranges to guarantee in their territory a high quality of soil, and thus of the environment. These parameters were compared with those used in Ecuador and new ones were implemented to implemented new ones that can reinforce the regulations for cleaner and more environmentally friendly operations.

It also describes some mitigation techniques that could be implemented in the country in places that have been contaminated by hydrocarbons and all that soil became passive, due to the lack of techniques to restore its production.

KEY WORDS: pollutants, hydrocarbons, soil, environmental legislation, permissible limits.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En el contexto de la protección ambiental en las operaciones de explotación de hidrocarburos, en el Ecuador se dispone del Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburífera (RAOH) promulgado en el año 2020; pero el cual no cuenta con las Tablas de límites permisibles que garanticen la calidad del medio ambiente. Pero el cuerpo normativo del 2001 denominado Reglamento Ambiental para las Operaciones en el Ecuador (RAOHE), el cual, si detallaba los parámetros de calidad ambiental para monitorear todas las fases de actividades hidrocarburíferas desde, la exploración, extracción, producción, refinación hasta su comercialización.

Como el reglamento vigente RAOH no incorpora dichos parámetros para garantizar la calidad del medio ambiente en las actividades hidrocarburíferas se necesita establecerlos, por lo que se realizó un análisis comparativo, con reglamentos de países vecinos como Argentina, Perú, México y Brasil, que tienen normativas parecidas a la del Ecuador y saber si son aplicables en el país.

Además, se realizó una investigación de normativas de Estados Unidos, país con diferente legislación y control, que es relevante analizar para tener una visión más amplia de los límites permisibles y cuáles son sus ventajas, para establecer la pertinencia de su implementación en nuestro país.

A su vez, también se hace un análisis histórico de la Evaluación del Impacto Ambiental, cuáles fueron sus inicios, y que hecho fue punto de inflexión para que los estados a nivel mundial implementen una legislación ambiental que cubra los procedimientos de proyectos ambientales para tener menor impacto con respecto a la contaminación a la naturaleza; seguido de un estudio histórico de la legislación ambiental en Ecuador teniendo estos puntos de partida internacionales y que repercuten directamente a las relaciones que tiene nuestro país con otros estados.

También se describe avances tecnológicos para detectar la contaminación de suelos de manera más eficiente y tipos de mitigación para contrarrestar la contaminación con hidrocarburos.

El resultado de la investigación es proponer una tabla de parámetros permisibles en suelos contaminados por hidrocarburos en todas las etapas de la industria tomando en cuenta su importancia y la posibilidad de hacer los muestreos de dicho parámetro en el Ecuador.

1.1 Objetivo general

Proponer una nueva tabla de límites permisibles y parámetros de acuerdo a los avances tecnológicos, para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera.

1.2 Objetivos específicos

1. Analizar el Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas emitido en el año 2001 y compararlo con la normativa promulgada el año 2020.
2. Comparar parámetros establecidos en el reglamento con otras normativas de países vecinos.

1.3 Alcance

El proyecto se enfocará en proponer límites permisibles y parámetros de análisis para lo que eran las Tablas 6 y 7 del Anexo 2 del RAOHE del 2001. Específicamente, se realizará una revisión bibliográfica y de normativa comparable de otros países para proponer: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios.

Se tendrá una fase de planteamiento en donde se detallará las fuentes donde se recopilará bibliografía y la siguientes será una fase de análisis comparativo entre parámetros de otros países.

1.4 Marco teórico

En el año 2001 se expidió el Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE) con el objetivo de que el estado tenga normativas claras en con respecto a la situación social y ambiental para todas las fases operativas de la industria petrolera.

El RAOHE involucra directamente la industria petrolera con empresas estatales y privadas, para adoptar normas constitucionales y legales con modelos ambientales aceptados a nivel nacional e internaciones en la industria petrolera.

Las reglamentaciones de gestión ambiental en el país son relativamente nuevas, ya que en 1990 hubo el primer acuerdo llamada "Acuerdo de Caballeros," seguido de otro acuerdo en 1992 y antes de la expedición del reglamento hubo un Decreto Ejecutivo en 1995, teniendo en cuenta que las operaciones petrolíferas en el Ecuador datan del año de 1911 en la

Península de Santa Elena por lo que, tuvo que pasar casi 80 años para tener una normativa clara con respecto a la gestión ambiental en las actividades hidrocarburíferas.

En el RAOHE de 2001, en el Art. 86 se habla de los parámetros:

“Los sujetos de control y sus operadoras y afines en la ejecución de sus operaciones, para descargas líquidas, emisiones a la atmósfera y disposición de los desechos sólidos en el ambiente, cumplirán con los límites permisibles que constan en los Anexos No. 1, 2 y 3 de este Reglamento, los cuales constituyen el programa mínimo para el monitoreo ambiental interno y se reportarán a la Subsecretaría de Protección Ambiental conforme la periodicidad establecida en el artículo 12 de este Reglamento.

En caso de exceder un límite permisible establecido en los anexos, se debe reportar inmediatamente a la Subsecretaría de Protección Ambiental y justificar las acciones correctivas tomadas...

b.4) Tabla No. 6: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios”, (RAOHE, 2001).

Dentro del nuevo Reglamento (RAOH) en la sección de “*Mecanismos de Control y Seguimiento Ambiental*” habla en el *Art.59 Monitoreo ambiental interno* y en el *Art.62 Condiciones del monitoreo ambiental* en donde se menciona “...*debe ser menor al límite máximo permisible establecido en las normas técnicas...*”, pero cuyas normas técnicas no se encuentran anexadas hasta el momento para la reconocimiento y remediación de suelos contaminados presentes en las fases de la industria hidrocarburífera, incluyendo las estaciones de servicio, (RAOH, 2020).

1.4.1 Actividades hidrocarburíferas que contaminan el suelo

Las actividades de la industria hidrocarburíferas que contaminan y afectan al suelo son: perforación, workover, producción, refinación, transporte y comercialización.

En la etapa de perforación, workover y producción pueden haber reventones, que es una explosión del pozo por el descontrol de presiones; al suceder dicho evento, el fluido se dispara descontrolado y hay derrames a los alrededores del pozo, contaminando así los suelos y recursos hídricos; a más del hidrocarburo, se contaminan por los fluidos de perforación que tienen varios aditivos químicos como densificantes, viscosificantes, cuyos tienen varias funciones en contacto con los fluidos del pozo, como controlar presiones, bajar o aumentar densidades, control de pH de fluidos, entre otras.

De los químicos utilizados en estos aditivos se tiene entre ellos: Plomo, Hierro, Calcio, Aluminio, Silicio, Magnesio, Cloro, Sodio, etc. (PDVSA, 2002).

Como a su vez, durante la etapa de producción puede haber también contaminación de los suelos por derrames en tanques de almacenamiento y las líneas de flujo, dado que puede existir desgastes y corrosión de los materiales que los revisten.

Durante la refinación se puede dar la contaminación del suelo por hidrocarburo, en el área de procesos, en el área de asfaltos, tanques de almacenamiento, sistema de tratamiento de aguas residuales y piscinas de residuos oleosas.

En el transporte de crudo en el Ecuador, como en el Poliducto, SOTE y OCP puede haber contaminación en los tanques de almacenamiento y las líneas de flujo, ya sea por el desgaste y corrosión de las tuberías y los tanques, (NACIONES UNIDAS, 1990).

Y en la etapa de la comercialización, puede existir un mal manejo de los derivados de los hidrocarburos, por lo que puede haber de igual manera derrames o filtración de estos productos en estaciones de servicios, que van directamente al suelo contaminándolo.

Considerando las actividades mencionadas, en el RAOHE se encuentran los límites que deben ser aplicados para la Remediación de Suelos, los cuales consisten en un monitoreo que caracterizará el suelo in situ, tomando muestras respectivas cada tiempo determinado y se analiza cada parámetro de la Tabla 1 usando métodos descritos en la Tabla 2, que se rigen a las Normativas del INEN.

Tabla 1 Parámetros permisibles se suelos contaminados por hidrocarburos

Parámetro	Expresado en	Unidad	Uso agrícola	Uso Industrial	Ecosistemas Sensibles
Hidrocarburos totales	TPH	mg/kg	<2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/kg	<2	<5	<1
Cadmio	Cd	mg/kg	<2	<10	<1
Níquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	Pb	mg/kg	<100	<500	<80

Fuente: RAOHE, 2001

Elaborado por: Morales, 2023

De acuerdo al RAOHE que se rige al INEN se tienen los métodos descritos en la Tabla 2, cuyas técnicas dependen del parámetro que se desea medir.

Tabla 2 Métodos de muestreo para cada parámetro

Parámetros	Método	Referencias
Muestreo	Muestra compuesta y representativa (mínimo 15-20 submuestras por hectárea o equivalente, homogeneización)	
Hidrocarburos totales (TPH)	Extracción con cloruro de metileno, cromatografía de gases y determinación FID (GC/FID). Alternativa: Extracción con freón, remoción de sustancias polares en el extracto y determinación por espectroscopia	Publication No. ECY 97-602 (Washington, Junio de 1997) EPA 413.1: 1664 (SGT-HEM) ASTM D3921-96
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Extracción; determinación por cromatografía de gases (GC) o HPLC.	EPA SW-846 Métodos 8100 o 8310
Cadmio	Digestión ácida de la muestra y determinación directa por espectroscopia de absorción atómica.	EPA SW-846 Métodos 3050B, 7130, 7520, 7420
Níquel		
Plomo		

Fuente: RAOHE, 2001

Realizado por: Morales, 2023

1.4.2 Descripción de los parámetros

Para tener una visión amplia de cada uno de los parámetros, se describen a continuación los hidrocarburos totales y los aromáticos policíclicos que son inherentes al hidrocarburo:

- Hidrocarburos Totales (TPH): Son parte de un gran grupo de cientos de compuestos químicos derivados del crudo. El TPH es una combinación química formada principalmente por hidrógeno y carbono denominada hidrocarburo. Los científicos dividen los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que actúan de otra manera

en el suelo o el agua dependiendo de su densidad. Estas agrupaciones se conocen como la fracción de hidrocarburos de petróleo.

Los TPH pueden ingresar al medio ambiente a través de accidentes, descargas industriales, como este caso de la industria petrolera, o como subproducto del uso comercial o privado. El TPH puede ingresar al agua directamente a través de derrames o fugas. Parte del TPH (fracciones ligeras) flotará en el agua y formará una capa superficial; el resto de los TPH se depositarán en los sedimentos del fondo (fracciones pesadas). Las bacterias y los microorganismos en el agua pueden degradar algunas partes de TPH. Algunos TPH se incorporan a partículas en el suelo, donde pueden mantenerse durante largos períodos (ATSDR, 2016).

- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs): Son un conjunto de más de 100 sustancias químicas diversas que se encuentran esencialmente en sustancias orgánicas como el carbón, el petróleo, la gasolina y los residuos, pero también en otras sustancias orgánicas (tabaco, parrillas, etc.). Los HAP suelen existir como combinación de dos o más de estos compuestos. En general, los HAP son irritantes en contacto con los sentidos del tacto y la vista, como a su vez pueden causar insuficiencia respiratoria y afectar el sistema nervioso cuando se inhalan. La ingestión a largo plazo puede causar coágulos de sangre y problemas en el sistema inmunológico al reducir la cantidad de plaquetas y glóbulos blancos, respectivamente. Además, los estudios han confirmado que algunos HAP pueden causar cáncer en animales de laboratorio e incluyendo en seres humanos, como el benzopireno, que está catalogado como carcinógeno humano (Grupo 1) por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), (AESAN, 2022).

Los metales se encuentran asociados a las diferentes etapas de la industria petrolera, desde la exploración, producción, industrialización, almacenamiento, transporte y comercialización la contaminación puede ser mediante sólidos, líquidos y gaseosos como resultado de los ripsos y lixiviados de los lodos provenientes de los aditivos del lodo en la fase de perforación y; se encuentran compuestos de varios metales, como lo menciona (RAOHE, 2001).

- Cadmio (Cd): Es un metal pesado, raro y tóxico, y aunque puede ser un elemento químico fundamental, se necesita en cantidades muy pequeñas. El cadmio se localiza principalmente en la corteza terrestre y también se encuentra en la industria como un subproducto inevitable en la extracción de zinc, plomo y cobre.

El cuerpo humano absorbe el cadmio principalmente por medio de los alimentos. Los alimentos abundantes en cadmio pueden aumentar significativamente la concentración de cadmio en el cuerpo humano; ejemplos: paté, champiñones, crustáceos, almejas, cacao y algas secas. Niveles significativamente más altos de exposición ocurren cuando las personas fuman. La mitad del cadmio se libera en los ríos mediante de la descomposición de las rocas y una parte se libera al aire a través de incendios forestales y volcanes. Otra parte del cadmio es producido por actividades humanas como la fabricación de materias primas y en la industria petrolera por descargas y/o derrames. Este puede estar presente en las actividades hidrocarburíferas y puede entrar en contacto con el suelo por accidentes o roturas de las tuberías que causan derrames contaminándolo.

La mayoría de las aguas residuales industriales que contienen cadmio terminan en el suelo. Ejemplos de estos flujos de desechos incluyen zinc, minerales de fosfato e industrias biológicas del estiércol. El cadmio en la corriente de desechos también puede entrar al aire a través de la quema de desechos municipales y combustibles fósiles (Químicaes, 1997).

- **Níquel (Ni):** El níquel es un metal brillante y dorado que constituye el 0,008% de la corteza terrestre. Es un material maleable por lo que se puede laminar, pulir y forjar de manera fácil. El níquel muestra una tolerable resistencia a la fusión en caliente a 1455 °C y es magnético a temperatura ambiente, aunque no tan fuerte como el hierro. Además, el níquel es un mineral que se encuentra en porciones muy pequeñas en el organismo humano, e incluso en pequeñas cantidades es esencial para el desarrollo de la vida (Rodríguez, 2020). Las centrales eléctricas y los incineradores de desechos liberan níquel al aire. Luego de reaccionar con las gotas de lluvia, cae al suelo. Por lo general, lleva mucho tiempo eliminar el níquel del aire. Cuando el níquel se convierte en parte de las aguas residuales, también puede terminar en la superficie del agua. La mayoría de los compuestos de níquel que ingresan al medio ambiente serán absorbidos e inmovilizados por sedimentos o partículas del suelo. En suelos ácidos, el níquel se vuelve más móvil y, a menudo, termina en las aguas subterráneas (Lenntech, 1998).
- **Plomo (Pb):** El plomo es un metal de bajo punto de fusión, que se haya de manera natural en la corteza terrestre. No obstante, rara vez se encuentra en la naturaleza como metal. Comúnmente, se encuentra en una mezcla con dos o más elementos

para formar compuestos de plomo. El plomo se localiza naturalmente en el medio ambiente. Pero la mayoría de los altos niveles que se hallan en el medio ambiente son causados por la actividad humana. La actividad humana ha aumentado los niveles de plomo en el medio ambiente más de 1000 veces en los últimos tres siglos.

El plomo puede ingresar al medio ambiente mediante las minas y fábricas de plomo y otros metales que producen o utilizan plomo, aleaciones de plomo o compuestos de plomo. El plomo se libera al aire al quemar carbón, petróleo o basura. Cuando el plomo cae al suelo, se consolida firmemente a las partículas del suelo y se mantiene en la capa superior del suelo. Esta es la razón por la que el uso de plomo en el pasado, como en la gasolina, la pintura y los pesticidas con plomo, ha tenido un impacto tan significativo en los niveles de plomo en el suelo. Pequeñas medidas de plomo ingresan a los ríos, lagos y arroyos cuando el agua de lluvia mueve las partículas del suelo (ATSDR, 2016).

1.4.3 Métodos de muestreo

Los métodos de muestreo de la Tabla 2 sirven para caracterizar y determinar las concentraciones de los compuestos primordiales y contaminantes que pueden estar presentes en los hidrocarburos, como sus derivados y metales que están presentes en las actividades hidrocarburíferas.

A continuación, se describen técnicas utilizadas para caracterizar los parámetros descritos anteriormente:

- ✓ Cromatografía de gases

La cromatografía de gases (GC) es una técnica analítica empleada para la separación y los estudios de compuestos volátiles y semi-volátiles de mezclas. GC es un método analítico público que combina un excelente potencial de resolución con velocidad y sensibilidad. Ampliamente utilizado para determinación de petróleo, en la industria química, suministros sólidos y líquidos, droguera y otras industrias.

Al igual que otras formas de cromatografía, GC incluye fases estacionarias y móviles. En GC, la fase móvil es un gas inerte, generalmente helio o nitrógeno, y la fase estacionaria es un adsorbente sólido, llamado cromatografía gas-sólido (GSC), o un líquido adsorbido en un soporte inerte. conocida como cromatografía gas-líquido (GLC o simplemente GC) (Sigmaaldrich, 2022).

- ✓ Espectroscopía de absorción atómica

La espectroscopia de absorción atómica es una técnica utilizada para establecer la concentración de un elemento metálico específico en un prototipo y en la Tabla 2 del RAOHE es utilizado para medir los límites de Cadmio, Níquel y Plomo.

Se puede utilizar para examinar la concentración de más de 62 metales disímiles en solución. Los electrones de un átomo en un atomizador se alcanzan a mover instantáneamente a una órbita más alta al absorber una pequeña cantidad de energía (es decir, luz de cierta longitud de onda). Esta cantidad de energía (o longitud de onda) es específica de la transición de electrones en un elemento en particular y, por lo general, cada longitud de onda pertenece a un elemento. Como se conoce la energía puesta en la llama y se puede medir la energía que queda en el otro lado (en el detector), se puede llegar a calcular cuántas de estas transiciones han ocurrido utilizando la ley de Beer-Lambert., para alcanzar una señal proporcional a la concentración del elemento medido, (Pérez, 2020).

1.4.4 Normativas Vigentes en el Ecuador

Las siguientes Normas se encuentran vigentes en relación a suelos contaminados por hidrocarburos, las cuales caracterizan y miden sus parámetros:

- *“Calidad del suelo. Determinación de algunos clorofenoles seleccionados. Método de cromatografía de gases con detector de captura electrónica (ISO 14154:2005, IDT)”*, NTE INEN-ISO 14154; última revisión 2014.
- *“Calidad del suelo. Muestreo. Parte 7: líneas directrices para el muestreo del gas del suelo (ISO 10381-7:2005, IDT)”*, NTE INEN-ISO 10381-7; última revisión 2014.
- *“Productos derivados del petróleo. Determinación del tipo de hidrocarburos mediante el indicador de adsorción fluorescente (FIA) a temperaturas elevadas”*, NTE INEN 2146; del año 2013.
- *“Código de prácticas para reducir la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en los alimentos producidos por procedimientos de ahumado y secado directo (CODEX CAC/RCP 68:2009, IDT)”* CPE INEN-CPDEX CAC/RCP 68; del año 2013.
- *“Productos petrolíferos líquidos. Determinación de los grupos de hidrocarburos y del contenido de compuestos oxigenados de la gasolina. Método de cromatografía multidimensional en fase gaseosa (ISO 22854:2008, IDT)”* NTE INEN-ISO 22854; vigente desde 2014.

- *“Calidad del suelo. Pretratamiento de muestras para la determinación de contaminantes orgánicos (ISO 14507:2003, IDT)”*, NTE INEN-ISO 14507; vigente desde 2014.
- *“Calidad del agua. Determinación de cadmio por espectrometría de absorción atómica, (IDT). Número de referencia ISO 5961:1994”*, NTE INEN-SO 5961; vigente desde 2013
- *“Productos Petrolíferos. Determinación del contenido de vanadio y de níquel. Espectrometría por Fluorescencia de rayos x de longitud de onda dispersiva (ISO 14597:1997, IDT)”*, NTE INEN -ISO 14597; vigente desde 2014
- *“Productos petrolíferos. Determinación del contenido de plomo en gasolina. Método del monocloruro de yodo (ISO 3830:1993, IDT)”*, NTE INEN-ISO 3830; vigente desde 2014

(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2023)

1.5 Países Vecinos y sus legislaciones

Con la finalidad de realizar la propuesta de una Tabla con Parámetros y sus Límites Permisibles para caracterizar los suelos contaminados por las actividades hidrocarburíferas, se analizan las normativas ambientales de varios países que realizan actividades de extracción, producción y comercialización de petróleo.

1.5.1 México

En México, su primera Ley del Petróleo fue expedida en 1901, la que permitió al presidente de la República otorgar permisos a individuos naturales y jurídicos (tanto nacionales como extranjeras) para el uso de tierras de propiedad estatal.

Se toma en cuenta que desde aquella fecha ya en este país existían trabajo de exploración y explotación del recurso no renovable (BARDAHL, 2020).

A su vez esta ley anuncia la separación de todo Impuesto y precio de productos naturales refinados o procesados de importación única libre de impuestos de equipos necesarios para la industria.

Dentro de esta ley se da el derecho al descubridor de petróleo o hidrocarburos tiene una reputación de Exportación libre de impuestos, productos naturales, refinado o procesado desde su origen; importado gratis, derechos y concurrentes instalaciones para la refinación de petróleo o hidrocarburos gaseosos y procesamiento de diversos productos en base al

crudo, oleoductos y accesorios requeridos por estas industrias (Barrios, 1997). México tuvo un gran auge en la producción petrolera entre 1911 y 1921, que lo llevó a ser uno de los mayores exportadores de crudo de la época, y llegó a un pico de una producción de 46% de producción total en el año 1938.

Considerando estos antecedentes, fue para el año de 1971 donde se decreta la Primera Ley Ambiental en México, denominada “Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación” (Lara, 2019).

1.5.2 Perú

En Perú la historia de la explotación petrolera se remonta al año 1863, ubicado exactamente en la localidad llamada Zorritos, el cual ha sido considerado el primer pozo petrolero en el país y el pionero en Sudamérica, como resultado de afloramientos de gas y petróleo. Pero fue hasta 1948 que la industria petrolera se nacionalizó y fue estatal en 1948 al instaurar la Empresa Petrolera Fiscal (EPF) con la finalidad de tener actividades de exploración y explotación de petróleos.

En 1969 se decretó la primera Ley 17753 donde se creó Petróleos del Perú S.A., Petroperú S.A. empresa que asumirá la responsabilidad de explorar, explotar, refinar, comercializar y desarrollar la industria petrolera y derivados en el país (Bolaños, 2017).

Teniendo la historia de Perú con el petróleo, fue hasta 1990 donde se decretó la naciente norma ambiental que fue “Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (CMARN)” la cual fue aprobada por Decreto Legislativo 613 (LP, 2022).

1.5.3 Brasil

Para este país las primeras concesiones petroleras empezaron la explotación en 1858, pero comenzó a ser una actividad de organismos públicos, es decir del Servicio Geológico y Minerológico en 1907, y que a medida que seguía creciendo la industria, luego pasó a manos del Departamento Nacional de Productos Minerales en 1933, y así de a poco adoptando legislaciones con respecto a su explotación y regularizaciones (Witt, 2009).

Fue para el año de 1965 cuando se implementó la primera legislación ambiental en el “Código Forestal, en la Ley N°4.771; (AMBIPAR COMPLIANCE SOLUTIONS, 2022).

1.5.4 Argentina

En Argentina el proceso de la explotación empezó con la perforación del primer pozo de Comodoro Rivadavia en 1907, y la cual estuvo a cargo de la División Minas, Geología e

Hidrología del Ministerio de Agricultura de la Nación Argentina, y para ese entonces no existía ninguna legislación específica y estaba bajo el Código de Minería del año 1886, (Goy, 2015).

A medida que ha evolucionado la industria petrolera, Argentina ha adoptado diferentes legislaciones ambientales, y su primera fue expedida en 1891 en la “Ley Nacional N° 2.797”; que hablaba de la “*Purificación de residuos cloacales e industriales que se arrojan a los ríos*” (Nonna, Dentone, & Waitzman, 2011).

1.5.5 Estados Unidos

La historia con el petróleo de Estados Unidos remonta a los al año de 1859 cuando se perforó el primer pozo en Pensilvania, y usando la tecnología de la época se produjo el queroseno que tuvo gran auge como combustible limpio y económico para alumbrar los hogares, para la época no se consideraba ningún tipo de ley ambiental.

La demanda creció exponencialmente con la invención del automóvil que utilizaba un subproducto derivado del queroseno que es la gasolina.

En 1970 el gobierno de Estados Unidos publicó “The National Environmental Policy Act” (NEPA) con el propósito de declarar una política nacional ambiental, promover esfuerzos de mitigación de daños ambientales entre otros (Leyton, 2010).

Y fue hasta el año de 1979 que el Congreso propuso la creación de creó de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y 1986 con las enmiendas de “la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos” se dio control total a la EPA para fiscalizar la contaminación estableciendo estándares de calidad (Thompson, 2011).

2. METODOLOGÍA

En el trabajo se manejó la técnica de recolección de información para realizar un análisis documental.

Se ha recopilado las normativas que regulan varios países vecinos, teniendo en cuenta que las circunstancias políticas cambian dependiendo del país.

Se describió cada uno de los parámetros que el reglamento del Ecuador tiene, con sus respectivos métodos que se utilizan para cumplir los límites de contaminación de suelos por hidrocarburos.

La propuesta de trabajo para cumplir con los objetivos del TIC, fueron:

- Recopilación de datos bibliográficos
- Selección y análisis de información relevante
- Interpretación y propuesta de tabla de límites permisibles.

Además, se expuso una breve descripción de cada país y su historia con el petróleo y sus legislaciones con respecto a la protección del ambiente.

2.1 Legislación Ambiental en el Ecuador

La legislación Ambiental en Ecuador se remonta a la promulgación de la Constitución Política de la República del Ecuador en el año de 1998, que reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y libre de contaminación. La Ley de Gestión Ambiental (Ley No. 37) se promulgó el 30 de julio de 1999 y se convirtió en el cuerpo legal más relevante relacionado con la protección ambiental en Ecuador para preservar y garantizar el desarrollo sustentable del medio ambiente.

La Ley de Gestión Ambiental establece una base legal sólida para la *“prevención, control y sanción de actividades contaminantes que afecten los recursos naturales”*. También define las pautas de la política ambiental del país, las obligaciones y niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental, y establece límites permisibles, controles y sanciones en este ámbito. Esta ley ratificó al Ministerio del Ambiente como la autoridad nacional en asuntos ambientales e instituyó un marco general para el desarrollo y aprobación de normativas ambientales, en línea con los principios de desarrollo sustentable establecidos en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Uno de los aspectos clave de la Ley de Gestión Ambiental es la creación del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental, que coordina la interacción y participación entre

diferentes entornos, sistemas y subsistemas de administración ambiental y de gestión de recursos naturales. La ley también insta que obras públicas, privadas o mixtas y proyectos de inversión que pueden causar impactos ambientales deben ser idóneas previamente por organismos de control, según el Sistema Único de Manejo Ambiental.

Otro componente importante es la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, que busca controlar y prevenir la contaminación del agua, aire y suelo. Aunque algunas de sus disposiciones fueron derogadas por la Ley de Gestión Ambiental, esta ley sigue siendo relevante en la lucha contra la contaminación. Sin embargo, su eficacia fue cuestionada debido a limitaciones temporales y falta de funcionamiento de órganos como el Comité Interinstitucional de Protección Ambiental.

Para fortalecer la implementación de estas leyes, Ecuador publicó el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) en 2003. Este texto unifica las normativas secundarias ambientales, facilitando el acceso a la normativa requerida para los ciudadanos. Cubre una amplia gama de temas, desde gestión hasta calidad del aire y manejo ambiental de desechos.

Uno de los elementos centrales del TULSMA es el Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA), que coordina y agiliza la evaluación de impacto ambiental y los procesos de licencias ambientales. El SUMA se preside por principios de mejora, agilidad, eficacia y eficiencia, y busca garantizar la coordinación institucional en la toma de decisiones relacionadas con proyectos con potencial impacto ambiental.

En general, la legislación ambiental en Ecuador ha progresado significativamente en las últimas décadas. Sin embargo, aún quedan desafíos importantes que deben abordarse, como la contaminación del aire y el agua, la gestión de residuos y la conservación de la biodiversidad.

De igual manera como el Ecuador, varios países tuvieron la iniciativa de implementar legislaciones, cuerpos normativos y reglamentaciones que protejan, velen, garanticen, regulen y sancionen las actividades humanas que se hagan al aire libre en relación con la naturaleza y todos sus componentes desde su flora, fauna, suelo, aire y agua (Ponce, 2016).

2.2 Reseña Histórica del INEN en el Ecuador

El Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) es una entidad pública del Ecuador que opera de manera técnica, administrativa, operativa y financiera.

La creación del INEN fue en 1970 mediante el Decreto Supremo No. 357 emitida por el Dr. José María Velasco, con el fin de manifestar normas técnicas para caracterizar materiales,

productos intermedios y terminados que se comercialicen en el país; incluyendo a su vez métodos de ensayo, inspección, medidas y calificación de materiales o productos.

Esta entidad se encarga de elaborar y/o adoptar documentos normativos, reglamentos técnicos que alcancen objetivos de calidad y confianza de productos establecidos en la Organización Mundial del Comercio.

Un hito relevante fue en 2016 que INEN pasó a ser parte del Consejo Directivo de la Organización Internacional de Normalización (ISO) que fortaleció los estándares de calidad con normativas internacionales en varios ámbitos.

Estos altos estándares de calidad que tiene el país permiten que la producción nacional de todos sus productos y servicios sea competitiva y demandada dentro del territorio ecuatoriano y a nivel internacional (Gobierno del Ecuador, 2023).

2.3 Historia de Legislación Ambiental Internacional

La historia de la legislación Ambiental internacional inicia con la política implementada en Estados Unidos para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) fue en 1960, para los años de 1969 es creada la Ley Política Ambiental Nacional de Estados Unidos (NEPA) la cual exige una evaluación de proyectos federales que afectan la calidad de la naturaleza. La historia sigue en 1972 en donde la ONU hizo la Declaración de Estocolmo diseñando 29 principios relativos al medio ambiente.

Este fue el punto de inflexión más grande ya que a partir de ello entre 1973 a 1983 países como: Canadá, Australia, Alemania, Francia, Brasil, Costa Rica, entre otros van implementando sus respectivas normativas ambientales. Seguido en 1984 el Banco Mundial también interviene, empezando a promover la evaluación del impacto ambiental en sus políticas en etapas iniciales de proyectos ambientales; cuya identidad tuvo un gran papel en 1989 que establece una Directiva Operaciones (OD) con la cual busca implementar métodos y procedimientos para la EIA (International Institute for Sustainable Development, 2023).

Finalmente, como acontecimiento relevante fue la cumbre de Río de Janeiro en 1992 donde se desarrolló un nuevo plan para acciones internacionales acerca del medio ambiente con un objetivo de un desarrollo sostenible y sustentable de los recursos desde niveles locales, nacionales, regionales e internaciones desarrollando varios convenios, declaraciones y principios que deben cumplirse (Tzovaras, 1992).

2.4 Normativas Ambientales de países Vecinos

2.4.1 México

En México, su primera legislación ambiental data del año 1971, pero para el 2002 México empezó a integrar tablas de límites permisibles de contaminantes de suelo, como la Tabla 3 que se encuentra en la NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, con su modificación en el año 2022; que tiene como fin establecer los límites máximos permisibles de los hidrocarburos en suelos y los lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación (SEGOB, 2013).

2.4.2 Perú

Perú se rige por la Norma Legal expedido en el año 2013, que se encuentra dentro de la Ley N ° 285611, el Decreto Legislativo N°1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones de Ministerio del Ambiente y el artículo 118° de la Constitución Política del Perú.

En esta Ley se decretan varios artículos, entre ellos los de relevancia, (MINAM, 2013).:

- ✓ Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo
- ✓ Instrumentos de Gestión Ambiental y el ECA para Suelo
- ✓ Aplicación del ECA para Suelo para proyectos nuevos
- ✓ Planes de Descontaminación de Suelos (PDS)
- ✓ Planes de Descontaminación de Suelos (PDS) derivados de actividades extractivas, productivas o de servicios.

Cuyos parámetros se describen en la Tabla 4.

Tabla 3 Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación de México

HIDROCARBUROS ESPECÍFICOS	USO DE SUELO PREDOMINANTE (MG/KG BASE SECA)			MÉTODO ANALÍTICO
	Agrícola, forestal, pecuario y de conservación	Residencial y recreativo	Industrial y comercial	
Benceno	6	6	16	NMX-AA-141-SCFI-2007
Tolueno	40	40	100	NMX-AA-141-SCFI-2007
Etilbenceno	10	10	25	NMX-AA-141-SCFI-2007
XilenoS (suma de isómeros)	40	40	100	NMX-AA-141-SCFI-2007
Benzo(a) pireno	2	2	10	NMX-AA-141-SCFI-2007
Dibenzo (a,h) antraceno	2	2	10	NMX-AA-146-SCFI-2008
Benzo(a) antraceno	2	2	10	NMX-AA-146-SCFI-2008
Indeno (1, 2, 3-cd) pireno	2	2	10	NMX-AA-146-SCFI-2008

Fuente: Normativa Ambiental de México, 2012

Elaborado por: Morales, 2023

Tabla 4 Estándares de Calidad Ambiental para Suelo de Perú

Parámetros	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos	Método de ensayo
ORGÁNICOS				
Benceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
Tolueno (mg/kG MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B EPA 8021-B
Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B
Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
Fracción de hidrocarburos F1	200	200	500	EPA 8015-B

Fracción de hidrocarburos F2	1 200	1 200	5 000	EPA 8015-M
Bifenilos ploriclorados-PCB (mg/kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D
Aldrin (mg/kg MS)	2	4	10	EPA 8270-D
Endrin (mg/kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
DDT (mg/kg MS)	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
Heptacloro (mg/kg MS)	0,1	0,01	0,01	EPA 8270-D
INORGÁNICOS				
Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
Arsénico total (mg/kg MS)	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
Bario total (mg/kg MS)	750	500	2 000	EPA 3050-B EPA 3051
Cadmio total (mg/kg MS)	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
Mercurio total (mg/kg MS)	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
Plomo total (mg/kg MS)	70	140	1 200	EPA 3050-B EPA 3051

FUENTE: MINAM, 2013

Elaborado: Morales, 2023

2.4.3 Brasil

El Ministerio del Medio Ambiente por medio del Consejo Nacional del Ambiente tuvo su Resolución N°420 en 2009 para proporcionar criterios y valores orientados para la calidad del suelo en cuanto a la existencia de sustancias de productos químicos y establecer lineamientos para el manejo del ambiente de áreas contaminadas como resultado de actividades humanas, donde se detalla en la Tabla 5.

Dentro de la Resolución se delegan agencias ambientales que deben regirse a la Tabla, para evaluar los riesgos ecológicos. También es base para la evaluación de riesgos para la salud humana, dependiendo de las exposiciones y estándares para diferentes usos y ocupaciones del suelo, y en este caso para actividades hidrocarburíferas, (Ministerio del Medio Ambiente de Brasil, 2009).

Tabla 5 Listado de Valores guía para Suelos y Aguas Subterráneas de Brasil

Sustancia	CAS n°	Suelo (mg.kg-1 de peso seco)			
		Referencia de calidad Prevención	Referente Agrícola APMax	Residencial	Industrial
INORGANICOS					
Aluminio	7429-90-5	E -	-	-	-
Antimonio	7440-36-0	E 2	5	10	25
Arsénico	7440-38-2	E 15	35	55	150
Bario	7440-39-3	E 150	300	500	750
Boro	7440-42-8	E -	-	-	-
Cadmio	7440-48-4	E 1,3	3	8	20
Plomo	7440-43-9	E 72	180	300	900
Cobalto	7439-92-1	E 25	35	65	90
Cobre	7440-50-8	E 60	200	400	600
Cromo	7440-47-3	E 75	150	300	400
Hierro	7439-89-6	E -	-	-	-
Manganeso	7439-96-5	E -	-	-	-
Mercurio	7439-97-6	E 0,5	12	36	70
Molibdeno	7439-98-7	E 30	50	100	120
Niquel	7440-02-0	E 30	70	100	130
Nitrato(como N)	707-55-08	E -	-	-	-
Plata	7440-22-4	E 2	25	50	100
Selenio	7782-49-2	E 5	-	-	-
Vanadio	7440--2-2	E -	-	-	1000
Zinc	7440-66-6	E 300	450	1.000	2.000
Hidrocarburos aromáticos volátiles					
Benceno	71-43-2	na 0,03	0,06	0,08	0,15
Estireno	100-42-5	na 0,2	15	35	80
Etilbencina	100-41-4	na 6,2	35	40	95
Tolueno	108-88-3	na 0,14	30	30	75
Xilenos	1330-20-7	na 0,13	25	30	70
Hidrocarburos aromáticos policíclicos					
Antraceno	2020--12-7	na 0,039	-	-	-
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na 0,025	9	20	65
Benzo(k)fluranteno	207-06-9	na 0,38	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na 0,57	-	-	-

Benzo(a)pireno	50-32-8	na 0,052	0,4	1,5	3,5
Fenantreno	85-01-8	na 3,3	15	40	95
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	na 0,031	2	25	130
Naftalina	91-20-3	na 0,12	30	60	90
Bencenos clorados					
Clorobenceno(mono)	108-90-7	na 0,41	40	45	120
1,2-diclorobenceno	95-50-1	na 0,73	150	200	400
1,3-diclorobenceno	541-73-1	na 0,39	-	-	-
1,4-diclorobenceno	106-46-7	na 0,39	50	70	150
1,2,3-triclorobenceno	87-61-6	na 0,01	5	15	35
1,2,4-triclorobenceno	120-82-1	na 0,011	7	20	40
1,3,5-triclorobenceno	108-70-3	na 0,5	-	-	-
1,2,3,4-tetraclorobenceno	634-66-2	na 0,16	-	-	-
1,2,3,5-tetraclorobenceno	634-90-2	na 0,01	-	-	-
1,2,4,5-tetraclorobenceno	95-94-3	na 0,01	-	-	-
Hexaclorobenceno	118-74-1	na 0,003(3)	0,005	0,1	1
Etanos clorados					
1,1dicloroetano	75-34-2	na -	8,5	20	25
1,2-dicloroetano	107-06-2	na 0,075	0,15	0,25	0,50
1,1,1-tricloroetano	71-55-6	na -	11	11	25
Etenos clorados					
Cloruro de vinilo	75-01-4	na 0,003	0,005	0,003	0,008
1,1-dicloroetano	74-35-4	na -	5	3	8
Fenoles no clorados					
Cresoles	-	na 0,16	6	14	19
Fenol	108-95-2	na 0,20	5	10	15
Ésteres ftálicos					
Ftalato de dietilexio(DEHP)	117-81-7	na 0,6	1,2	4	10
Ftalato de dimetilo	13-11-3	na 0,25	0,5	1,6	3
Ftalato de di-n-butilo	84-74-2	na 0,7	-	-	-
Pesticidas organoclorados					
Aldrin	309-00-2	na 0,015	0,003	0,01	0,03
Dieldrin	60-57-1	na 0,043	0,2	0,6	1,3
Endrin	72-20-8	na 0,001	0,4	1,5	2,5
DDT	50-29-3	na 0,010	0,55	2	5
DDD	72-54-8	na 0,013	0,8	3	7
DDE	72-55-9	na 0,021	0,3	1	3

HCH beta	319-95-7	na 0,011	0,03	0,1	5
HCH -gama-(lindano)	58-89-9	na 0,001	0,02	0,07	1,5
PCBs					
TOTAL	-	na 0,0003(3)	0,01	0,03	0,12

Fuente: Ministerio del Ambiente de Brasil, 2009

Elaborado y Modificado por: Morales, 2023

2.4.4 Argentina

Las políticas adaptadas por Argentina en cuestión ambiental comenzaron en 1990, y para 1993 se expidió la “Ley 24.051 de Residuos Peligrosos y Decreto 831/93”, que el Gobierno Nacional reglamentó, con el fin de evitar desechos que afecten a las personas y al ambiente en general, por actividades de varias industrias, y una de ellas la hidrocarbúrfica; y se observan sus límites en la Tabla 6 (Poder Ejecutivo Argentino, 1993).

Tabla 6 Límites permisibles de suelos contaminados en Argentina

CONSTITUYENTE PELIGROSO	CAS	Uso agrícola	Uso residencial	Uso Industrial	Ref
Benceno	71-43-2	0.05	0.05	510	J
Benz o(A) antraceno	56-55-3	0.1	1	10	J
Benz o(A) pireno	50-32-8	0.1	1	10	J
Benz o(B) fluoranteno	205-99-2	0.1	1	10	J
Benz o(k) fluorantano	207-08-9	0.1	1	10	J
Dibenz o(A,H)antraceno	95-50-1	0.1	1	10	J
Etilbenceno	100-41-4	0.1	5	50	J
Fenantreno	85-01-8	0.1	1	10	J
Indeno(1,2,3-CD)pireno	193-39-5	0.1	1	10	J
Naftaleno	91-20-3	0.1	5	50	J
Pireno	129-00-0	0.1	10	100	J
Tolueno	108-89-3	0.1	3	30	J
Xilenos(totales)	1330-20-7	0.1	5	50	J

Fuente: Norma Ambiental de Argentina, 1993

Elaborado: Morales, 2023

2.4.5 Estados Unidos

La Política que tiene Estados Unidos con respecto a la contaminación de Suelos con Petróleo, tiene como objetivo brindar orientación del manejo, eliminación y/o reutilización de suelos contaminados por hidrocarburos. A su vez es una guía para

los investigadores de las regiones del país que analizan los derrames para determinar la aceptabilidad de una evaluación del sitio.

Dentro de esta Política se encuentra la Tabla 7 que detalla los límites permisibles de suelos contaminados por hidrocarburos en territorio estadounidense, (Department of Environmental Conservation New York State, 2010).

Tabla 7 Límites permisibles de suelos contaminados por hidrocarburos, Estados Unidos

Compuesto	Método EPA	Límite de detección (1) (ppb)		Valor guía de extracción de TCLP (2)	Valor guía alternativo de TCLP Ca (ppb)	Valor guía de salud humana Ch (ppb)
		Líquido	Sólido	C w (ppb)		
Benceno	8021 (8020)	1	2	0.7	14	$2,4 \times 10^4$
Etilbencina	8021 (8020)	1	2	5	100	$8,0 \times 10^6$
tolueno	8021 (8020)	1	2	5	100	$2,0 \times 10^7$
o-xileno	8021 (8020)	2	2	5	100	$2,0 \times 10^8$
m-xileno	8021 (8020)	2	2	5	100	$2,0 \times 10^8$
p-xileno	8021 (8020)	2	2	5	100	***
Xilenos mixtos	8021 (8020)	2	2	5	100	$2,0 \times 10^8$
isopropilbenceno	8021	1	1	5	100	***
n-propilbenceno	8021	1	1	5	100	***
p-isopropiltolueno	8021	1	1	5	100	***
1,2,4-trimetilbenceno	8021	1	1	5	100	***
1,3,5-trimetilbenceno	8021	1	1	5	100	***
n-butilbenceno	8021	1	1	5	100	***
sec-butilbenceno	8021	1	1	5	100	***
Naftalina	8021	1	1	10	200	$3,0 \times 10^5$
Metil t-butil éter (MTBE) (3)	8021 (8020)	1	1	50	1,000	***

Fuente: Políticas de Suelos Contaminados en Estados Unidos, 2010

Elaborado: Morales, 2023

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Luego del análisis comparativo de las normativas ambientales de los países analizados, se elaboró la Tabla 8 Comparativa indicando todos los parámetros que son considerados en cada país, para garantizar la calidad del suelo durante todas las actividades dentro de la industria petrolera.

Tabla 8 Tabla comparativa de parámetros de cada país

Parámetro	País					
	Ecuador	Perú	México	Argentina	Brasil	Estados Unidos
Hidrocarburos totales	X		X		X	
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	X				X	
Aluminio					X	
Cadmio	X	X			X	
Niquel	X				X	
Plomo	X	X			X	
Benceno		X	X	X	X	X
Tolueno		X	X	X	X	X
Etilbenceno		X	X	X	X	X
Xilenos		X	X	X	X	X
Benzo			X	X	X	
Dibenzo			X	X		
Indeno (1,2,3 -cd) pireno			X	X	X	
Criseno			X			
Naftaleno		X		X	X	X
Aldrin		X			X	
Endrin		X			X	
DDT		X			X	
Heptacoloro		X				
Fenol					X	
Cianuro		X				
Arsénico		X			X	
Bario		X			X	
Cromo		X			X	
Mercurio		X			X	
Fenantreno			X		X	
Pireno				X		

Elaborado: Morales, 2023

Observando la Tabla 8, se puede concluir que el país que tiene mayor tipo de exigencias es Brasil, siendo este el que demanda mayor número de parámetros más detallados a comparación de los otros países. De acuerdo a su historia con la legislación ambiental, Brasil ha sido uno de los países que desde 1965 se encuentra regulando actividades que contaminen el medio ambiente, por lo que es más exigente con respecto a la contaminación ambiental por la industria petrolera.

Para un mejor análisis, se detalla cuáles son los límites y exigencias en cada país con los parámetros que se repiten realizando un promedio de los diferentes usos (agrícola, residencial e industrial); ver la Tabla 9.

Tabla 9 Tabla comparativa promedia de parámetros similares de los países

Parámetro \ País	Ecuador	Perú	México	Argentina	Brasil	Estados Unidos
Hidrocarburos totales (mg/kg)	< 1300		1333.33		800	
Hidrocarburos aromáticos policíclicos(mg/kg)	< 2.67				4.8	
Cadmio (mg/kg)	< 4.33	11.13			17.67	
Niquel (mg/kg)	< 63.33				100	
Plomo (mg/kg)	< 266.67	470			780	
Benceno (mg/kg)		3	9	5	3	7
Tolueno (mg/kg)		37	60	30	85	52.5
Etilbenceno (mg/kg)		8.2	15	18	56.67	52.5
Xilenos (mg/kg)		11	60	18	58.33	52.5

Elaborado: Morales, 2023

De acuerdo a la Tabla 9 se puede inferir que los países con mayores exigencias están entre Perú y Argentina, teniendo estos los parámetros más bajos en los promedios realizados en cada uno de los parámetros y para cada país; es decir, se tienen límites permisibles más estrictos.

Para cada parámetro se determina las Normas con las cuales son medidos de acuerdo al INEN; ver la Tabla 10.

Tabla 10 Parámetro con su respectiva Norma INEN

Parámetro	Norma INEN
Hidrocarburos totales	INEN-ISO 22854; INEN 2146
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	INEN-CPDEX CAC/RCP 68
Cadmio	INEN-ISO 5961
Níquel	INEN – ISO 14597
Plomo	INEN-ISO 3830
Benceno	INEN-ISO 22854 INEN 2146
Tolueno	INEN-ISO 22854; INEN 2146
Etilbenceno	INEN-CPDEX CAC/RCP 68
Xilenos	INEN-ISO 22854; INEN 2146

Fuente: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2023

Elaborada por: Morales, 2023

La tabla que se recomienda para anexarla al Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH), a partir de la pertinencia y las normativas que permiten determinar cada parámetro y sus límites, y con las comparaciones de normativas de países vecinos, se propone la Tabla 11 para Anexarla al Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH).

Tabla 11 Tabla Propuesta de Límites Permisibles de Contaminantes de suelo

Parámetro	Unidad	Uso agrícola	Uso Industrial	Ecosistemas Sensibles
Hidrocarburos totales	mg/kg	2000-2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	mg/kg	<2	<5	<1
Cadmio	mg/kg	1.3-1.7	10--20	<1
Níquel	mg/kg	<50	100-130	<40
Plomo	mg/kg	<100	<500	<80
Benceno	mg/kg	5--6	10--15	<5

Tolueno	mg/kg	30-40	30-40	<30
Etilbenceno	mg/kg	<10	10--25	<10
Xilenos	mg/kg	40-60	60-100	<40
Naftaleno	mg/kg	1--5	50-90	<1

Elaborada por: Morales, 2023

1.6 Conclusiones

1. La comparación del Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas del año 2001 y del Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del año 2020, muestra claramente el vacío de la normativa con respecto a los anexos de Tablas de Límites Permisibles de suelos contaminados por hidrocarburos. Desde el 2020, hasta la actualidad, las autoridades no han anexado dichas normas técnicas, por lo que, se sigue utilizando la normativa de 2001, en lo referente a los límites permisibles para el muestreo y determinación de los parámetros de la Tabla 1 y Tabla 2.
2. El análisis de normativas ambientales de otros países permitió reconocer las exigencias de las leyes y cuan rigurosas son con respecto a los parámetros para establecer la contaminación de suelos.

El análisis y comparación llevó a la conclusión de entre los 6 países de estudio, Ecuador es el único país que solo tiene 5 parámetros, y no desglosa los hidrocarburos totales ni los hidrocarburos aromáticos policíclicos, y solo los examina de manera general; sin considerar que cada uno debería tener límites específicos.

3. Perú y Brasil desglosan cada uno de los hidrocarburos detallando sustancias orgánicas e inorgánicas. En especial Brasil desglosa cada clasificación con límites rígidos en cada parámetro de acuerdo a la Tabla 8.
4. La Tabla 1 propuesta es el resultado de los análisis de leyes y normativas del Ecuador y los países de estudio. Se plantearon rangos en algunos parámetros para tener una condición más permisible, pero en otros parámetros se fue más estricto a comparación de las otras legislaciones, con el fin de que en el Ecuador se pueda mejorar los aspectos ambientales que en décadas pasadas afectaron a muchas comunidades, flora y fauna aledañas a las operaciones hidrocarburíferas en el Oriente Ecuatoriano.

1.7 Recomendaciones

Como se indica en el objetivo general y el alcance de este trabajo, se detallan algunos mecanismos de remediación que algunos países se encuentran elaborando en los suelos contaminados por hidrocarburos, empleando diferentes metodologías.

La remediación de los suelos puede incluir tratamientos: físicos, químicos y biológicos, además de consolidar que las remediaciones pueden dividirse entre in situ (excavando el terreno y tratándolo en el mismo lugar) y ex situ (se utiliza instalaciones aparte). El efecto neto puede también dividirse como (ONU, 2022):

- a) Reducción de la concentración
- b) Reducción de la biodisponibilidad sin reducir la concentración
- c) Encapsulación del suelo contaminado en una matriz inerte
- d) Contención
- e) Eliminación

Indistintamente de los contaminantes que pueda existir, lo primordial siempre será la prevención de la contaminación.

3.3.1 Medidas de Mitigación

En el caso de la contaminación de suelos por hidrocarburos, las mitigaciones pueden tener varias alternativas, como:

- Arrastre por aire

Tecnología aplicada para contaminante volátiles, que se lleva a cabo con la inyección de aire que empaquetan contaminantes, para luego destruir estos contaminantes con otros sistemas de tecnología y es empleado por su efectividad y bajo costo.

- Lavado de suelo

Proceso solo ex situ que se trata de construir pilas que son bañadas de solventes orgánicos para que los hidrocarburos se separen, pero su costo es elevado con los solventes y la separación y su riesgo de explosión es alto.

- Desorción térmica

Se ejecuta ex situ y es un proceso similar a la destilación, donde con un sistema de tornillo sinfín se emplea altas temperaturas para que los contaminantes se desorben, su coste es relativamente bajo y dependerá del tipo de suelo y los niveles de contaminación.

- Incineración

Tratamiento utilizado con la finalidad de la destrucción de residuos peligrosos, en especial los contaminantes orgánicos usando la mineralización para transformar en dióxido de carbono, cuyo proceso utiliza otro equipo para tener emisiones limpias.

- Biorremediación

Consiste en el uso de microorganismos como: hongos, bacterias, levaduras, entre otros; con el objetivo de descomponer las sustancias peligrosas en distintas menos o con cero tóxicos. Esta técnica es de muy bajo costo y con bajo riesgo del medio ambiente (Flores, 2004).

Tipos de Biorremediación:

- Bioventeo

Suministra aire al terreno contaminado para ayudar a que los organismos presentes biodegraden los hidrocarburos, para la selección de este método se debe considerar las particularidades físicas del suelo y profundidad de la contaminación.

- Bioestimulación

Sistema que busca llevar el agua subterránea a superficie por un pozo acondicionado para inyectar nutrientes, oxígeno y microorganismos. Al volver a inyectarla ayuda la estimulación de la degradación bacteriana y ayuda como lavado de suelo en especial para extensas zonas contaminadas.

- Landfarming

Técnica que consiste en excavar los suelos contaminados, seguido de extenderlos en áreas amplias y promover la actividad de microorganismos para degradar los hidrocarburos. Se suministra de aire periódicamente usando tractores o sistemas de aire comprimido.

- Biorreactor

Procedimiento en el cual se excava el suelo contaminado, el mismo que es introducido a un reactor donde se agrega nutrientes, agua y cultivos microbianos adecuado para degradación de contaminantes. Se espera hasta separa los sólidos por sedimentación y si ya ha sido descontaminado se regresa a lugar de origen.

- Fitorremediación

Técnica que usa plantas verdes y microorganismos para transformar los contaminantes del suelo. Esta técnica comprende de dos partes importantes: la descontaminación y su estabilización (Suarez, 2013).

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESAN, «Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición,» 2022. [En línea]. Obtenido de: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/haps.htm. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- AMBIPAR COMPLIANCE SOLUTIONS. (17 de Mayo de 2022). AMBITO. Obtenido de: <https://ambito.com.br/es/blog-espanol/principales-leyes-ambientales-brasilenas/#:~:text=La%20primera%20legislaci%C3%B3n%20ambiental%20fue,Le y%20n%C2%BA%204.771%2F1965>).
- ATSDR, «Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades,» 6 Mayo 2016. [En línea]. Obtenido de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html#:~:text=El%20plomo%20es%20u n%20metal,elementos%20formando%20compuestos%20de%20plomo.. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- ATSDR, «Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades,» 6 Mayo 2016. [En línea]. Obtenido de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html. [Último acceso: 10 Junio 2023].
- BARDAHL INDUSTRIA, 2020. [En línea]. Obtenido de: <https://www.bardahlindustria.com/historia-industria-petrolera-en-mexico/>. [Último acceso: Junio 2023].
- Barrios J. Z., «Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM,» 1997. [En línea]. Obtenido de: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/1/153/6.pdf> . [Último acceso: Junio].
- Bolaños R., «Reseña Histórica de la Exploración por Petróleo en las Cuencas Costeras del Perú,» Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, vol. 112, pp. 001-013, 2017.
- Carvajal L., Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.

- Department of Environmental Conservation New York State, Octubre 2010. [En línea]. Obtenido de: <https://www.dec.ny.gov/regulations/30902.html> . [Último acceso: Julio 2023].
- Flores M., MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA USO DE SUELOS CONTAMINADOS POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE TERRESTRE, Sanfandila: INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, 2004.
- Gobierno del Ecuador. (2023). Normalización. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/resena-historica/>
- Goy, J. M. «USAL UNIVERSIDAD DEL SALVADOR,» 16 Octubre 2015. [En línea]. Obtenido de: <https://racimo.usal.edu.ar/4743/1/P%C3%A1ginas%20desde500024273-Revalorizaci%C3%B3n%20de%20marca%20%28rebranding%29.pdf>. [Último acceso: Junio].
- Ingemecánica, «Hermenegildo Rodríguez Galbarro,» 2020. [En línea]. Obtenido de: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn109.html>. [Último acceso: 23 Mayo 2023].
- International Institute for Sustainable Development. (2023). International Institute for Sustainable Development. Obtenido de <https://www.iisd.org/learning/eia/es/eia-essentials/timeline/>
- Lara, M. d. (2019). Revista Jurídica. Obtenido de <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/derecho-comparado/article/view/3447/4054#:~:text=En%201971%20aparece%20la%20primera,aplicaci%C3%B3n%20era%20el%20Distrito%20Federal>.
- LENNTECH, «Lenntech,» 1998. [En línea]. Obtenido de: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm#ixzz84NapZQW1>. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- Leyton G., 2010. [En línea]. Obtenido de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6830/03Lagl03de09.pdf>. [Último acceso: Julio 2023].
- LP. (9 de Noviembre de 2022). Pasión por el Derecho. Obtenido de: <https://lpderecho.pe/evolucion-derecho-ambiental-peru-formacion-consolidacion-y->

fortalecimiento/#:~:text=La%20primera%20norma%20propriadamente%20ambiental,D
ecreto%20Legislativo%20613%20en%201990.

- MINAM, «MINAM,» 25 Marzo 2013. [En línea]. Obtenido de: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>. [Último acceso: Junio 2023].
- Ministerio del Medio Ambiente de Brasil, C. N. (2009). Resolución N° 420 .
- NACIONES UNIDAS. (1990). IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONTAMINACION HÍDRICA PRODUCIDA POR LA REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Nonna, S., Dentone, J. M., & Waitzman, N. (2011). PRESUPUESTOS MINIMOS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL en ARGENTINA. En A. y. Peligrosos. Buenos Aires: Estudio.
- ONU, «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,» 2022. [En línea]. Obtenido de: <https://www.fao.org/3/cb4827es/cb4827es.pdf>. [Último acceso: Julio 2023].
- Pérez, G. «ESPECTROMETRIA,» 2020. [En línea]. Obtenido de: https://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcio_n_atmica. [Último acceso: 8 Junio 2023].
- PDVSA. «Petróleos de Venezuela, S.A.» (2002). Manual de fluidos de Perforación. CIED.
- Poder Ejecutivo Argentino, «Poder Ejecutivo del Gobierno Argentino,» Mayo 1993. [En línea]. Obtenido de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-831-1993-12830/texto>. [Último acceso: Julio 2023].
- Ponce T., Historia de la conservación ambiental en Ecuador Volcanes, tortugas, geólogos y políticos, Quito: Abya- Yala, 2016.
- Quimica.es, «Quimica.es,» 1997. [En línea]. Obtenido de: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Cadmio.html>. [Último acceso: 25 Mayo 2023].
- RAOH. Ecuador, «Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas,» Registro Oficial, Quito, 2020.

- RAOHE, «Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador,» Registro Oficial No. 265, Quito, 2001.
- Suarez R., Guía de Métodos de Biorremediación para la Recuperación de Suelos Contaminados por Hidrocarburo, Bogotá: UNIVERSIDAD LIBRE INSTITUTO DE POSTGRADOS INGENIERÍA, 2013.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización, CATÁLOGO DE DOCUMENTOS NORMATIVOS VIGENTES, Quito: Gobierno del Ecuador, 2023
- Sigmaaldrich, «Sigmaaldrich,» 2022. [En línea]. Obtenido de: <https://www.sigmaaldrich.com/EC/es/applications/analytical-chemistry/gas-chromatography>. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- Thompson G. O., «Universidad La Salle,» Enero 2011. [En línea]. Obtenido de: https://repositorio.lasalle.mx/bitstream/handle/lasalle/484/N%c3%bam.16_P.49-68.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: Julio].
- Tzovaras, M. (Junio de 1992). Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/es/conferences/environment/rio1992>
- Witt R., «Políticas de Hidrocarburos en Brasil: Petrobras y las políticas del Brasil,» Centro de Estudios Sudamericanos, pp. 2-28, 2009.