

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS  
PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS  
POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS**

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS  
PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES  
GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA  
GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA”**

Realizado por:

**CHRISTIAM DAVID LAM VILLACÍS**

Director del proyecto:

**ING. KATTY CORAL CARRILLO**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Quito, 14 de marzo de 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, CHRISTIAM DAVID LAM VILLACÍS, con cédula de identidad No. 1707508832, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Christiam David Lam Villacís

C.I. 170750883-2

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA”**

Realizado por:

**CHRISTIAM DAVID LAM VILLACÍS**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Ha sido dirigido por la profesora

**ING. KATTY CORAL CARRILLO**

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



.....  
**ING. KATTY CORAL CARRILLO**

**DIRECTORA**

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los profesores informantes:

**MSc. JOHANNA MEDRANO**

**Dr. MIGUEL MARTÍNEZ**

Después de revisar el presente trabajo de investigación, lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador



.....  
**MSc. JOHANNA MEDRANO**



.....  
**Dr. MIGUEL MARTINEZ**

Quito, 14 de marzo de 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**DEDICATORIA**

Dedico esta investigación principalmente a Dios por ser mi creador, por darme salud y vida para cumplir con mis objetivos.

A mis amados padres, Changmeé Lam y Blanquita Villacís, mi hermano, Ronald Lam Villacís, por ser una familia ejemplar, por formarme con principios y valores como la honradez, responsabilidad y cumplimiento.

A mi amada esposa, Vanessa Valdiviezo, quien, con su amor y cariño, siempre ha estado junto a mí, apoyándome y motivándome para hacer realidad mis proyectos.

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## **AGRADECIMIENTO**

A la Ing. Katty Coral Carrillo, Tutora de mi Tesis, por su profesionalismo durante la tutoría del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Francisco Hugo, Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, por sus apoyo y motivación para iniciar con mi Maestría en Gestión Ambiental en la UISEK.

A la MSc. Johanna Medrano, Docente de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas, por sus valiosos aportes para el mejoramiento de mi trabajo de titulación.

Al Dr. Miguel Martínez, Docente de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas, por sus importantes recomendaciones como lector del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Internacional SEK, por su valiosa contribución para mi formación como Magister en Gestión Ambiental, por su alto nivel académico y por sus valiosos aportes en la investigación y desarrollo de nuestro Ecuador.

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivos: Determinar los indicadores ambientales para evaluar los procedimientos de remediación de pasivos ambientales, provenientes de las fuentes de contaminación (derrames, fosas y piscinas), eliminados durante el periodo 2017 – 2021, en una empresa petrolera; Evaluar los procedimientos de remediación de pasivos ambientales, aplicados para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, mediante la determinación de Índices de Calidad (IQ); Analizar los resultados de los niveles de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), en función de los Índices de Concentración (IC) y su comparación con los valores de suelos remediados, de cada pasivo ambiental. Determinar la fuente de contaminación que mejor reaccionó a la remediación de suelos contaminados, por volumen y por ppm. La metodología aplicada en el presente trabajo se basó en el cálculo de los IQ, cuyo valor se obtiene de la división de los TPH de la remediación aerobia de los suelos contaminados con hidrocarburos, para los TPH de los límites máximos permisibles, establecidos en la Normativa Ambiental, para Ecosistemas Sensibles (<1000 TPH) y el cálculo del IC, cuyo valor se obtiene de la multiplicación del volumen de suelo remediado por el IQ de cada pasivo ambiental remediado. Como resultado del análisis de los indicadores ambientales, se determinó que, en los años 2017, 2019, 2020 y 2021, el IQ fue menor a 1 (<1), lo que concluye que la remediación fue buena en el 100%. Sin embargo, en el año 2018 en el pasivo ambiental Estación Sacha Norte 1 Derrame 04 (EST\_SA\_N1\_04D), el IQ fue mayor que 1 (>1,87), lo que concluye que la remediación no funcionó. Con respecto al IC en 2017 la piscina SA\_198\_03P registró un IC=1178,15; 2018 la piscina SA\_PROF\_01P registró un IC=1677,01; 2019 el derrame ubicado en la línea de flujo LF\_SA\_136\_01D registró un IC=3114,02; 2020 y 2021 registraron IC=<1000.

**Palabras Clave:** Indicadores Ambientales, Remediación, Pasivos Ambientales, Índice de Calidad, Índice de Contaminación.

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## Abstract

The present investigation has as objectives: To determine the environmental indicators to evaluate the remediation procedures of environmental liabilities, coming from the sources of contamination (spills, pits and pools), eliminated during the period 2017 - 2021, in an oil company; Evaluate the remediation procedures of environmental liabilities, applied for the treatment of soils contaminated with hydrocarbons, through the determination of Quality Indexes (IQ); Analyze the results of the levels of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH), based on the Concentration Indices (CI) and their comparison with the values of remediated soils, of each environmental liability. Determine the source of contamination that best reacted to the remediation of contaminated soils, by volume and by ppm. The methodology applied in the present work was based on the calculation of the IQ, whose value is obtained from the division of the TPH of the aerobic remediation of soils contaminated with hydrocarbons, for the TPH of the maximum permissible limits, established in the Regulation Environmental, for Sensitive Ecosystems (<1000 TPH) and the calculation of the IC, whose value is obtained by multiplying the volume of soil remediated by the IQ of each remediated environmental liability. As a result of the analysis of the environmental indicators, it will be prolonged that, in the years 2017, 2019, 2020 and 2021, the IQ was less than 1 (<1), which concludes that the remediation was 100% good. However, in 2018 in the environmental liability Station Sacha Norte 1 Spill 04 (EST\_SA\_N1\_04D), the IQ was greater than 1 (>1.87), which concludes that the remediation does not limit. Regarding the CI in 2017, the pool SA\_198\_03P achieved a CI=1178.15; 2018 the pool SA\_PROF\_01P increased a CI=1677.01; 2019 the spill located in the LF\_SA\_136\_01D flow line reached a CI=3114.02; 2020 and 2021 recorded CI=<1000.

**Keywords:** Environmental Indicators, Remediation, Environmental Liabilities, Quality Index, Pollution Index.

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## INTRODUCCIÓN

### Historia del petróleo

A nivel mundial, los hidrocarburos han sido utilizados como combustibles fósiles, para el desarrollo de diversas actividades antropogénicas, generando contaminación del suelo, agua y aire. En Ecuador, la extracción de recursos naturales renovables y no renovables, en especial la explotación de hidrocarburos, han ocasionado graves impactos ambientales a bosques primarios, cuerpos hídricos, fauna silvestre, comunidades y drásticos cambios en el entorno paisajístico.

### Inicios de explotación petrolera

*“La petrolera Texaco se funda en 1902 bajo el nombre de The Texas Company en Sour Lake, Estados Unidos. Actualmente, es una filial de Chevron Corporation. Esta multinacional es ampliamente conocida entre los movimientos sociales por la constante vulneración de los derechos humanos. En Ecuador, a partir de 1964: Lago Agrio. Texaco comienza a extraer el crudo a finales de los años 60 y a enriquecerse bajo el doble mensaje, generar empleo en las comunidades a cambio de contaminar su territorio y destruir su tradicional forma de vida”.*  
(Ecologistas en Acción, 2016)

### Normativa Ambiental aplicable

Mediante la eliminación de fuentes de contaminación, el Proyecto de Remediación devuelve a las comunidades el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación,

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

remediando ecosistemas sensibles para la conservación de la flora y fauna silvestres, y rehabilitando zonas agrícolas y mejorando la salud de la población.

### **Constitución de la República del Ecuador**

En cumplimiento de lo establecido en la Constitución de la República del Ecuador, Capítulo segundo, Derechos del buen vivir, “*Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.*” (Constitución del Ecuador, 2008)

**Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:** “*1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras...*”. (Constitución del Ecuador, 2008)

### **Decreto Ejecutivo No. 1215 (RAOHE)**

Según el Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOHE, 1215) establece en la “Tabla 6: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios”, son límites permisibles a aplicarse para suelos contaminados con hidrocarburos, dependiendo del uso posterior a darse al suelo remediado, el cual estará regulado

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

por el MAATE. Al respecto, los parámetros utilizados como referencia para determinar el uso del suelo, son los TPH, para uso agrícola (<2500 mg/Kg), uso industrial (<4000 mg/Kg), Ecosistemas sensibles (<1000 mg/Kg). (RAOHE, 2001)

### **Acuerdo Ministerial No. 100-A Expídase el Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador**

*“Art. 24.- Devolución al Estado. - Cuando el Operador de una instalación, bloque o campo petrolero entregue su operación al Estado por la finalización del contrato o fin de la asignación, se ejecutará la auditoría ambiental de entrega de área, conforme los lineamientos establecidos en la norma técnica expedida para el efecto. Esta Auditoría Ambiental contendrá un plan de acción que deberá describir las responsabilidades del operador que devuelve el área y el estado de las condiciones socio ambientales del área devuelta. La responsabilidad sobre las fuentes de contaminación o pasivos ambientales y los impactos asociados a los mismos, que no fueron identificados en el momento de la entrega al Estado, serán resueltos en las instancias judiciales correspondientes.”* (Acuerdo Ministerial No. 100-A , 2020)

### **Acuerdo Ministerial No. 097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria**

*“ANEXO 2.- Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados. Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados.”* (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015)

#### **4.7 Remediación de Suelos**

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## 4.7.1 Del proceso de remediación

*“4.7.1.1 En el caso de determinarse la contaminación del suelo, el sujeto de control pondrá en ejecución las medidas establecidas en el programa de remediación aprobado por la Autoridad Ambiental Competente de acuerdo a lo establecido en el numeral 4.3.1.5 de la presente norma y/o la normativa sectorial en el caso de que aplique, dentro de los plazos y condiciones señaladas para su adopción y ejecución. El plazo dependerá de la situación, y será definido por la Autoridad Ambiental Competente.”* (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015)

*“4.7.1.2 La remediación del suelo se ejecutará utilizando la mejor tecnología disponible, atendiendo a las características propias de cada caso, buscando soluciones que garanticen la recuperación y el mantenimiento permanente de la calidad del suelo.”* (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015)

*“4.7.1.3 Se privilegiarán las técnicas de remediación in situ. El traslado de suelos contaminados para tratamiento y/o disposición ex situ sólo será posible en casos especiales, debidamente justificados ante la Autoridad Ambiental Competente, quien autorizará expresamente su ejecución.”* (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015)

*“4.7.1.4 Se utilizará la Tabla 2 para establecer los límites para la remediación de suelos contaminados de la presente norma y/o de la normativa sectorial correspondiente.”* (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015)

## Proyecto de Remediación de Pasivos Ambientales

El Proyecto de Remediación, tiene la misión de ejecutar acciones para la eliminación de fuentes de contaminación, remediación de suelos contaminados con hidrocarburos y rehabilitación de áreas afectadas por pasivos ambientales identificados, como consecuencia de la

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

operación hidrocarburífera en la Amazonía Ecuatoriana, específicamente en los Campos: Auca (Bloque 61), Bermejo (Bloque 49), Cuyabeno (Bloque 58), Lago Agrio (Bloque 56 y 57), Libertador (Bloque 57), Sacha (Bloque 60) y Shushufindi (Bloque 57), ubicados en las provincias de Francisco de Orellana y Sucumbíos.

### **Alcance del Proyecto de Remediación**

El Proyecto de Remediación, trabaja en la eliminación de fuentes de contaminación preexistentes, gestión integral de desechos peligrosos, generados por las actividades de remediación de pasivos ambientales, como tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, en los Centros de Gestión de Pasivos (CGPs) y tratamiento de aguas oleosas, en la Planta de Tratamiento y Recuperación de Crudo, así como también la rehabilitación de áreas afectadas por derrames, piscinas o pozos, generados por operadoras anteriores a la gestión del Proyecto de Remediación.

### **Centros de Gestión de Pasivos (CGPs)**

Los CGPs, son áreas destinadas para el acopio y remediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos generados por derrames (C.19.13), ubicadas en zonas donde el Proyecto de Remediación, ejecuta los trabajos de remediación de pasivos ambientales, tanto en las provincias de Orellana y Sucumbíos. Los CGPs están contruidos técnicamente a cielo abierto, los mismos que cuentan con piso impermeabilizado con arcilla para prevenir la filtración de lixiviados y la posible contaminación de las aguas subterráneas, canales perimetrales contruidos con hormigón y trampas API, diseñadas para separar gran cantidad de aceites y sólidos suspendidos,

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

provenientes del escurrimiento de los suelos contaminados. Adicionalmente cuentan con cerramiento perimetral de malla metálica o cercas vivas.

- Como hipótesis de la presente investigación, se determina que los indicadores ambientales permiten evaluar los procedimientos de eliminación de pasivos ambientales generados por operadoras anteriores a la gestión del Proyecto de Remediación, Campo Sacha, Bloque 60, para verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la Normativa Ambiental vigente.
- El objetivo general del presente trabajo de investigación fue determinar los indicadores ambientales para evaluar los procedimientos de eliminación de pasivos ambientales generados por operadoras anteriores a la gestión de un Proyecto de Remediación.
- Los objetivos específicos fueron: (1) Evaluar los procedimientos de remediación de pasivos ambientales, aplicados para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, mediante la determinación de Índices de Calidad (IQ). (2) Analizar los resultados de los niveles de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), en función de los Índices de Concentración (IC) y su comparación con los valores de suelos remediados, de cada pasivo ambiental y (3) Determinar que fuente de contaminación reaccionó mejor a la remediación de suelos contaminados, por volumen y por ppm.

### **Área de Estudio**

*“La superficie total del Distrito Amazónico abarca 49.160 km<sup>2</sup> y cubre 35 parroquias. Las parroquias del campo Sacha (Enokanqui, La Joya de los Sachas y San Carlos) están comprendidas en el cantón La Joya de los Sachas y cubren una superficie de 657,5 km<sup>2</sup> (el*

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

*1,34% del Distrito Amazónico). El cantón La Joya de los Sachas es el segundo más poblado de la provincia de Orellana (detrás de Orellana), con 26.363 habitantes (un 30,5% de la población provincial).” (Fontaine, 2003)*

**Relieve.** - *“Su relieve en general es regular de tierra firme y está formado por una zona plana, con suelos arcillosos de textura delgada y características ferruginosas, y suelos medios de textura media. Su altitud no sobrepasa los 270 m.s.n.m. Posee precipitaciones desde 2650 a 4500 mm anuales de mayo a noviembre existe más frecuencias de lluvias”.* (EcuRed, 2020)

**Clima.** - *“Su clima es muy húmedo tropical, con brisas constantes, intensa evaporación y altas temperaturas con nubosidad media de 6 octavos y su temperatura normal es de 28°C, con mínimas de 18°C y máximas de 34°C”.* (EcuRed, 2020)

**Flora.** - *“Las investigaciones sobre flora son igual de escasas, sin embargo, especies propias de este tipo de hábitat están presentes: los guarumos característicos, el árbol de balsa, la sangre de drago con propiedades medicinales, el sabroso palmito y la tagua usada para elaborar artesanías; todas estas especies son aprovechadas en el quehacer diario por las comunidades asentadas fundamentalmente en el área de influencia del Parque.”* (EcuRed, 2020)

**Fauna.** - *“Podemos mencionar los siguientes: dantas, jaguares, tigrillos, nutrias y Oso de Anteojos; aves como tucanes multicolores, tangaras, colibríes y una infinidad de anfibios reptiles. En resumen, hay alrededor de 654 especies de aves y 470 de peces.”* (EcuRed, 2020)

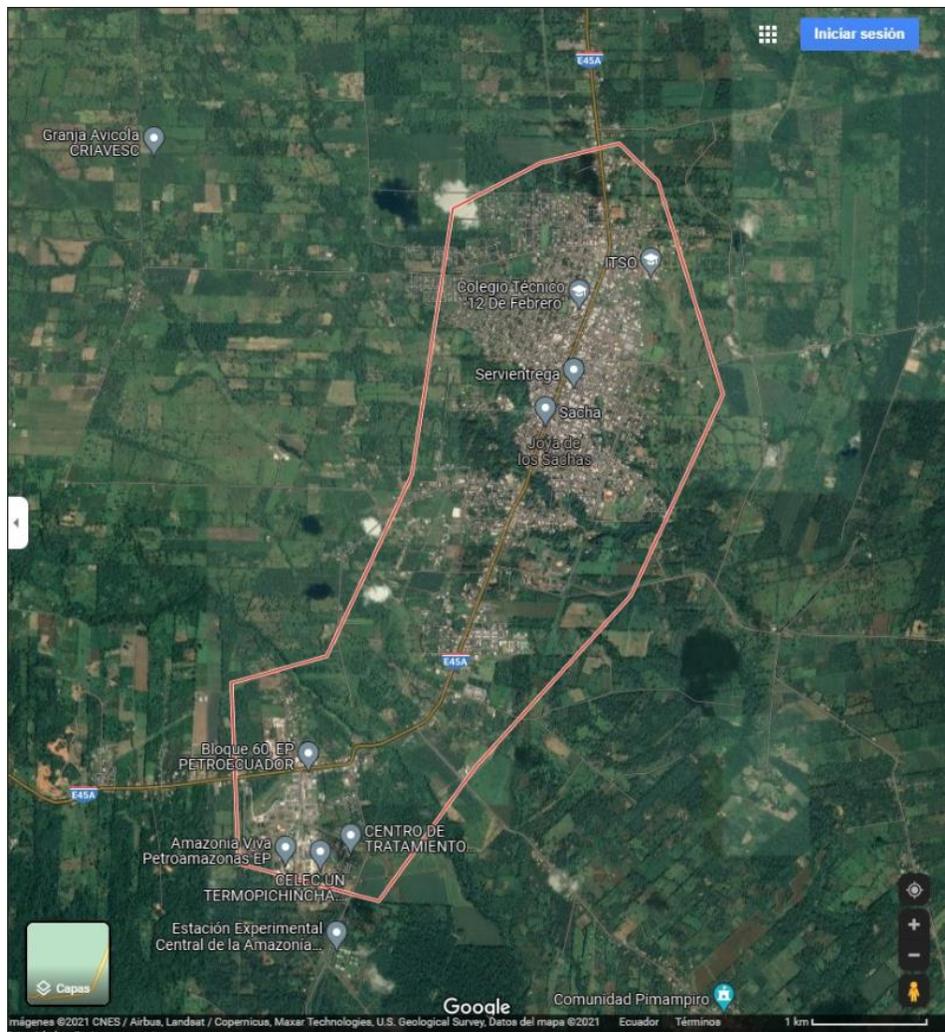
DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Tabla 1.** Cantón La Joya de los Sachas

CANTON LA JOYA DE LOS SACHAS	
<b>Provincia</b>	Orellana
<b>Población</b>	35.935 habitantes
<b>Temperatura Promedio</b>	29° C
<b>Superficie</b>	1.194,4 Km <sup>2</sup>
<b>Parroquias</b>	San Sebastián del Coca, Pompeya, Enokanqui, San Carlos, Unión Milagrena, Lago San Pedro, Rumipamba, Tres de Noviembre

**Fuente:** Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME, 2010)

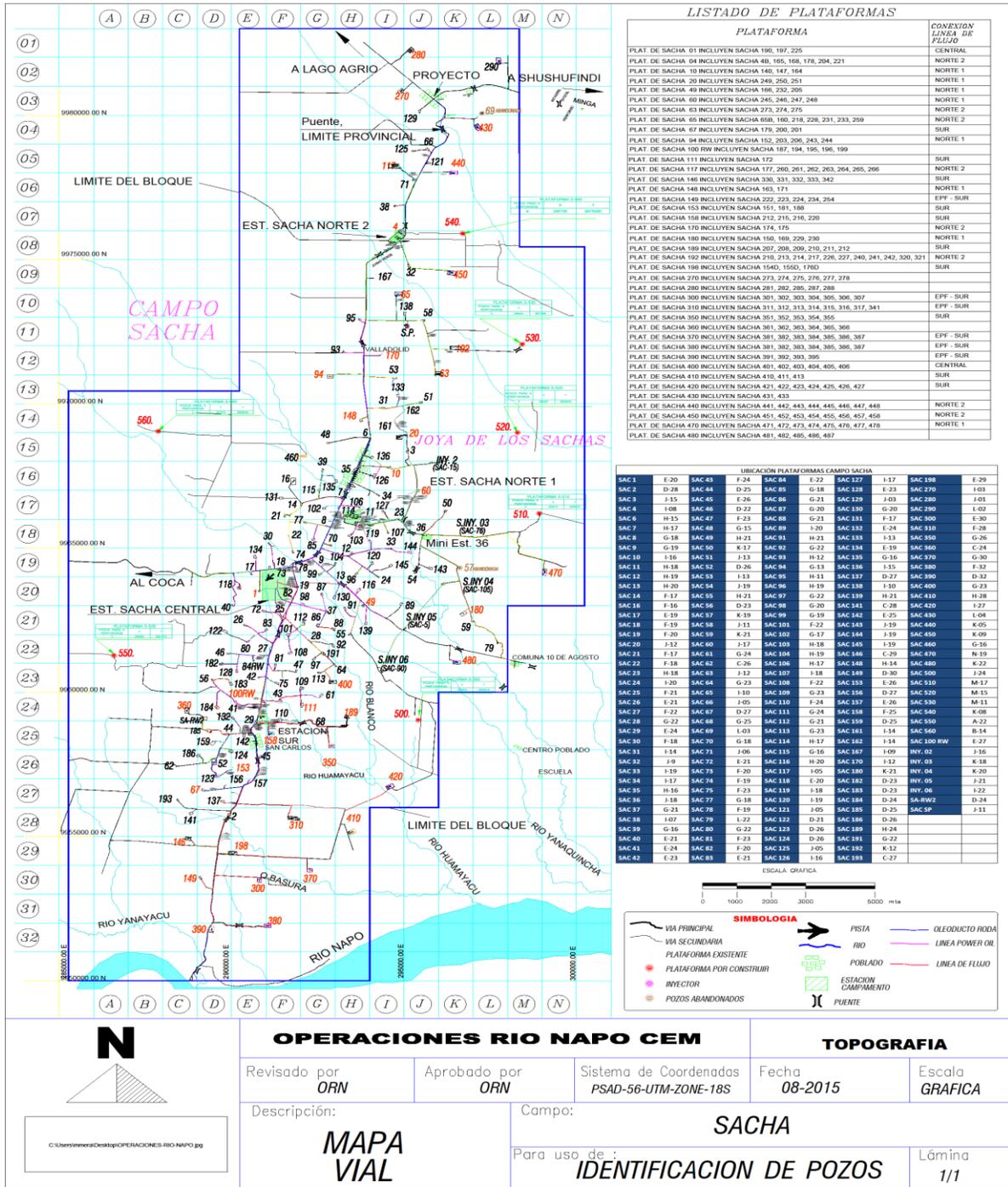
**Figura 1.** Imagen satelital - Cantón La Joya de los Sachas



**Fuente:** Google Earth, 2021

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Figura 2. Identificación de pozos - Campo Sacha**



Fuente: Operaciones Rio Napo CEM

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

Según el Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental, del Ministerio del Ambiente del Ecuador, el Campo Sacha, Bloque 60, se encuentra ubicado en el ecosistema del Bosque Siempreverde de Penillanura del sector Napo-Curaray (MAE, 2013). Sus límites geográficos del cantón La Joya de los Sachas son: al norte con la provincia de Sucumbíos, al sur con el cantón Francisco de Orellana, al este con la provincia de Sucumbíos, al oeste con el cantón Francisco de Orellana, se caracteriza por tener un clima cálido húmedo. Las áreas no intervenidas y ecosistemas se encuentran en buen estado de conservación, diversidad de flora y fauna silvestre, bosques primarios, bosques secundarios, ríos, lagos, lagunas, cascadas, comunidades y paisajes atractivos para las actividades turísticas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los materiales utilizados para como base para la elaboración de la presente investigación son los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras tomadas de las fuentes de contaminación, las cuales son analizadas por los laboratorios acreditados ante el SAE, certificados por el MAATE.

En la presente investigación, la metodología aplicada se fundamentó en dos etapas: Fase de Campo y Fase de Gabinete.

## **FASE DE CAMPO**

Durante los trabajos de campo se realizó la caracterización de las áreas identificadas como fuentes de contaminación o pasivos ambientales, durante el periodo (2017 - 2021), se

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

realizó el levantamiento de la Línea Base, para determinar las condiciones físicas, bióticas y sociales al inicio de la intervención de las áreas contaminadas con hidrocarburos, con la finalidad de comparar con las condiciones físicas, bióticas y sociales, al final de la remediación de los pasivos ambientales.

### **Análisis de las Muestras**

Durante la fase de campo se realiza el muestreo de los suelos contaminados con hidrocarburos, con laboratorios acreditados ante el SAE y los resultados de los análisis de laboratorio se los valida con la presencia de representantes del MAATE.

## **REMEDIACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES**

La metodología aplicada por el Proyecto de Remediación, para la gestión integral de los suelos y fluidos contaminados con hidrocarburos, durante las actividades de remediación de pasivos ambientales, se basa en las siguientes actividades:

- Intervención de la fuente de contaminación
- Remediación de suelos contaminados
- Recuperación de crudo
- Rehabilitación de áreas intervenidas

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## INTERVENCIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN

**El Indicador de Gestión del proceso es el número de fuentes de contaminación eliminadas.**

**Fuente:** Christiam Lam, 2022

El Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS) del MAATE, se encuentra desarrollando el Catastro Nacional de Pasivos Ambientales de las actividades mineras y petroleras. Esta información permite la obtención de datos sobre las fuentes de contaminación que generan pasivos ambientales porque afectan al ecosistema, agua, suelo, aire y a las poblaciones cercanas. Con el levantamiento de la información que tiene a su cargo el PRAS, se determina cuántas fuentes de contaminación existen vinculadas a las actividades mineras e hidrocarburíferas y también se establecen las características ambientales y ecológicas de dichas fuentes. (PRAS, 2015)

Se recopila información del componente físico ambiental (dimensiones de la fuente de contaminación), del componente biótico (ecosistema(s) donde se encuentra la fuente de contaminación, biodiversidad existente) y del componente social (presencia de familias, poblados, escuelas, centros de salud, etc.). (PRAS, 2015)

### **Identificación de las fuentes de contaminación o pasivos ambientales**

Sobre la base de los inventarios de las fuentes de contaminación del PRAS, que es un Programa del MAATE, el equipo de Supervisores de Remediación, Líderes de cuadrilla y Ayudantes, proceden con la búsqueda de las fuentes de contaminación en campo, siguiendo las coordenadas señaladas en el mencionado inventario, para lo cual realizan calicatas para la toma

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

de muestras simples, las cuales son llevadas al laboratorio del Proyecto de Remediación, para su análisis.

Personal del departamento de Relaciones Comunitarias, realizan entrevistas a los moradores de las áreas afectadas por la contaminación de derrames, piscinas o fosas, los mismos que son propietarios de las áreas contaminadas y tienen conocimiento de los mencionados eventos, por experiencia propia o por información que pasa de una generación a otra, con la finalidad de identificar nuevas fuentes de contaminación.

### **Levantamiento de la Línea Base**

La intervención de las fuentes de contaminación (FC) inicia con la ejecución del Diagnóstico Ambiental, el cual provee la información de las condiciones iniciales del área contaminada. El levantamiento de la Línea Base se fundamenta en metodologías específicas, mediante análisis de laboratorio realizados a muestras de suelos tomadas en puntos representativos de las fuentes de contaminación, para esto el Proyecto de Remediación, cuenta con laboratorio propio, denominado laboratorio del Proyecto de Remediación.

En el laboratorio se desarrolla investigación aplicada en análisis de suelos y fluidos contaminados con hidrocarburos, para la identificación de nuevas fuentes de contaminación, previo a los análisis con laboratorios ambientales acreditados ante el SAE, en cumplimiento de lo dispuesto por el MAATE.

### **Muestreo de suelos contaminados con hidrocarburos.**

Para la caracterización de la Línea Base, se realizará muestreos de suelos contaminados, estos muestreos son realizados por técnicos de los laboratorios acreditados ante el SAE y con la

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

presencia de un delegado del MAATE, quien certifica con una firma en la cadena de custodia, el Supervisor de Remediación, Líderes de cuadrilla y ayudantes del Proyecto de Remediación.

Una vez seleccionadas las fuentes de contaminación, liberadas las áreas por el departamento de Relaciones Comunitarias y con el Permiso de Paso (firmado), se procede con la toma de muestras, con la herramienta llamada barreno. El muestreo de suelo es la actividad de recolección de las muestras de suelo (representativas), que permiten caracterizar el suelo en estudio. La muestra es definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando. Y, las muestras enviadas al laboratorio constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo con los objetivos establecidos. (Mendoza & Espinoza, 2017)

### **Muestra simple**

Es la muestra obtenida de una sola extracción del suelo. Son usadas en trabajos de investigación, extensión, y en suelos muy homogéneos. Se recomienda tomar una muestra de un kg por hectárea suelo, para fines de nutrición de plantas. (Mendoza & Espinoza, 2017)

### **Muestra compuesta**

Se refiere a la muestra de suelo obtenida de varias extracciones o muestras simples, reunidas en un recipiente codificado y etiquetado, por profundidad, si es el caso, y luego bien mezcladas, de donde se retira 1 kg de suelo. Es el muestreo más utilizado para planificar fertilización. Se recomienda entre 6 - 12 submuestras por unidad de muestreo. (Mendoza & Espinoza, 2017)

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

Las muestras de suelos contaminados son tomadas por el personal de Remediación de Pasivos, con la herramienta llamada barreno, realizan calicatas que son orificios en el suelo con la finalidad de extraer las muestras de suelo, las muestras de suelo son envueltas en papel aluminio, codificadas etiquetadas y transportadas en cooler, con la finalidad de mantener las condiciones ambientales hasta el laboratorio, para su respectivo análisis. Las muestras son etiquetadas con los siguientes datos: Código de la muestra / Nombre del Proponente / Nombre de la fuente de contaminación (FC) / Uso de Suelo / Fecha de muestreo / Profundidad de muestreo / Ubicación de la muestra (Coordenadas).

### **Análisis de Laboratorio**

El laboratorio del Proyecto de Remediación, del Proyecto de Remediación, se dedica a la investigación, ensayos, escalamiento, validación, desarrollo e implementación de tecnologías para la biorremediación ambiental, enfocada al tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, ubicados en los pasivos ambientales, generados por las actividades hidrocarburíferas sin responsabilidad ambiental, en la Amazonía Ecuatoriana.

Una vez que el laboratorio del Proyecto de Remediación, ha determinado la presencia de hidrocarburo en una nueva fuente de contaminación, se solicita la toma de muestras (Muestras Iniciales) a los laboratorios acreditados ante el SAE.

### **Plan Operativo Anual (POA)**

Anualmente, personal del Proyecto de Remediación (Supervisores de Remediación de Pasivos Ambientales y Líderes de cuadrilla), evalúan las fuentes de contaminación identificadas en el Campo Sacha, con la finalidad de definir las fuentes de contaminación, en las cuales van a

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

realizar los trabajos de remediación de pasivos ambientales y considerando la disponibilidad de recursos humanos, técnicos, económicos y maquinaria, elaboran el Plan Operativo Anual (POA).

### **Liberación del Área**

El departamento de Relaciones Comunitarias realiza la liberación de las fuentes de contaminación, organizan una reunión con los propietarios de los predios donde se ubica la fuente de contaminación y con mutuos acuerdos, proceden a la suscripción del Permiso de Paso.

### **Ficha de Identificación**

Para la caracterización de las fuentes de contaminación se toman los siguientes datos iniciales: Fuente de contaminación (Código), Tipo de Fuente (Derrame, piscina, Fosa), Provincia, Cantón, Parroquia, Comunidad, Coordenadas X, Coordenadas Y, Pozo asociado, Tiempo de intemperización, Residuos derramados, Propietario del predio afectado, Área estimada por remediar, Fecha de Intervención, Supervisores de Remediación.

### **Levantamiento Topográfico**

El departamento de Topografía realiza el levantamiento topográfico, con el equipo de topografía en el área que va a ser intervenida, con la finalidad de delimitar los límites del pasivo ambiental y generar el mapa de ubicación, que formará parte del expediente de la fuente de contaminación, que será certificada por el MAATE, cuando haya terminado todo el proceso de remediación ambiental.

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## **Eliminación de pasivos ambientales**

La maleza que no está contaminada es recolectada y dispuesta en el perímetro del área de trabajo, para su biodegradación e incorporación al ambiente en forma de biomasa. La eliminación de pasivos ambientales inicia con actividades de desbroce y recolección de vegetación contaminada, para esto el personal del proyecto (Líderes de cuadrilla y Ayudantes), proceden con la remoción manual del material vegetal contaminado (especies arbóreas, arbustivas, herbáceas), con la finalidad de delimitar el área que se va a intervenir, por el apoyo de herramientas manuales como machetes, palas, azadones y herramientas mecánicas como guadañas, motosierras o excavadoras. La vegetación contaminada es acopiada en la fuente de contaminación y luego es transportada hacia los CGPs, para su tratamiento y disposición final. La vegetación contaminada es mezclada con los suelos contaminados, como material biodegradable, en el tratamiento de las biopilas.

Durante la intervención de la FC, se procede con la eliminación de la pasivo ambiental mediante el desbroce, succión de fluidos, lavado y remoción del suelo contaminado, el cual es tratado en el sitio (in situ) o trasportado a los CGPs, para su tratamiento fuera del área de intervención (ex situ).

Previo a la extracción del suelo contaminado de los pasivos ambientales, se realiza un monitoreo del área intervenida, para lo cual, se procede con la toma de muestras, para su análisis con laboratorios acreditados ante el SAE. Con la presencia de representantes de la Autoridad Ambiental, se toman muestras de las paredes y base de la fuente de contaminación.

Si los resultados de laboratorio demuestran que el suelo de las áreas intervenidas se encuentra bajo los límites máximos permitidos, para el uso de suelo, la Autoridad Ambiental

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

autoriza el taponamiento de la misma, con suelo remediado, caso contrario el tratamiento de remediación de la fuente de contaminación continúa y se sigue básicamente dos procesos:

- Se continúa excavando en la base y paredes de la fuente de contaminación hasta cuando se realiza un nuevo muestreo. En algunas fuentes de contaminación se puede determinar la presencia de material contaminante del suelo, mediante sus características organolépticas (olor, color, viscosidad, iridiscencia, densidad, , etc.), por lo que los hidrocarburos flotan sobre el agua.
- Se realiza un lavado de las paredes de la fuente de contaminación, para remover el hidrocarburo y nuevamente se realiza el muestreo, que demuestre que las concentraciones de los niveles de TPH, se encuentran bajo los límites permisibles. Existen tres tipos de fuentes de contaminación: piscinas, fosas y derrames y el tiempo empleado para su eliminación dependerá del tamaño y concentración de TPH.

### REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

**El Indicador de Gestión de este proceso es el Volumen de Suelo Remediado (m<sup>3</sup>).**

**Fuente:** Christiam Lam, 2022

La remediación de suelos contaminados puede realizarse en el sitio de la fuente de contaminación (in situ), o fuera del sitio (ex situ), en los CGPs. En la mayoría de las fuentes de contaminación, el tratamiento se realizó fuera de sitio, debido a las ventajas como son: el menor tiempo de tratamiento del suelo y la seguridad en cuanto a la uniformidad al momento de

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

homogeneizar y muestrear periódicamente las biopilas, lo que permite un correcto monitoreo de los lotes de suelos contaminados, en proceso de tratamiento.

### **Ventajas de los tratamientos de suelos contaminados (ex situ)**

Los tratamientos de suelos contaminados se aplica en su mayoría fuera de sitio de intervención (ex situ), debido a sus ventajas como son: menor tiempo para el tratamiento de suelos contaminados, uniformidad de los componentes de los suelos porque es posible homogeneizar los suelos en tratamiento con maquinaria pesada, facilidad para rotular las biopilas, factibilidad de inspecciones y muestreos periódicos de las biopilas en tratamiento con laboratorios acreditados ante el SAE y Autoridad Ambiental, así como también permite un adecuado seguimiento a la gestión administrativa, en la certificación de las biopilas descontaminadas, otorgada por el MAATE.

### **Desventajas de los tratamientos de suelos contaminados (ex situ)**

Los tratamientos de suelos contaminados (ex situ), implican altos costos en servicios de maquinaria pesada, para la excavación y carga de suelos contaminados en las volquetas de la empresa, también involucra costos para el transporte de suelos contaminados desde las fuentes de contaminación hacia los CGPs, en las volquetas de la empresa como: combustible, mantenimiento mecánico, pago de conductores, inclusive se incurre en gastos porque se requiere generar órdenes de servicios para la contratación de maquinaria pesada y volquetas de empresas externas.

Otra desventaja de los tratamientos de suelos contaminados (ex situ), es el limitado espacio disponible que se requiere para el tratamiento, en los CGPs, motivo por el cual, además

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

de la conformación de biopilas, en ocasiones es necesario tener acopiado gran cantidad de suelos contaminados, en espera del desalojo de suelos remediados.

Cuando las fuentes de contaminación (derrames, piscinas o fosas), no se encuentran ubicadas en cuerpos hídricos, se procede con la remoción del material contaminado (Suelos y vegetación contaminados con hidrocarburos), manual (Ayudantes) o mecánica (maquinaria pesada) el mismo que es transportado en volquetas del proyecto, hacia los CGPs, donde se realiza el tratamiento de los suelos contaminados, bajo condiciones ex situ.

Dependiendo de la carga de TPH, en los suelos contaminados, depende el tiempo de tratamiento en los CGPs, es así que, si los suelos contaminados tienen baja carga de TPH, el tratamiento puede durar varios meses, por el contrario, si la carga del material contaminante es alta, el tratamiento de los suelos contaminados puede requerir inclusive varios años. Cabe mencionar que si se trata de suelos contaminados con hidrocarburos que permanecen por mayor tiempo en el ambiente se les conoce como recalcitrantes.

### **Tratamiento Físico de Suelos Contaminados**

La remediación de los suelos contaminados extraído de las fuentes de contaminación se realizó en CGPs, donde se conforman biopilas de aproximadamente 150 m<sup>3</sup> de suelo cada una. Al respecto, el departamento de Topografía realiza el levantamiento planimétrico de las biopilas y calcula el volumen de cada biopila. El laboratorio del Proyecto de Remediación, analiza los niveles de concentración de hidrocarburos y procede con los análisis comparativos con los límites permisibles establecidos en la Normativa Ambiental vigente.

En los CGPs, se realizó el tratamiento de los suelos contaminados con hidrocarburos y material vegetal contaminado, mediante procedimientos físicos, como la conformación de

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

biopilas, aireación mediante el volteo de los suelos contaminados con maquinaria pesada para la degradación de hidrocarburos de petróleo presentes en suelos contaminados, mediante la implementación de dos alternativas tecnológicas de aplicación ex situ (landfarming y composting).

## **Técnica de Landfarming**

El landfarming es una técnica utilizada para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, que es un proceso mediante el cual se realiza la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, con la finalidad reducir los niveles de concentración de TPH, por debajo de los límites permisibles, establecidos en la Normativa Ambiental vigente.

La técnica de landfarming consiste en arar los suelos contaminados con hidrocarburos, con el tractor agrícola de la empresa, de tal manera que el suelo quede suelto en su estructura y oxigenado. El arado se realiza una vez por semana, procurando hacerlo en días soleados y evitando hacerlo en días lluviosos. La profundidad de arado estimada es de 40 cm. La aplicación del biol se hace en las mismas semanas en que se aplique en las biopilas.

*“Las tecnologías conocidas como landfarming, land treatment o land application, son métodos de remediación de hidrocarburos de petróleo a través de la biodegradación. Una de las técnicas de biorremediación más difundidas es el landfarming que consiste en un vertido controlado de hidrocarburos sobre una superficie de terreno, el cual se somete a un proceso de remoción mediante arado y riego superficial con agregado de fertilizantes, con o sin incorporación de microorganismos.”* (Castillo Rojas, 2009)

El landfarming es una técnica de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, que consiste en la colocación de suelos contaminados en los CGPs, los mismos

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

que cuentan con una capa impermeable de arcilla, la cual evita filtraciones de fluidos contaminados al suelo y la posible contaminación de aguas subterráneas. Los suelos contaminados son transportados y colocados en la superficie del terreno, con el apoyo de un tractor agrícola, en una capa no superior a 1.5 m. donde se realiza la biorremediación mediante la estimulación de la actividad microbiana aeróbica, mediante procesos de aireación con el arado del tractor agrícola.

El tratamiento de biorremediación de suelos contaminados mediante la técnica de landfarming, permite reducir significativamente las concentraciones de los niveles de TPH, cuya unidad de medición es (mg/kg), biodisponibles en el suelo declarado contaminado. La ventaja de la técnica de landfarming, es que permite reducir los tiempos de tratamiento, y como consecuencia aumentar el volumen de suelo en tratamiento. La evaluación y valoración de las alternativas tecnológicas, mediante indicadores, permitirá que la técnica de landfarming sea utilizada como tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.

### **Técnica de Composting**

El composting es una técnica de tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, que consiste en la aplicación de insumos orgánicos y la aireación del suelo mediante maquinaria pesada, invirtiendo la superficie expuesta de las biopilas de suelo contaminado, llenando el espacio de poros con aire y permitiendo el crecimiento de microorganismos con actividad degradadora de hidrocarburos.

A diferencia del landfarming que la cantidad de material contaminado es menor por lote, el composting permite acopiar mayor cantidad de suelo contaminado, optimizando los espacios en los CGPs y liberando espacio para el acopio de suelo contaminado extraído.

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

Otra de las técnicas aplicadas en el tratamiento de suelos contaminados es mediante la elaboración de compost, mediante la mezcla de residuos orgánicos como bagazo de caña de azúcar, tamo de café, restos vegetales del comedor, aserrín, tamo de arroz, plantas verdes, frutos.

*“El compostaje es un proceso biológico consistente en mezclar suelos contaminados con residuos vegetales como abonos, estiércol, paja, trozos de madera, etc. Bajo condiciones termófilas, estimulando así la capacidad biodegradadora microbiana, aerobia o anaerobia, lo que permite transformar compuestos tóxicos orgánicos en sustancias inocuas. Para que el proceso sea exitoso, se debe controlar el nivel de oxígeno, humedad, temperatura o balance carbono-nitrógeno.”* (Emberiza Medioambiente, 2017)

En el área de escalamiento se encuentra el área de compostaje, en la cual se elabora el compost, como abono para aportar con los nutrientes a los suelos contaminados, para la actividad de los microorganismos. Para la elaboración del compost se conforman camas con los siguientes materiales en igual proporción: Desechos orgánicos, bagazo de caña, fibra de palma africana, material vegetal, cascarilla de arroz, tamo de café y aserrín. Para la elaboración del compost, se colocan los materiales antes mencionados en camas y se cubre con plástico, durante 20 días, luego de lo cual se procede con el volteo para la oxigenación del material en descomposición y para la hidratación con agua de lluvia. Se repite el mismo procedimiento durante cuatro veces, al cabo del cual se obtiene el compost.

### **Área de Escalamiento**

En el área de escalamiento o plataforma de escalamiento, del laboratorio del Proyecto de Remediación, se conforman unidades experimentales de suelos contaminados con hidrocarburos, con la finalidad de realizar los ensayos de toxicidad y biofertilizantes a menor escala, para

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

determinar la eficiencia de las alternativas tecnológicas en los tratamientos de suelos contaminados.

El material de las unidades experimentales se homogeniza, de tal manera que la concentración del contaminante se encuentre distribuida de manera uniforme. En la plataforma de escalamiento se conforman unidades experimentales de 2 m<sup>3</sup>, cada unidad mide aproximadamente 1 m. de ancho x 3 m. de largo x 0,80 m. de altura, las cuales son identificadas por letreros con los códigos, el volumen y la longitud de las unidades experimentales.

Para la selección de las unidades experimentales se toma como material inicial para el ensayo, las muestras de suelos contaminados tomados de las fuentes de contaminación, con el cual se realiza una caracterización inicial del suelo en el laboratorio, para contar con los datos de referencia.

Las unidades experimentales son monitoreadas permanentemente, con la finalidad de determinar los niveles de descontaminación de los suelos, en una escala temporal representativa. Mediante los análisis de las unidades experimentales, el investigador puede evaluar y determinar la tecnología con mayor rendimiento.

### **Conformación de Biopilas**

La biopilas son montículos de tierra longitudinales conformados con maquinaria pesada, llamados también pilas o montones de tierra, diseñados con la finalidad de facilitar la actividad microbiana aerobia, mediante procesos de aireación, adición de nutrientes y agua.

El laboratorio del Proyecto de Remediación realiza la caracterización físico química de las fuentes de contaminación, en TPH de los suelos muestreados y determina los niveles de contaminación iniciales y finales.

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## **Tratamiento Biológico de Suelos Contaminados**

Otra de las técnicas aplicada para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos es el *“tratamiento biológico de suelos contaminados involucra el uso de organismos vivos para la degradación de los contaminantes orgánicos. La actividad biológica altera la estructura molecular del contaminante y el grado de alteración determina si se ha producido el proceso de biotransformación o de mineralización. La biotransformación es la descomposición de un compuesto orgánico en otro similar no contaminante o menos tóxico, mientras que la mineralización es la descomposición de dióxido de carbono, agua y compuestos celulares.”* (Castillo Rojas, 2009)

*“Cada cierto tiempo se hace afirmaciones declarando que las bacterias que consumen petróleo pueden ser utilizadas para limpiar manchas de petróleo y han aparecido en el mercado algunos productos teniendo ciertas clases de bacterias mezcladas o mezclas de enzimas y bacterias. La existencia de bacterias que degradan el petróleo es bien conocida desde hace muchos años. Sin embargo, estas bacterias seleccionan y atacan de preferencia aquellas fracciones de petróleo que son menos contaminantes. La degradación es lenta, a menos que se les suministre suficiente oxígeno y nutrientes, tales como nitratos y fosfatos.”* (Vergara & Pizarro, 1981)

## **Técnica de Bioestimulación**

El biofertilizante líquido utilizado para la bioestimulación es el biol, preparado y formulado por el laboratorio del Proyecto de Remediación, a base de biomasa vegetal rica en

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

nutrientes, estimula la actividad de los microorganismos, lo que permite reducir el tiempo de degradación natural de los hidrocarburos derivados del petróleo.

El biol es un abono orgánico líquido que se elabora en un biodigestor, ubicado en el área de escalamiento, mediante la fermentación, descomposición y transformación químicas de residuos orgánicos (plantas verdes, frutos), melaza y agua, en un ambiente anaerobio.

El biol es elaborado en un bulltank, que es un contenedor de plástico, de 1000 litros de capacidad, que sirve como un biodigestor, en el cual se añade agua, restos vegetales (20 Kg.), ortiga (14 Kg.), melaza (15 L.) e inocuos o microorganismos provenientes del yogurt o levaduras (4L.). Los mencionados ingredientes son mezclados y dejados en reposo, con la finalidad de que se realice la descomposición de la materia orgánica.

El biol es esparcido en los suelos contaminados mediante bombas fumigadoras, que actúa como un biofertilizante, aportando nutrientes para la bioestimulación de los microorganismos. Cabe mencionar que el biol es un abono que mejora la disponibilidad de nutrientes del suelo, no tiene mal olor y no atrae insectos, una vez aplicado en los suelos contaminados.

*“El biol es un producto estable biológicamente, rico en humus y una baja carga de patógenos. El biol tiene una buena actividad biológica, desarrollo de fermentos nitrosos y nítricos, microflora, hongos y levaduras que serán un excelente complemento a suelos improproductivos o desgastados.”* (Universo Porcino, 2008)

Para evaluar la eficiencia de los tratamientos, se realiza una planificación de los muestreos, mediante monitoreos permanentes. El monitoreo inicial se realiza a los primeros 30 días de iniciado del tratamiento de los suelos contaminados, a continuación, se realizan monitoreos periódicos cada 15 días y el monitoreo final se realiza a los 3 meses de iniciado el tratamiento.

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**RECUPERACION DE CRUDO**

**El Indicador de Gestión de este proceso es el Volumen de Crudo Recuperado (Barril).**

**Fuente:** Christiam Lam, 2022

**Tratamiento de Fluidos Contaminados (In situ)**

Para el proceso de remediación de pasivos ambientales, mediante la técnica de lavado in situ, se realiza la construcción de diques o barreras de contención, con materiales como palos, sacos de arcilla, planchas metálicas de los tanques de 55 galones, tubos PVC, codos para la construcción de cuellos de ganso, con la finalidad de represar los fluidos contaminados con hidrocarburos. El lavado de suelos contaminados en cuerpos hídricos puede realizarse mediante dos técnicas: Equipos móviles y maquinaria pesada.

**Tratamiento de Fluidos Contaminados (Ex situ)**

Los fluidos contaminados con hidrocarburos, extraídos de las fuentes de contaminación son transportados hacia Planta de Tratamiento y Recuperación del Crudo (PTR), en la cual se realiza el tratamiento y reinyección al Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE).

**REVEGETACION Y REHABILITACIÓN DE ÁREAS INTERVENIDAS**

**El indicador de gestión de este proceso es la superficie del área revegetada (m<sup>2</sup>).**

**Fuente:** Christiam Lam, 2022

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

## **Taponamiento de áreas intervenidas**

Cuando los resultados de los análisis de los suelos en proceso de remediación, realizados por laboratorios acreditados ante el SAE, están bajo los límites permisibles, establecidos en la Normativa Ambiental vigente, se solicita mediante oficio la Certificación de Descontaminación de las Fuentes de Contaminación, a la Autoridad Ambiental.

La Dirección Nacional de Control Ambiental, del MAATE, remite la Certificación de Descontaminación de las Fuentes de Contaminación y autoriza el taponamiento de las fuentes de contaminación, con suelo descontaminado proveniente de los CGPs, con este documento habilitante se programará estas actividades a fin de cumplir las etapas finales de eliminación de las fuentes de contaminación.

El taponamiento de áreas intervenidas se realiza en presencia de un delegado de la Dirección Provincial del MAATE y como constancia del taponamiento se debe elaborar y firmar el Acta de Taponamiento, la cual deberá anexarse en el Informe Final correspondiente. El taponamiento y reconfiguración de las áreas intervenidas, se realiza íntegramente con maquinaria pesada como excavadora y tractor oruga. El suelo tratado en las biopilas de los CGPs es transportado en las volquetas del Proyecto, hacia las áreas intervenidas, con la finalidad de taponar y reconfigurar la topografía. El proceso de taponamiento permite reconfigurar los suelos con sustrato adecuado para el proceso de revegetación.

## **Producción de plantas nativas – Viveros**

Una vez culminados los trabajos de taponamiento y reconfiguración de las áreas intervenidas, el vivero del proyecto procede con la adecuación de las áreas con suelo fértil y con

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

la revegetación del área intervenida, con plantas nativas de la zona, las cuales son propagadas en sus instalaciones.

### **Revegetación de áreas intervenidas**

Cuando la remediación de fuentes de contaminación se realizó en áreas en buen estado de conservación, la revegetación se realizó con especies de plantas nativas de la zona, considerando la vegetación circundante de la zona recuperada. Sin embargo, cuando la fuente de contaminación está ubicada en propiedades privadas, se llega a un acuerdo con los propietarios para que la rehabilitación de las áreas afectadas se realice con especies de plantas de acuerdo al requerimiento del propietario y a la disponibilidad de plantas en los viveros del proyecto.

### **Seguimiento a la rehabilitación de áreas intervenidas**

Un mes después de realizada la revegetación de las áreas afectadas, el Supervisor del Vivero, conjuntamente con los Líderes de cuadrilla y Ayudantes, realizan inspecciones a las áreas revegetadas, con la finalidad de determinar el nivel de prendimiento de las especies de plantas sembradas. En caso de que el prendimiento de las especies de plantas sea aceptable, se continúan con inspecciones periódicas. En caso de que el porcentaje de mortalidad de las plantas sembradas sea alto, se procede a la reconfiguración del suelo con material fértil y con la resiembra de nuevas plantas, para su posterior seguimiento y monitoreo, hasta lograr que el área intervenida sea totalmente rehabilitada.

### **Certificación de Fuentes de Contaminación**

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

La Supervisión de Remediación de Pasivos realiza la gestión administrativa para la certificación de las biopilas descontaminadas, con el MAATE.

### **Indicadores Ambientales**

*“Un indicador ambiental es una medida que puede ser de origen físico, químico, biológico, social o económico, que permite evaluar toda aquella información ambiental disponible, con el fin de reflejar las condiciones en las que se encuentra el medio ambiente o un factor ambiental particular, en un tiempo y en un lugar determinados.”* (Ecología Verde, 2020)

*“Pueden ser cuantitativos o cualitativos dependiendo de cómo son medido y apreciado. Los indicadores ambientales cuantitativos se basan en parámetros con los que dar información sobre un fenómeno. En cambio, los indicadores ambientales cualitativos se centran más en las observaciones y percepciones.”* (Ecología Verde, 2020)

*Los indicadores ambientales deben tener ciertas características y cumplirlas, ya que son un instrumento que influye en la evaluación para tomar desde decisiones políticas sobre el medio ambiente, hasta en el manejo de una empresa para llegar a ser lo más sostenible posible.*

*Entre las características de los indicadores ambientales están:*

- *Deben evaluar datos de calidad y fiables.*
- *Ser fáciles de manejar y comprender.*
- *Que puedan predecir si habrá alguna evolución negativa.*
- *Su costo debe estar equilibrado con su efectividad.*
- *Ser sensibles a los cambios.*
- *Ser específicos con el objetivo de que no se den diferentes interpretaciones.”* (Ecología Verde, 2020)

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

La presente investigación está enfocada en la determinación de indicadores ambientales para evaluar los procedimientos de eliminación de pasivos ambientales generados por operadoras anteriores a la gestión de una empresa petrolera. Al respecto, se ha considerado como principal indicador a los TPH, para calcular los niveles de contaminación de los pasivos ambientales (derrames, piscinas y fosas) y para determinar la efectividad de los procesos de eliminación de fuentes de contaminación, que aplica la empresa petrolera, durante el periodo de 2017 – 2021.

### **Número de fuentes de contaminación identificadas y remediadas**

El número de fuentes de contaminación identificadas y remediadas, es un Indicador Ambiental que mide el número de fuentes de contaminación remediadas o eliminadas, con respecto al número de fuentes de contaminación planificadas, para cada año de operación del Proyecto de Remediación. El número de fuentes de contaminación planificadas, se determina en función de las fuentes de contaminación registradas en el listado de pasivos ambientales del PRAS, que es un Proyecto del MAATE y en función de las fuentes de contaminación identificadas por el personal de la empresa en campo.

### **Concentración de TPH**

La concentración de TPH, es un Indicador Ambiental que mide los niveles de contaminación de hidrocarburos en los pasivos ambientales, en base a análisis de suelos contaminados, con laboratorios acreditados ante el SAE, al inicio de la intervención y al final de la remediación de las fuentes de contaminación. Es importante mencionar que los resultados

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

iniciales y finales de los niveles de concentración de TPH, son comparados con los límites permisibles establecidos en la Normativa Ambiental vigente.

### **Volumen de Suelo Remediado**

El Volumen de Suelo Remediado, es un Indicador Ambiental que mide la cantidad de suelo contaminado, transportado a los CGPs y recuperado mediante tratamientos físicos como la conformación de biopilas y la aireación con maquinaria pesada, tratamientos químicos como la aplicación de biol, compost y fertilizantes a los suelos contaminados, y tratamientos biológicos mediante la inoculación de microorganismos degradadores de hidrocarburos, creados en el laboratorio del Proyecto de Remediación.

El volumen de suelo remediado se calcula en base al volumen de suelo transportado desde las fuentes de contaminación hacia los CGPs y registrados en las Guías de Transporte de Suelos y Bitácoras de Transporte de Suelos Contaminados, generados por los conductores de las volquetas del Proyecto Hidrocarburífero.

Otra técnica para calcular el volumen de suelo remediado es mediante cálculos matemáticos, con el apoyo de Topografía, realizan mediciones a las biopilas con los equipos de topografía y calculan el volumen de suelo en tratamiento, ubicado en los CGPs.

### **Volumen de Crudo Recuperado**

El Volumen de Crudo Recuperado, es un Indicador Ambiental que mide el volumen de crudo recolectado o succionado de las fuentes de contaminación (derrames, piscinas o fosas) y transportado por el camión vacuum desde los frentes de trabajo hacia las piscinas de la PTR, del

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

Proyecto de Remediación, en donde se realiza el tratamiento, recuperación del hidrocarburo para finalmente ser reinyectado al Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE).

## **Superficie del Área Revegetada**

La Superficie del Área Revegetada, es un Indicador Ambiental que mide la superficie de las áreas rehabilitadas en m<sup>2</sup> o hectáreas. Para determinar la superficie de las áreas afectadas, el personal del departamento de Topografía con el equipo de topografía realiza el levantamiento planimétrico de la línea base, antes de la intervención.

La planimetría es la parte de la topografía dedicada al estudio de los procedimientos y los métodos que se ponen en marcha para lograr representar a escala los detalles de un terreno sobre una superficie plana. Lo que hace la planimetría es prescindir del relieve y la altitud para lograr una representación en dirección horizontal. (Definición, 2022)

## **FASE DE GABINETE**

Durante la fase de gabinete, se realiza la recopilación de información bibliográfica de la zona de estudio. Por otra parte, se realiza la revisión y análisis de los resultados de los análisis de laboratorio realizado a los suelos contaminados con hidrocarburos y se procede con la comparación de los valores máximos permisibles, para remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, para uso de suelo agrícola, Industrial o Ecosistema Sensible.

Con los resultados de las concentraciones de TPH, reportadas por los laboratorios acreditados ante el SAE, se realizaron los cálculos de los siguientes Indicadores Ambientales: Índices de Calidad (IQ) e Índice de Contaminación (IQ)

# DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

La metodología utilizada para la presente investigación se basó en las fórmulas para el cálculo de los Índices de Calidad (IQ) e Índices de Concentración (IC). (Coral, 2013)

## Cálculo del Índice de Calidad (IQ)

Para calcular el Índice de Calidad (IQ), de cada fuente de contaminación, se divide el resultado de los TPH, de la remediación aerobia, para los TPH máximos permitidos para Ecosistemas Sensibles (<1000 TPH), establecidos en la Normativa Ambiental vigente. (Coral, 2013)

La fórmula es la siguiente:

$$IQ = \frac{\text{TPH remediación aerobia}}{\text{TPH límite permisible}}$$

Fuente: Coral, 2013

**Donde:**

IQ = Índice de Calidad

TPH = Hidrocarburos Totales de Petróleo

**Tabla 2.** Rangos - Índice de Calidad (IQ)

Clase	Escala	Interpretación
1	<1	Remediación Buena
2	1	Remediación Mala
3	>1	Remediación No funciona

Fuente: Coral, 2013

**Ejemplo:**

**Cálculo del índice de Calidad (IQ) – Fuente de Contaminación SOTE\_AU-SA\_01D**

$$IQ = \frac{\text{THP remediación aerobia}}{\text{THP límite permisible}}$$

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

$$IQ = \frac{227}{1000} = 0,227$$

(IQ = <1 = **Remediación Buena**)

**Tabla 3.** Cálculo del Índice de Calidad (IQ) – FC SOTE\_AU-SA\_01D

CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD (IQ) - FUENTES DE CONTAMINACION - POA 2017								
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (FINAL) (mg/kg)	Ecosistema Sensible	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
12	HAVOC	20/10/2017	SOTE_AU-SA_01D	227	1000	<1	0,227	Remediación Buena

**Fuente:** Christiam Lam, 2022

### Cálculo del Índice de Contaminación (IC)

Para calcular el Índice de Contaminación (IC), de cada fuente de contaminación (POA 2017), multiplicamos el volumen de suelo remediado, por el Índice de Calidad (IQ). (Coral, 2013)

La fórmula es la siguiente:

$$\text{Índice de Contaminación (IC)} = \text{Volumen} \times \text{Índice de Calidad (IQ)}$$

**Fuente:** Coral, 2013

**Donde:** IC = Índice de Contaminación

V = Volumen de suelo remediado

IQ = Índice de Calidad

### Ejemplo:

#### Cálculo del Índice de Contaminación (IC) – Fuente de Contaminación SOTE\_AU-SA\_01D

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

$$\text{Índice de Contaminación (IC)} = \text{Volumen} \times \text{Índice de Calidad (IQ)}$$

$$\text{IC} = 2192,07 \times 0,227 = 497,60$$

**Tabla 4.** Cálculo del Índice de Contaminación (IC) – FC SOTE\_AU-SA\_01D

INDICES DE CONTAMINACIÓN (IC) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2017							
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	Área (m2)	Volumen (m3)	Resultados (IQ)	Índice (IC) Contaminación
<b>DERRAMES</b>							
1	Laboratorio HAVOC	20/10/2017	SOTE_AU-SA_01D	1267,09	2192,07	0,23	497,60

**Fuente:** Christiam Lam, 2022

## RESULTADOS

**Cálculo de los Indicadores.** - Los Indicadores son números adimensionales, que son evaluables y comparables. En la presente investigación se evaluaron los resultados de las concentraciones de TPH, reportadas por los laboratorios acreditados ante el SAE, por cada fuente de contaminación, al finalizar el proceso de remediación de los pasivos ambientales, planificados durante el periodo 2017 – 2021.

### Plan Operativo Anual (POA 2017)

- En el Plan Operativo Anual (POA 2017), se programaron 20 fuentes de contaminación, de las cuales se remediaron 12 derrames (60%), 7 fosas (35%) y 1 piscina (5%).

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

- En el Plan Operativo Anual (POA 2017), se eliminaron 20 fuentes de contaminación, que corresponden a una superficie de 17.030,02 m<sup>2</sup> de área rehabilitada y un volumen de 20.966,55 m<sup>3</sup>, de suelo remediado.
- En el Plan Operativo Anual (POA 2017), se evidenció que los resultados iniciales de los análisis de laboratorio a las muestras de suelos contaminados, reportaron valores entre 1.510,03 – 50.000 mg/kg de TPH, mientras que luego de realizados los trabajos de remediación de pasivos ambientales, los resultados finales de los análisis de laboratorio, reportaron valores entre 71 - 281 mg/kg de TPH, por lo que se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue correcta, debido a que los niveles de concentración de TPH, disminuyeron bajo los límites permisibles para Uso de Ecosistemas sensibles (<1000 mg/kg), establecido en la Normativa Ambiental vigente.
- Los resultados de los análisis del Índice de Calidad (IQ), para todas las fuentes de contaminación 2017, fueron menores a 1 (<1), por lo que se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue la correcta, en el 100% de las fuentes de contaminación remediadas.
- En 2017 los resultados de los análisis del Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Piscina SA\_198\_03P, dio como resultado un IC = 1178,15 lo que representa el mayor Índice de Contaminación; Mientras que, pasivo ambiental Fosa SA\_158\_07F, dio como resultado un IC = 1,79 lo que representa el menor Índice de Contaminación.

### **Plan Operativo Anual (POA 2018)**

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

- En el Plan Operativo Anual (POA 2018), se programaron 15 fuentes de contaminación, de las cuales se remediaron 9 derrames (60%), 2 fosas (13%) y 4 piscina (27%).
- En el Plan Operativo Anual (POA 2018), se eliminaron 15 fuentes de contaminación, que corresponden a una superficie de 20.937,79 m<sup>2</sup> de área rehabilitada y un volumen de 41.615,60 m<sup>3</sup>, de suelo remediado.
- En el Plan Operativo Anual (POA 2018), se evidenció que los resultados iniciales de los análisis de laboratorio a las muestras de suelos contaminados, reportaron valores entre 2.726 – 50.000 mg/kg de TPH, mientras que luego de realizados los trabajos de remediación de pasivos ambientales, los resultados finales de los análisis de laboratorio, reportaron valores entre 45 - 828,27 mg/kg de TPH, por lo que se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue correcta, debido a que los niveles de concentración de TPH, disminuyeron bajo los límites permisibles para Uso de Ecosistemas sensibles (<1000 mg/kg), establecido en la Normativa Ambiental vigente.
- En el Plan Operativo Anual (POA 2018), se concluye que la fuente de contaminación Derrame EST\_SA\_N1\_04D, reportó un resultado final de 1.868,41 mg/kg de TPH, sobre los límites permisibles para Uso de Ecosistemas sensibles (<1000 mg/kg), establecido en la Normativa Ambiental vigente.
- Los resultados de los análisis del Índice de Calidad (IQ), en la mayoría de las fuentes de contaminación 2018, fueron menores a 1 (<1), a excepción de la fuente de contaminación Derrame EST\_SA\_N1\_04D, que registró un Índice de Calidad mayor a 1 (IQ = 1,87), de

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

por lo que, se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue la correcta, en el 93% de las fuentes de contaminación remediadas.

- En 2018 los resultados de los análisis del Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Piscina SA\_PROF\_01P, dio como resultado un IC = 1677,01 lo que representa el mayor Índice de Contaminación; Mientras que, pasivo ambiental Fosa EST\_SA\_CNT\_POWER\_OIL\_01F, dio como resultado un IC = 9,11 lo que representa el menor Índice de Contaminación.

### **Plan Operativo Anual (POA 2019)**

- En el Plan Operativo Anual (POA 2019), se programaron 14 fuentes de contaminación, de las cuales se remediaron 11 derrames (79%), 2 fosas (14%) y 1 piscina (7%).
- En el Plan Operativo Anual (POA 2019), se eliminaron 14 fuentes de contaminación, que corresponden a una superficie de 19.325,41 m<sup>2</sup> de área rehabilitada y un volumen de 17.374,82 m<sup>3</sup>, de suelo remediado.
- En el Plan Operativo Anual (POA 2019), se evidenció que los resultados iniciales de los análisis de laboratorio a las muestras de suelos contaminados, reportaron valores entre 739,36 – 10036,45 mg/kg de TPH, mientras que luego de realizados los trabajos de remediación de pasivos ambientales, los resultados finales de los análisis de laboratorio, reportaron valores entre 40 - 808 mg/kg de TPH, por lo que se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue correcta, debido a que los niveles de concentración de TPH, disminuyeron bajo los límites permisibles para Uso de Ecosistemas sensibles (<1000 mg/kg), establecido en la Normativa Ambiental vigente.

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

- Los resultados de los análisis del Índice de Calidad (IQ), en todas las fuentes de contaminación 2019, fueron menores a 1 ( $<1$ ), de por lo que, se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue la correcta, en el 100% de las fuentes de contaminación remediadas.
- En 2019 los resultados de los análisis del Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Derrame LF\_SA\_136\_01D, dio como resultado un IC = 3114,02 lo que representa el mayor Índice de Contaminación; Mientras que, pasivo ambiental Fosa LF\_SA\_163\_02F, dio como resultado un IC = 1,15 lo que representa el menor Índice de Contaminación.

### **Plan Operativo Anual (POA 2020)**

- En el Plan Operativo Anual (POA 2020), se programaron 9 fuentes de contaminación, de las cuales se remediaron 8 derrames (89%), 0 fosas (0%) y 1 piscina (11%).
- En el Plan Operativo Anual (POA 2020), se eliminaron 9 fuentes de contaminación, que corresponden a una superficie de 9.403,57 m<sup>2</sup> de área rehabilitada y un volumen de 6.128,99 m<sup>3</sup>, de suelo remediado.
- En el Plan Operativo Anual (POA 2020), se evidenció que los resultados iniciales de los análisis de laboratorio a las muestras de suelos contaminados, reportaron valores entre 2.605 – 50.000 mg/kg de TPH, mientras que luego de realizados los trabajos de remediación de pasivos ambientales, los resultados finales de los análisis de laboratorio, reportaron valores entre 40 - 276 mg/kg de TPH, por lo que se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue correcta, debido a que los niveles de concentración de TPH, disminuyeron bajo los límites permisibles para

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

Uso de Ecosistemas sensibles ( $<1000$  mg/kg), establecido en la Normativa Ambiental vigente.

- Los resultados de los análisis del Índice de Calidad (IQ), en todas las fuentes de contaminación 2020, fueron menores a 1 ( $<1$ ), por lo que, se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue la correcta, en el 100% de las fuentes de contaminación remediadas.
- En 2020 los resultados de los análisis del Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Piscina SA\_116\_01P, dio como resultado un  $IC = 285,99$  lo que representa el mayor Índice de Contaminación; Mientras que, pasivo ambiental Derrame LF\_SA\_189\_01D, dio como resultado un  $IC = 6,70$  lo que representa el menor Índice de Contaminación.

### **Plan Operativo Anual (POA 2021)**

- En el Plan Operativo Anual (POA 2021), se programaron 9 fuentes de contaminación, de las cuales se remediaron 8 derrames (89%), 0 fosas (0%) y 1 piscina (11%).
- En el Plan Operativo Anual (POA 2021), se eliminaron 9 fuentes de contaminación, que corresponden a una superficie de  $7.406,19$  m<sup>2</sup> de área rehabilitada y un volumen de  $8.065,41$  m<sup>3</sup>, de suelo remediado.
- En el Plan Operativo Anual (POA 2021), se evidenció que los resultados iniciales de los análisis de laboratorio a las muestras de suelos contaminados, reportaron valores entre  $1.203 - 50.000$  mg/kg de TPH, mientras que luego de realizados los trabajos de remediación de pasivos ambientales, los resultados finales de los análisis de laboratorio,

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

reportaron valores entre 0 - 029 mg/kg de TPH, por lo que se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue correcta, debido a que los niveles de concentración de TPH, disminuyeron bajo los límites permisibles para Uso de Ecosistemas sensibles (<1000 mg/kg), establecido en la Normativa Ambiental vigente.

- Los resultados de los análisis del Índice de Calidad (IQ), en todas las fuentes de contaminación 2021, fueron menores a 1 (<1), por lo que, se concluye que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales fue la correcta, en el 100% de las fuentes de contaminación remediadas.
- En 2021 los resultados de los análisis del Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Derrame LF\_SA\_164\_01D, dio como resultado un IC = 558,43 lo que representa el mayor Índice de Contaminación; Mientras que, pasivo ambiental Derrame LF\_SA\_182\_04D, dio como resultado un IC = 36,38 lo que representa el menor Índice de Contaminación.

### DISCUSIÓN

- En la presente investigación realizada a los procesos de remediación de pasivos ambientales, durante el periodo (2017 - 2021), se determinó que la metodología aplicada para la remediación de pasivos ambientales es la correcta, en base a que los resultados de los Índices de Calidad fueron (<1). Al respecto, también se determinó que los trabajos de remediación de suelos contaminados in situ y ex situ fueron correctos, debido a que los resultados de los Índices de Contaminación fueron (<1000).

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

- En el presente trabajo de investigación, fue importante contar con los Informes de los resultados de los análisis fisicoquímicos de los suelos contaminados con hidrocarburos, realizados por laboratorios acreditados ante el SAE, al inicio de la intervención de la fuente de Contaminación y al final de la remediación de los pasivos ambientales durante los periodos 2017 – 2021 y aplicar las fórmulas de los Índices de Calidad (IQ), para determinar la efectividad de la remediación ambiental e Índices de Contaminación (IC), para determinar el nivel concentración de los TPH, en cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la Normativa Ambiental vigente.
- No se ha encontrado trabajos de investigación sobre análisis de Índices de Calidad (IQ) e Índices de Contaminación (IC), para evaluar los procedimientos de remediación de pasivos ambientales, en el Sector Hidrocarburífero, que permitan comparar los datos obtenidos en la presente investigación, con estudios anteriores.
- Coral, Katty (2013) Control de la contaminación de aguas residuales, realizó análisis de Índices de Calidad (IQ) e Índices de Contaminación (IC), de aguas residuales contaminadas.
- Coria, Daniel Ignacio (2007) Remediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos, realizó estudios sobre Técnicas de Remediación de Suelos Contaminados: Bioventilación (In situ), Extracción de vapores del suelo (In situ), Incineración (Ex situ), sin embargo, no realizó análisis de Índices de Calidad (IQ) e Índices de Contaminación (IC).
- Lázaro Cebas, Julián (2015) Actividad enzimática en suelos contaminados por metales pesados y sus implicaciones como indicadores de calidad, describe las enzimas más utilizadas en el análisis de suelos, su función biológica y las ventajas e inconvenientes

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

que presenta su uso como indicador de calidad de los suelos, sin embargo, no realiza análisis de los Índices de Contaminación (IC) de los suelos en tratamiento.

### CONCLUSIONES

- Durante el periodo 2017 – 2021, el Proyecto de Remediación ha intervenido 67 fuentes de contaminación, de las cuales en mayor número corresponden a 48 derrames (71.64%), 11 fosas (16.42%) y 8 piscinas (11.94%),
- Se ha cumplido con los límites permisibles de TPH, para Ecosistema sensible (<1000 mg/kg), Uso agrícola (<2500 mg/kg) y Uso industrial (<4000 mg/kg), establecidos en la Normativa Ambiental vigente.
- En 2017, el Índice de Calidad (IQ) determinó una remediación de pasivos ambientales buena, en un 100%, mientras que el Índice de Concentración (IC) cumplió con la normativa Ambiental en un 95%.
- En 2018, el Índice de Calidad (IQ) determinó una remediación de pasivos ambientales buena, en un 93%, mientras que el Índice de Concentración (IC) cumplió con la normativa Ambiental en un 93%.
- En 2019, el Índice de Calidad (IQ) determinó una remediación de pasivos ambientales buena, en un 100%, mientras que el Índice de Concentración (IC) cumplió con la normativa Ambiental en un 93%.
- En 2020, el Índice de Calidad (IQ) determinó una remediación de pasivos ambientales buena, en un 100%, mientras que el Índice de Concentración (IC) cumplió con la normativa Ambiental en un 100%.

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

- En 2021, el Índice de Calidad (IQ) determinó una remediación de pasivos ambientales buena, en un 100%, mientras que el Índice de Concentración (IC) cumplió con la normativa Ambiental en un 100%.
- En 2017 el Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Piscina SA\_198\_03P, fue mayor con un IC = 1178,15. Mientras que el pasivo ambiental Fosa SA\_158\_07F, fue menor con un IC = 1,79.
- En 2018 el Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Piscina SA\_PROF\_01P, fue mayor con un IC = 1677,01, Mientras que el pasivo ambiental Fosa EST\_SA\_CNT\_POWER\_OIL\_01F, fue menor con un IC = 9,11.
- En 2019 el Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Derrame LF\_SA\_136\_01D, fue mayor con un IC = 3114,02. Mientras que, pasivo ambiental Fosa LF\_SA\_163\_02F, fue menor con un IC = 1,15.
- En 2020 el Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Piscina SA\_116\_01P, fue mayor con un IC = 285,99. Mientras que, pasivo ambiental Derrame LF\_SA\_189\_01D, fue menor con un IC = 6,70.
- En 2021 el Índice de Contaminación (IC), en el pasivo ambiental Derrame LF\_SA\_164\_01D, fue mayor con un IC = 558,43. Mientras que, pasivo ambiental Derrame LF\_SA\_182\_04D, fue menor con un IC = 36,38.

### RECOMENDACIONES

Se recomienda experimentar con nuevas técnicas para la remediación de pasivos ambientales, con la finalidad de disminuir concentración de TPH, tiempos y costos, mediante:

- Investigación de nuevos microorganismos degradadores hidrocarburos

## DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

- Formular biofertilizantes aporten nutrientes a suelos contaminados
- Construir de un incinerador para el tratamiento de crudo intemperizado
- Construir ladrillos y adoquines para la disposición final de la ceniza
- Validar productos comerciales para degradación de hidrocarburos
- Impulsar la transferencia de tecnologías a nivel nacional e internacional
- Valoración de servicios socioambientales generados por el Proyecto
- Seguimiento y monitoreo de pasivos ambientales remediados.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Acuerdo Ministerial No. 026. (2008). *Procedimientos para registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental y para el transporte de materiales peligrosos*. Quito - Ecuador: Registro Oficial No. 334 del 12 de mayo de 2008.

Acuerdo Ministerial No. 061. (2015). *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Tratamientos Físicos de Suelos Contaminados*. Quito - Ecuador: Edición Especial N° 316 - Registro Oficial - Lunes 4 de mayo de 2015.

Acuerdo Ministerial No. 097-A. (2015). *Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria*. Quito: Ministerio del Ambiente - Registro Oficial.

Acuerdo Ministerial No. 100-A . (2020). *Acuerdo Ministerial No. 100-A Expídase el Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador - Registro Oficial No. 174 - 1 de abril de 2020*. Quito: Registro Oficial.

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

- Acuerdo Ministerial No. 142. (2012). *Listados nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales*. Quito - Ecuador: Suplemento -- Registro Oficial N° 856.
- Albuja, L., Armendáriz, A., Barriga, R., Montalvo, L., Cáceres, F., & Román, J. (2012). *Fauna de Vertebrados del Ecuador*. Quito - Ecuador: Instituto de Ciencias Biológicas. Escuela Politécnica Nacional.
- AME. (2010). *Cantón Joya de los Sachas, Asociación de Municipalidades Ecuatorianas*. Obtenido de <https://ame.gob.ec/canton-joya-de-los-sachas/>
- ATSDR. (2016). *Hidrocarburos totales de petróleo (Total Petroleum Hydrocarbons) - Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts123.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html)
- ATSDR. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) [Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PHA)]*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs69.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.html)
- Becerra, S. (2013). *Vivir con la contaminación petrolera en el Ecuador: percepciones sociales del riesgo sanitario y capacidad de respuesta*. Quito - Ecuador: Revista Líder Vol. 23.
- Blog QHSE. (2021). *Seguridad en el trabajo: El Permiso de Trabajo en la era digital*. Obtenido de <https://www.blog-qhse.com/es/seguridad-en-el-trabajo-el-permiso-de-trabajo-en-la-era-digital>
- Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*. Quito - Ecuador: Acción Ecológica.
- Castillo Rojas, P. (2009). *Aplicación de la técnica de Landfarming para la Remediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos*. Piura - Perú: Universidad de Piura.

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

ChemicalSafetyFacts.org. (2021). *Surfactantes*. Obtenido de <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/surfactantes/>

COA. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Presidencia de la República del Ecuador.

Constitución del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial (R.O.) No. 449 el 20 de octubre del 2008*. Montecristi - Ecuador: Asamblea Nacional.

Contraloría General del Estado. (2016). *Informe General - Examen especial de control ambiental a la remediación y rehabilitación de pasivos ambientales, al*. Quito - Ecuador: Dirección de Auditoría de Proyectos y Ambiental.

Coral, K. (2013). *Control de la contaminación de aguas residuales*. Quito: Universidad Internacional SEK.

Coria, I. D. (2007). *Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Buenos Aires - Argentina: Universidad Abierta Interamericana.

Definición. (2022). *Definición de Planimetría*. Obtenido de <https://definicion.de/planimetria/>

DIVULGA. (2012). *El plomo: un problema medioambiental y para la salud*. Obtenido de <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/el-plomo-un-problema-medioambiental-y-para-la-salud-1345680342040.html?noticiaid=1345777559254>

Ecología Verde. (2020). *Indicadores ambientales: qué son, tipos y ejemplos*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/indicadores-ambientales-que-son-tipos-y-ejemplos-2759.html>

Ecologistas en Acción. (2016). *La huella tóxica de Texaco en Ecuador*. Obtenido de <https://www.ecologistasenaccion.org/32593/>

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

- Ecuador Documents. (2012). *Procedimiento de Permisos de Trabajo*. Obtenido de Departamento de Salud, Seguridad y Ambiente - Petroamazonas EP:  
<https://fdocuments.ec/document/permisos-de-trabajo-petroamazonas.html>
- EcuRed. (2020). *Cantón La Joya de los Sachas (Ecuador)*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n\\_La\\_Joya\\_de\\_los\\_Sachas\\_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_La_Joya_de_los_Sachas_(Ecuador))
- Emberiza Medioambiente. (2017). *Sostenibilidad y Cambio Climático*. Obtenido de Recuperación de Suelos Contaminados: Biorremediación:  
<https://www.emberizamedioambiente.es/noticia-medio-ambiente/recuperacion-de-suelos-contaminados-biorremediacion>
- Fontaine, G. (2003). *Informe Final Proyecto FLACSO – Petroecuador - Segunda Fase - Estudio sobre los conflictos socio ambientales en los campos Sacha y Shushufindi (1994-2002)*. Quito: FLACSO - PETROECUADOR.
- IAUSA. (2020). *¿Qué es un Fitorregulador ?* Obtenido de <https://iausa.com.mx/hormonas-vegetales-o-fitorreguladores/>
- La Nación. (2021). *Amazonía Viva’, Un proyecto ecuatoriano por la naturaleza y sus habitantes*. Obtenido de <https://lanacion.com.ec/amazonia-viva-un-proyecto-ecuatoriano-por-la-naturaleza-y-sus-habitantes/>
- Lázaro Cebas, J. (2015). *Actividad enzimática en suelos contaminados por metales pesados y sus implicaciones como indicadores de calidad*. Madrid, España: Universidad Complutense.
- Lenntech. (2021). *Propiedades químicas del Cadmio - Efectos del Cadmio sobre la salud - Efectos ambientales del Cadmio*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

Lenntech. (2021). *Propiedades químicas del Níquel- Efectos del Níquel sobre la salud - Efectos ambientales del Níquel*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm>

Ley Organica Territorial Amazónica. (2018). *Ley Orgánica para la Planificación Integral de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica*. Quito, Ecuador: Asamblea Nacional del Ecuador.

MAATE. (2021). *Gestión de Pasivos Ambientales y Sociales - MAATE*. Obtenido de Programa de Reparación Ambiental y Social - PRAS: <http://pras.ambiente.gob.ec/web/sinari/definicion-gpas-politica-publica>

MAE. (2013). *Ministerio del Ambiente del Ecuador. Sistemas de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental. Proyecto de Mapa de Vegetación del Ecuador*. Quito - Ecuador: Dirección Nacional Forestal. Subsecretaría de Patrimonio Natural.

Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS).

MINAM. (2014). *Guía para Muestreo de Suelos*. Lima - Perú: Ministerio del Ambiente.

Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana. (2014). *El caso Chevron / Texaco en Ecuador, Una lucha por la justicia ambiental y social*. Quito: Universidad Popular del Buen Vivir.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Dispersión Química*. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/dispersion\\_quimica.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/dispersion_quimica.aspx)

NTE INEN 2266. (2013). *Transporte, Etiquetado, Almacenamiento y Manejo de Materiales Peligrosos. Requisitos*. Quito: INEN.



DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

ANEXOS

**Tabla 5.** Resumen - Fuentes de contaminación remediadas por año (2017 - 2021)

Año	Derrames	Fosas	Piscinas	Área suelos remediados (m <sup>2</sup> )	Volumen suelos remediados (m <sup>3</sup> )
2017	12	7	1	17030,02	20966,55
2018	9	2	4	20937,79	41615,64
2019	11	2	1	19325,41	17374,82
2020	8	0	1	9403,57	6128,99
2021	8	0	1	7406,19	8065,41
<b>TOTAL</b>	<b>48</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>74102,98</b>	<b>94151,41</b>

Fuente: Christiam Lam, 2022

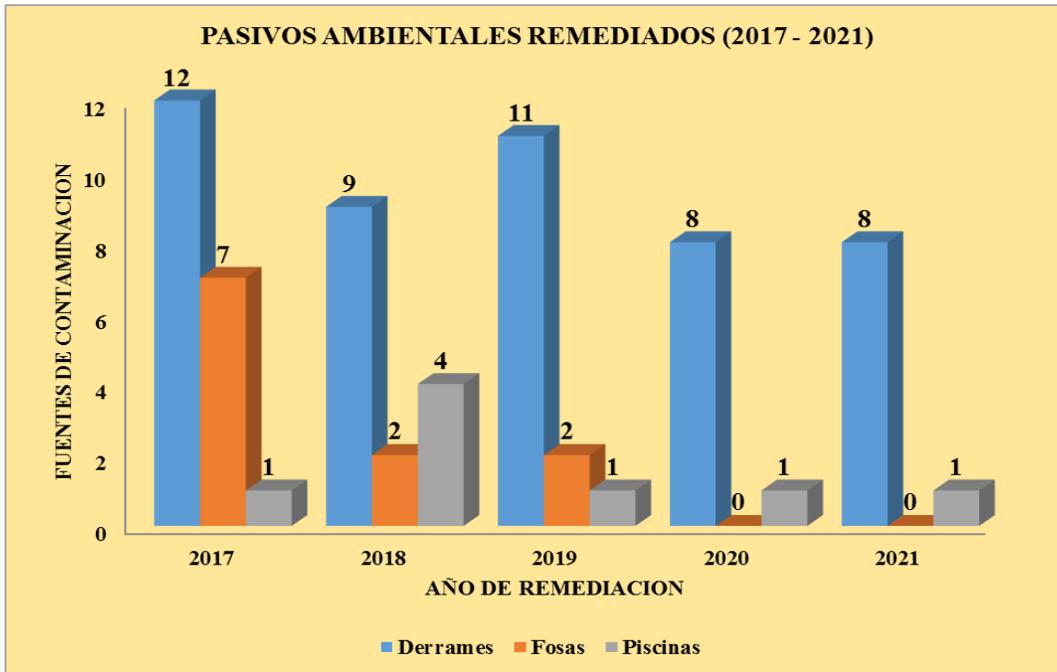
**Figura 3.** Fuentes de Contaminación (2017 - 2022)



Fuente: Christiam Lam, 2022

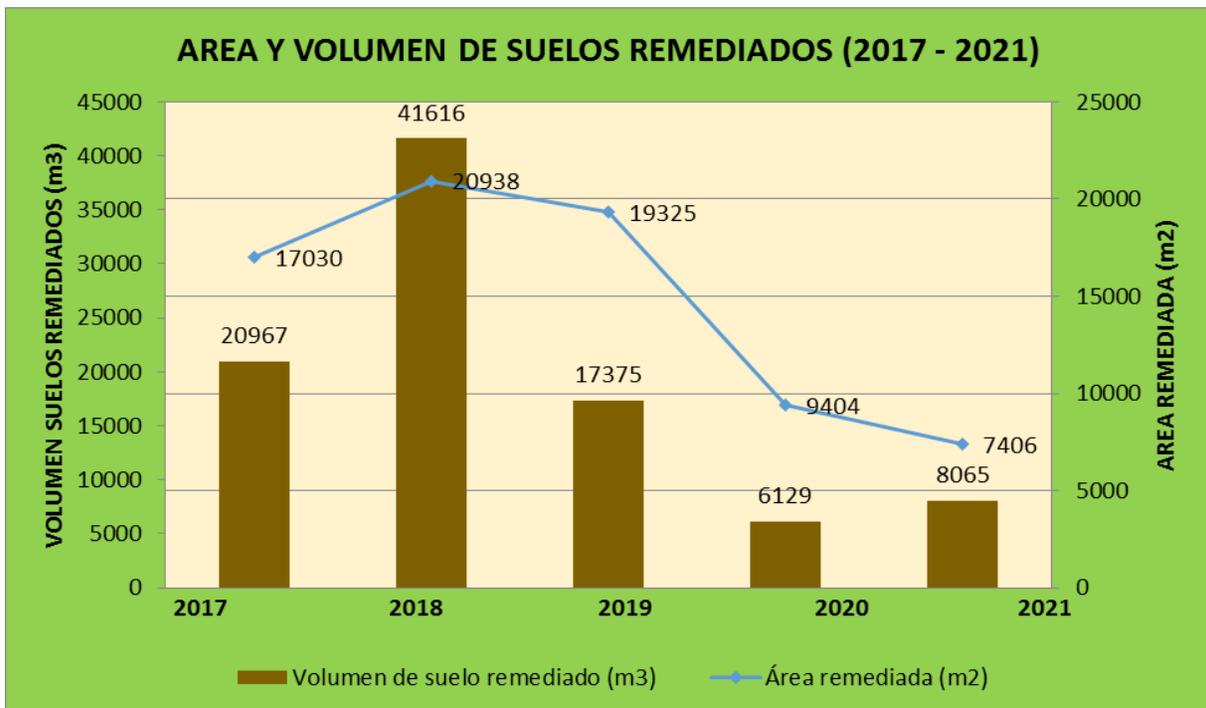
DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Figura 4.** Pasivos Ambientales Remediados (2017-2021)



**Fuente:** Christiam Lam, 2022

**Figura 5.** Fuentes de contaminación remediadas por año (2017 - 2021)



**Fuente:** Christiam Lam, 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Tabla 6.** Parámetros – Análisis Fuentes de Contaminación - POA 2017 - 2021

ANÁLISIS FUENTES DE CONTAMINACION - POA 2017 - 2021						
TABLA 6 RAOHE						
Laboratorios Acreditados SAE	Método de ensayo Laboratorio CESTTA	PEE/CESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	PEE/CESTTA/23 EPA SW-846 Method 8310	PEE/CESTTA/77 EPA SW- 846 N 3050B, 7520	PEE/CESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	PEE/CESTTA/26 TNRCC 1005
	Método de ensayo Laboratorio HAVOC	MESS-01/07 EPA 3050 B/7130	MESS-06 EPA 3545/8310	MESS-01/07 EPA 3050 B/7520	MESS-01/07 EPA 3050 B/7420	MESS-02 EPA 8440, 418,1
ANALISIS SOLICITADOS		Cadmio (mg/kg)	HAPs (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Plomo (Pb) (mg/kg)	TPH (mg/kg)
Límite Máximo Permissible TABLA 6 RAOHE	Uso Industrial	<10	<5	<100	<500	<4000
	Uso Agrícola	<2	<2	<50	<100	<2500
	Ecosistema Sensible	<1	<1	<40	<80	<1000

Fuente: (RAOHE, 2010)

**Tabla 7.** Índices de Calidad (IQ) – Pasivos Ambientales (2017)

INDICES DE CALIDAD (IQ)								
PASIVOS AMBIENTALES - POA 2017								
No.	Nº INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (FINAL) mg/kg)	Ecosistema Sensible	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
<b>DERRAMES</b>								
1	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	LF_SA_122_01D	157	1000	<1	0,16	Remediación Buena
2	Laboratorio HAVOC	07/04/2017	LF_SA_123_01D	273	1000	<1	0,27	Remediación Buena
3	Laboratorio CESTTA	02/08/2017	LF_SA_153_01D	100	1000	<1	0,10	Remediación Buena
4	Laboratorio CESTTA	02/08/2017	LF_SA_153_02D	71	1000	<1	0,07	Remediación Buena
5	Laboratorio CESTTA	30/08/2017	LF_SA_191_01D	71	1000	<1	0,07	Remediación Buena
6	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	LF_SA_191_02D	222	1000	<1	0,22	Remediación Buena
7	Laboratorio HAVOC	02/03/2017	SA_119_01,02,03D	193	1000	<1	0,19	Remediación Buena
8	Laboratorio HAVOC	27/04/2017	SA_120_01D	137	1000	<1	0,14	Remediación Buena
9	Laboratorio HAVOC	18/05/2017	SA_122_01D	167	1000	<1	0,17	Remediación Buena

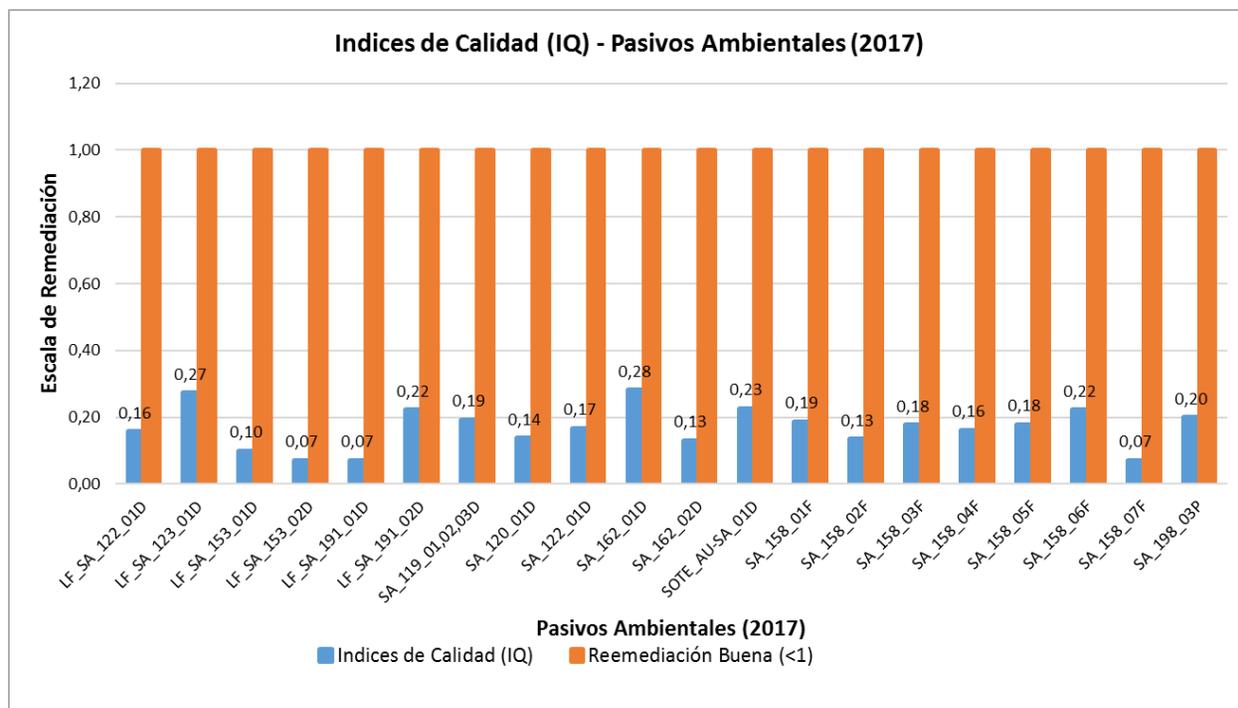
DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

INDICES DE CALIDAD (IQ) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2017								
No.	Nº INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (FINAL) mg/kg)	Ecosistema Sensible	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
10	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	SA_162_01D	281	1000	<1	0,28	Remediación Buena
11	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	SA_162_02D	130	1000	<1	0,13	Remediación Buena
12	Laboratorio HAVOC	20/10/2017	SOTE_AU-SA_01D	227	1000	<1	0,23	Remediación Buena
<b>FOSAS</b>								
13	Laboratorio HAVOC	22/03/2017	SA_158_01F	186	1000	<1	0,19	Remediación Buena
14	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_02F	134	1000	<1	0,13	Remediación Buena
15	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_03F	177	1000	<1	0,18	Remediación Buena
16	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_04F	162	1000	<1	0,16	Remediación Buena
17	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_05F	178	1000	<1	0,18	Remediación Buena
18	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_06F	222	1000	<1	0,22	Remediación Buena
19	Laboratorio CESTTA	02/08/2017	SA_158_07F	71	1000	<1	0,07	Remediación Buena
<b>PISCINAS</b>								
20	Laboratorio HAVOC	20/10/2017	PISCINA SA_198_03P	199	1000	<1	0,20	Remediación Buena

Fuente: Christiam Lam, 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

Figura 6. Índices de Calidad (IQ) - Fuentes de Contaminación (2017)



Fuente: Christian Lam, 2022

Tabla 8. Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2017)

INDICES DE CONTAMINACIÓN (IC) PASIVOS AMBIENTALES – POA 2017							
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	Área (m2)	Volumen (m3)	Resultados (IQ)	Índice (IC) Contaminación
<b>DERRAMES</b>							
1	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	LF_SA_122_01D	966,84	794,07	0,16	124,67
2	Laboratorio HAVOC	07/04/2017	LF_SA_123_01D	1128,58	1738,17	0,27	474,52
3	Laboratorio CESTTA	02/08/2017	LF_SA_153_01D	1151,68	737,08	0,10	73,71
4	Laboratorio CESTTA	02/08/2017	LF_SA_153_02D	1884,16	2110,26	0,07	149,83
5	Laboratorio CESTTA	30/08/2017	LF_SA_191_01D	689,74	296,59	0,07	21,06
6	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	LF_SA_191_02D	3784,94	1064	0,22	236,21

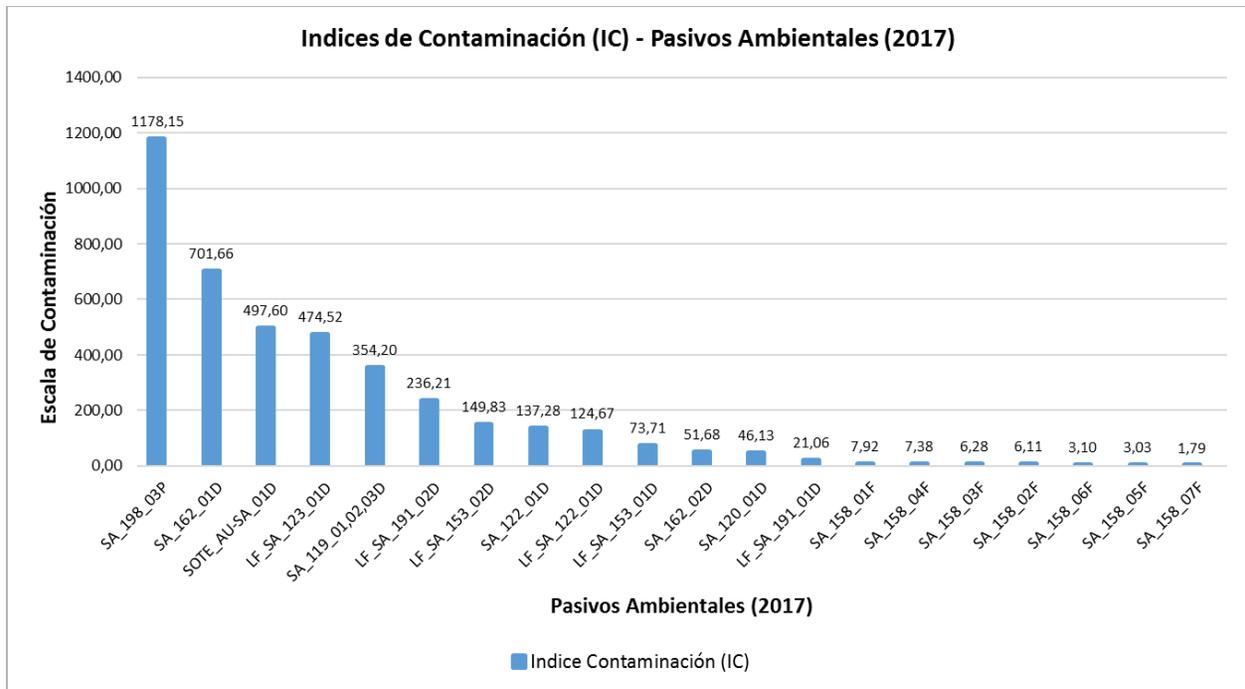
DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

INDICES DE CONTAMINACIÓN (IC) PASIVOS AMBIENTALES – POA 2017							
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	Área (m2)	Volumen (m3)	Resultados (IQ)	Índice (IC) Contaminación
7	Laboratorio HAVOC	02/03/2017	SA_119_01,02,03D	2064,86	1835,25	0,19	354,20
8	Laboratorio HAVOC	27/04/2017	SA_120_01D	300,61	336,68	0,14	46,13
9	Laboratorio HAVOC	18/05/2017	SA_122_01D	838,22	822,06	0,17	137,28
10	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	SA_162_01D	898,15	2497,01	0,28	701,66
11	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	SA_162_02D	310,84	397,53	0,13	51,68
12	Laboratorio HAVOC	20/10/2017	SOTE_AU-SA_01D	1267,09	2192,07	0,23	497,60
<b>FOSAS</b>							
13	Laboratorio HAVOC	22/03/2017	SA_158_01F	40,36	42,58	0,19	7,92
14	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_02F	28,32	45,62	0,13	6,11
15	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_03F	14,19	35,5	0,18	6,28
16	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_04F	26,68	45,53	0,16	7,38
17	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_05F	20,6	17	0,18	3,03
18	Laboratorio HAVOC	13/03/2017	SA_158_06F	12,22	13,98	0,22	3,10
19	Laboratorio CESTTA	02/08/2017	SA_158_07F	25,04	25,24	0,07	1,79
<b>PISCINAS</b>							
20	Laboratorio HAVOC	20/10/2017	PISCINA SA_198_03P	1576,9	5920,33	0,20	1178,15

Fuente: Christiam Lam, 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Figura 7.** Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2017)



Fuente: Christiam Lam, 2022

**Tabla 9.** Índices de Calidad (IQ) - Pasivos Ambientales (2018)

INDICES DE CALIDAD (IQ) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2018								
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (Final) (mg/kg)	Límite Permisible Tabla 6	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
<b>DERRAMES</b>								
1	Laboratorio HAVOC	13/11/2017	EST_SA_N1_01D	119	1000	<1	0,12	Remediación Buena
2	Laboratorio HAVOC	13/11/2017	EST_SA_N1_02D	74	1000	<1	0,07	Remediación Buena
3	Laboratorio HAVOC	13/11/2017	EST_SA_N1_03D	66	1000	<1	0,07	Remediación Buena
4	Laboratorio CESTTA	19/05/2018	EST_SA_N1_04D	1868,41	1000	>1	1,87	Remediación No funciona
5	Laboratorio CESTTA	19/05/2018	EST_SA_N1_05D	828,27	1000	<1	0,83	Remediación Buena
6	Laboratorio HAVOC	20/10/2017	LF_SA_172_02D	85	1000	<1	0,09	Remediación Buena

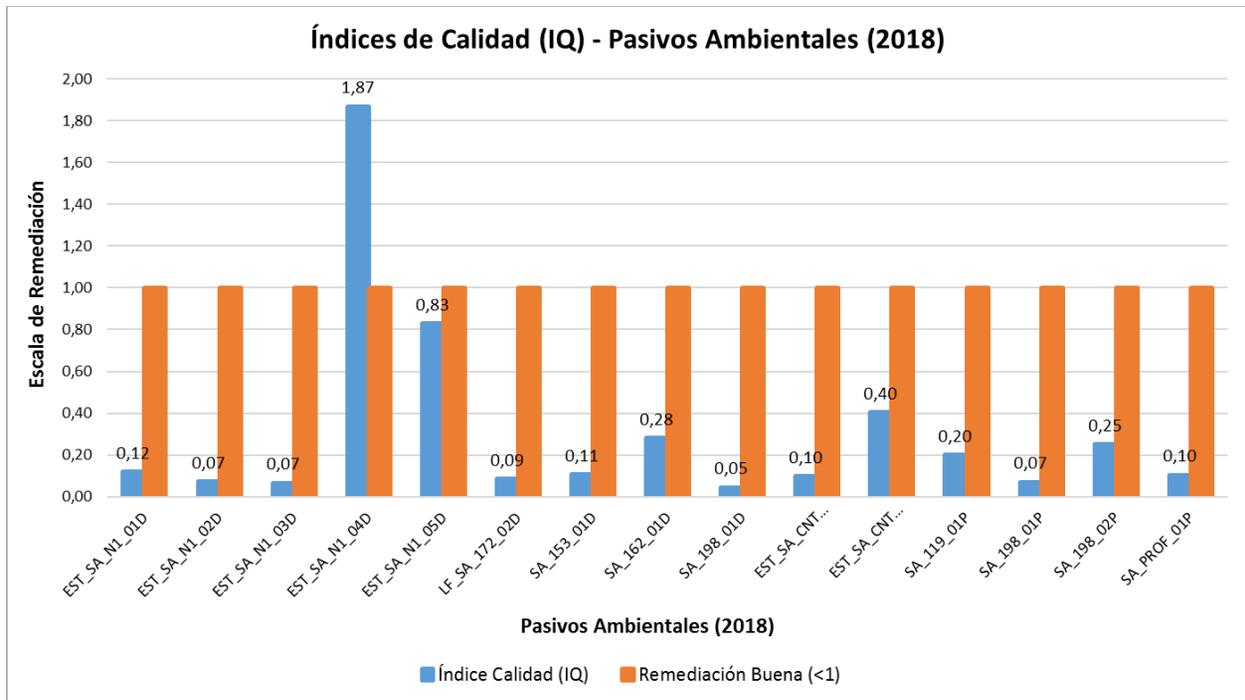
DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

<b>INDICES DE CALIDAD (IQ) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2018</b>								
<b>No.</b>	<b>N° INFORME ENSAYO</b>	<b>FECHA</b>	<b>CODIGO PASIVO</b>	<b>TPH (Final) (mg/kg)</b>	<b>Límite Permisible Tabla 6</b>	<b>Índice Calidad (IQ)</b>	<b>Resultados (IQ)</b>	<b>Interpretación (IQ)</b>
7	Laboratorio HAVOC	06/06/2017	SA_153_01D	106	1000	<1	0,11	Remediación Buena
8	Laboratorio HAVOC	27/02/2017	SA_162_01D	281	1000	<1	0,28	Remediación Buena
9	Laboratorio CESTTA	08/02/2017	SA_198_01D	45	1000	<1	0,05	Remediación Buena
<b>FOSAS</b>								
10	Laboratorio CESTTA	23/10/2018	EST_SA_CNT POWER_OIL_01F	98,62	1000	<1	0,10	Remediación Buena
11	Laboratorio CESTTA	23/10/2018	EST_SA_CNT POWER_OIL_02F	403,75	1000	<1	0,40	Remediación Buena
<b>PISCINAS</b>								
12	Laboratorio HAVOC	08/02/2017	SA_119_01P	199	1000	<1	0,20	Remediación Buena
13	Laboratorio CESTTA	08/02/2017	SA_198_01P	71	1000	<1	0,07	Remediación Buena
14	Laboratorio CESTTA	08/02/2017	SA_198_02P	252,08	1000	<1	0,25	Remediación Buena
15	Laboratorio CESTTA	08/02/2017	SA_PROF_01P	104,68	1000	<1	0,10	Remediación Buena

**Fuente:** Christiam Lam, 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Figura 8.** Índices de Calidad (IQ) - Pasivos Ambientales (2018)



**Fuente:** Christian Lam, 2022

**Tabla 10.** Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2018)

INDICES DE CONTAMINACIÓN (IC) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2018							
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	Área (m2)	Volumen (m3)	Resultados (IQ)	Índice (IC) Contaminación
<b>DERRAMES</b>							
1	Laboratorio HAVOC	22/03/2018	EST_SA_N1_01D	97,78	105,08	0,12	12,50
2	Laboratorio HAVOC	20/04/2018	EST_SA_N1_02D	822,33	947,54	0,07	70,12
3	Laboratorio HAVOC	20/04/2018	EST_SA_N1_03D	209,77	350,32	0,07	23,12
4	Laboratorio CESTTA	06/11/2018	EST_SA_N1_04D	442,98	385,67	1,87	720,59
5	Laboratorio CESTTA	06/11/2018	EST_SA_N1_05D	994,12	966,32	0,83	800,37
6	Laboratorio HAVOC	01/03/2018	LF_SA_172_02D	4962,61	4575,56	0,09	388,92

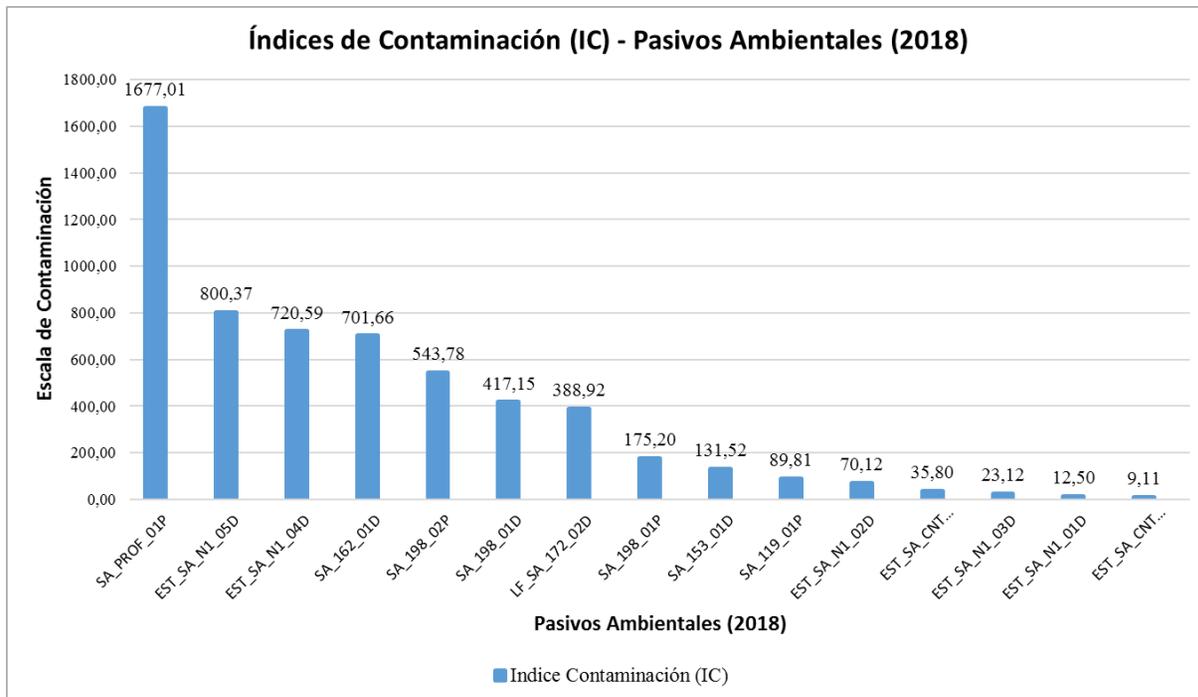
DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

<b>INDICES DE CONTAMINACIÓN (IC) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2018</b>							
<b>No.</b>	<b>N° INFORME ENSAYO</b>	<b>FECHA</b>	<b>CODIGO PASIVO</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Volumen (m3)</b>	<b>Resultados (IQ)</b>	<b>Índice (IC) Contaminación</b>
7	Laboratorio HAVOC	05/07/2018	SA_153_01D	1536,95	1240,73	0,11	131,52
8	Laboratorio HAVOC	23/11/2017	SA_162_01D	898,15	2497,01	0,28	701,66
9	Laboratorio CESTTA	11/12/2018	SA_198_01D	2895,08	9270,03	0,05	417,15
<b>FOSAS</b>							
10	Laboratorio CESTTA	04/12/2018	EST_SA_CNT POWER_OIL_01F	55,54	92,34	0,10	9,11
11	Laboratorio CESTTA	04/12/2018	EST_SA_CNT POWER_OIL_02F	63,76	88,67	0,40	35,80
<b>PISCINAS</b>							
12	Laboratorio HAVOC	20/10/2017	SA_119_01P	314,2	451,32	0,20	89,81
13	Laboratorio CESTTA	08/08/2018	SA_198_01P	720,94	2467,58	0,07	175,20
14	Laboratorio CESTTA	08/08/2018	SA_198_02P	521,45	2157,16	0,25	543,78
15	Laboratorio CESTTA	08/08/2018	SA_PROF_01P	6402,13	16020,31	0,10	1677,01

Fuente: Christiam Lam, 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Figura 9.** Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2018)



Fuente: Christiam Lam, 2022

**Tabla 11.** Índices de Calidad (IQ) - Pasivos Ambientales (2019)

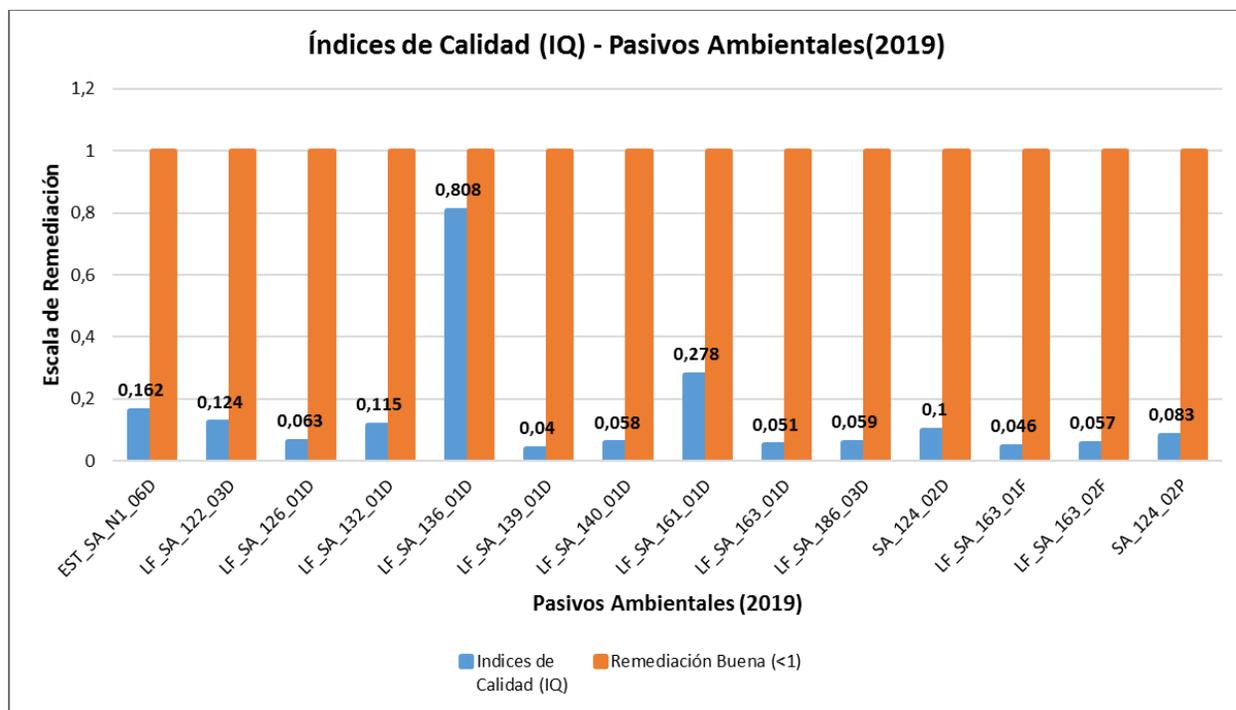
INDICES DE CALIDAD (IQ) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2019								
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (mg/kg)	Límite Permisible Tabla 6	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
<b>DERRAMES</b>								
1	Laboratorio CESTTA	10/01/2019	EST_SA_N1_06D	162	1000	<1	0,16	Remediación Buena
2	Laboratorio CESTTA	29/01/2019	LF_SA_122_03D	124	1000	<1	0,12	Remediación Buena
3	Laboratorio CESTTA	26/04/2019	LF_SA_126_01D	63	1000	<1	0,06	Remediación Buena
4	Laboratorio CESTTA	13/02/2019	LF_SA_132_01D	115	1000	<1	0,12	Remediación Buena
5	Laboratorio CESTTA	29/01/2019	LF_SA_136_01D	808	1000	<1	0,81	Remediación Buena
6	Laboratorio CESTTA	13/02/2019	LF_SA_139_01D	40	1000	<1	0,04	Remediación Buena
7	Laboratorio CESTTA	26/04/2019	LF_SA_140_01D	58	1000	<1	0,06	Remediación Buena
8	Laboratorio CESTTA	13/02/2019	LF_SA_161_01D	278	1000	<1	0,28	Remediación Buena

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

INDICES DE CALIDAD (IQ) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2019								
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (mg/kg)	Límite Permissible Tabla 6	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
9	Laboratorio CESTTA	26/04/2019	LF_SA_163_01D	51	1000	<1	0,05	Remediación Buena
10	Laboratorio CESTTA	29/01/2019	LF_SA_186_03D	59	1000	<1	0,06	Remediación Buena
11	Laboratorio CESTTA	10/01/2019	SA_124_02D	100	1000	<1	0,10	Remediación Buena
<b>FOSAS</b>								
12	Laboratorio CESTTA	22/05/2019	LF_SA_163_01F	46	1000	<1	0,05	Remediación Buena
13	Laboratorio CESTTA	22/05/2019	LF_SA_163_02F	57	1000	<1	0,06	Remediación Buena
<b>PISCINAS</b>								
14	Laboratorio CESTTA	10/01/2019	SA_124_02P	83	1000	<1	0,08	Remediación Buena

Fuente: Christiam Lam, 2022

Figura 10. Índices de Calidad (IQ) - Pasivos Ambientales (2019)



Fuente: Christiam Lam, 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

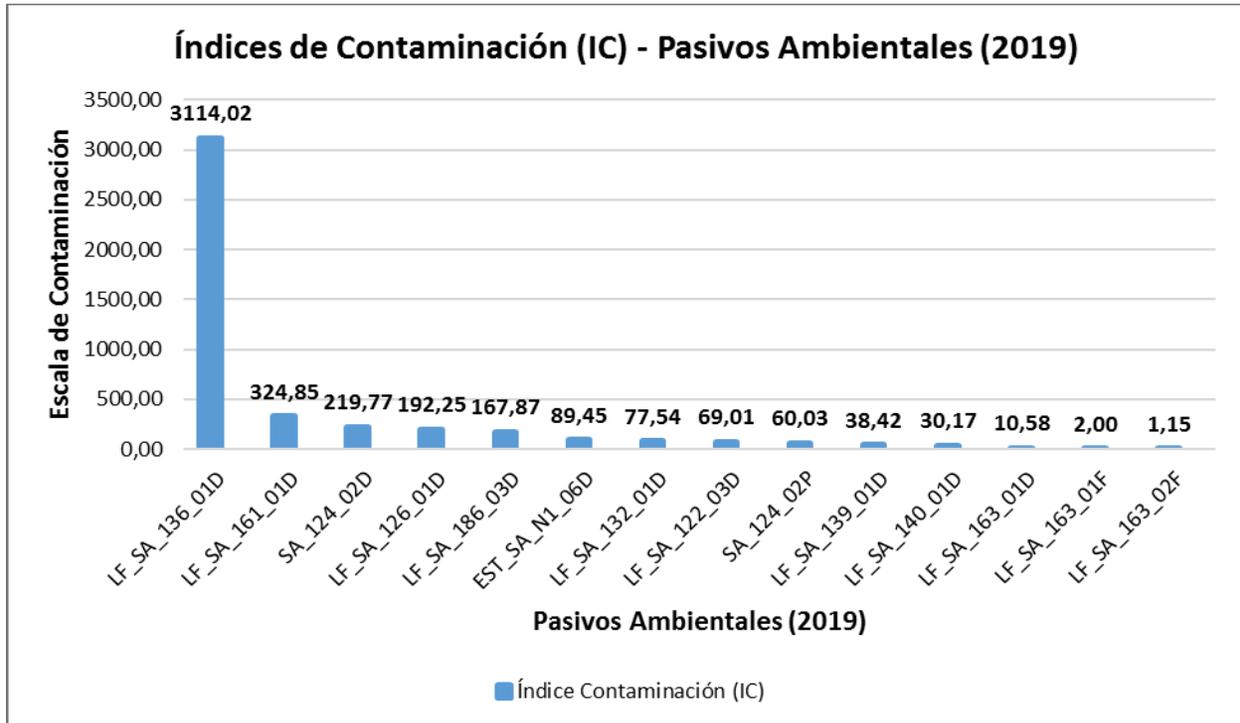
**Tabla 12.** Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2019)

INDICES DE CONTAMINACIÓN (IC) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2019							
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	Área (m2)	Volumen (m3)	Resultados (IQ)	Índice (IC) Contaminación
<b>DERRAMES</b>							
1	Laboratorio HAVOC	19/11/2019	EST_SA_N1_06D	557,1	552,15	0,162	89,45
2	Laboratorio CESTTA	29/03/2019	LF_SA_122_03D	2117,61	556,53	0,124	69,01
3	Laboratorio HAVOC	25/07/2019	LF_SA_126_01D	2629,42	3051,58	0,063	192,25
4	Laboratorio HAVOC	11/11/2019	LF_SA_132_01D	545,41	674,23	0,115	77,54
5	Laboratorio CESTTA	30/05/2019	LF_SA_136_01D	3551,48	3853,99	0,808	3114,02
6	Laboratorio HAVOC	05/12/2019	LF_SA_139_01D	940,95	960,45	0,04	38,42
7	Laboratorio HAVOC	28/11/2019	LF_SA_140_01D	452,49	520,23	0,058	30,17
8	Laboratorio CESTTA	29/03/2019	LF_SA_161_01D	2357,25	1168,52	0,278	324,85
9	Laboratorio HAVOC	25/07/2019	LF_SA_163_01D	422,16	207,45	0,051	10,58
10	Laboratorio HAVOC	11/11/2019	LF_SA_186_03D	2115,73	2845,22	0,059	167,87
11	Laboratorio CESTTA	30/05/2019	SA_124_02D	2701,83	2197,65	0,1	219,77
<b>FOSAS</b>							
12	Laboratorio HAVOC	25/07/2019	LF_SA_163_01F	50,52	43,46	0,046	2,00
13	Laboratorio HAVOC	25/07/2019	LF_SA_163_02F	25,42	20,11	0,057	1,15
<b>PISCINAS</b>							
14	Laboratorio HAVOC	15/11/2019	SA_124_02P	858,04	723,25	0,083	60,03

Fuente: Christian Lam, 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Figura 11.** Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2019)



Fuente: Christiam Lam, 2022

**Tabla 13.** Índices de Calidad (IQ) - Pasivos Ambientales (2020)

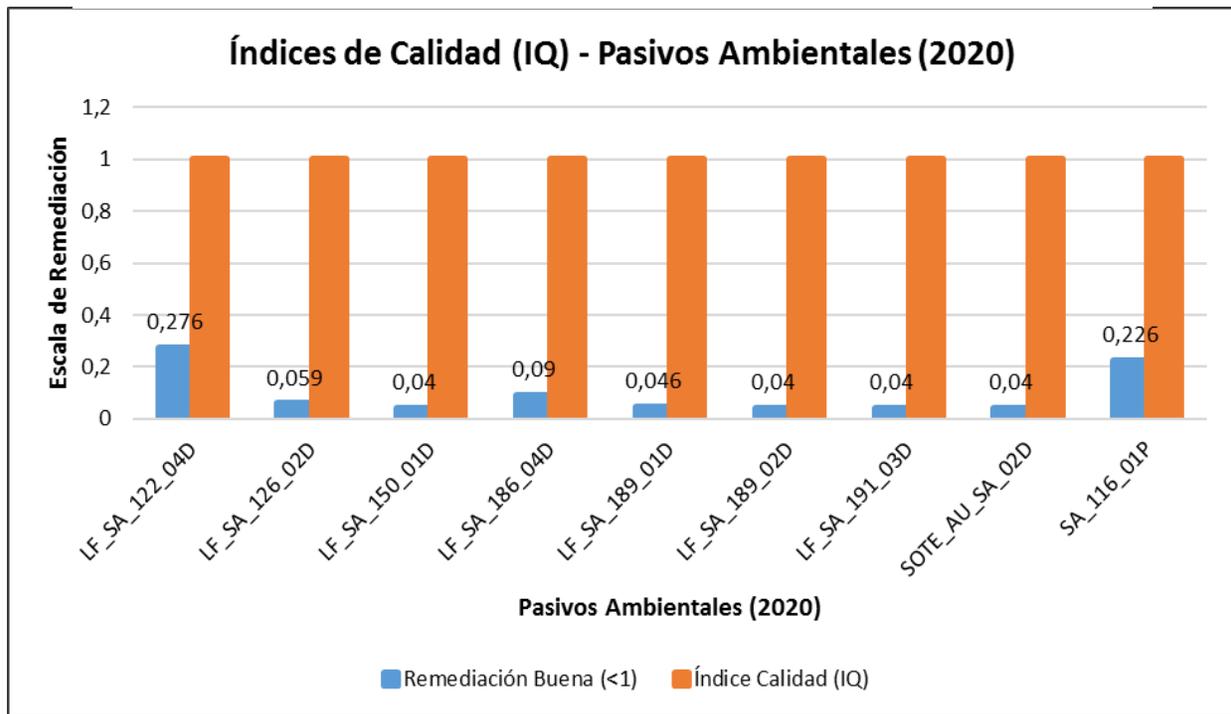
INDICES DE CALIDAD (IQ) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2020								
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (mg/kg)	Límite Permisible Tabla 6	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
<b>DERRAMES</b>								
1	Laboratorio HAVOC	19/12/2019	LF_SA_122_04D	276	1000	<1	0,28	Remediación Buena
2	Laboratorio HAVOC	31/01/2020	LF_SA_126_02D	59	1000	<1	0,06	Remediación Buena
3	Laboratorio HAVOC	31/01/2020	LF_SA_150_01D	40	1000	<1	0,04	Remediación Buena
4	Laboratorio HAVOC	24/01/2020	LF_SA_186_04D	90	1000	<1	0,09	Remediación Buena
5	Laboratorio HAVOC	17/01/2020	LF_SA_189_01D	46	1000	<1	0,05	Remediación Buena
6	Laboratorio HAVOC	17/01/2020	LF_SA_189_02D	40	1000	<1	0,04	Remediación Buena
7	Laboratorio HAVOC	19/12/2019	LF_SA_191_03D	40	1000	<1	0,04	Remediación Buena

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

INDICES DE CALIDAD (IQ) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2020								
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (mg/kg)	Límite Permissible Tabla 6	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
8	Laboratorio CESTTA	26/04/2019	SOTE_AU_SA_02D	40	1000	<1	0,04	Remediación Buena
PISCINAS								
9	Laboratorio HAVOC	17/01/2020	SA_116_01P	226	1000	<1	0,23	Remediación Buena

Fuente: Christiam Lam, 2022

Figura 12. Índices de Calidad (IQ) - Pasivos Ambientales (2020)



Fuente: Christiam Lam, 2022

Tabla 14. Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2020)

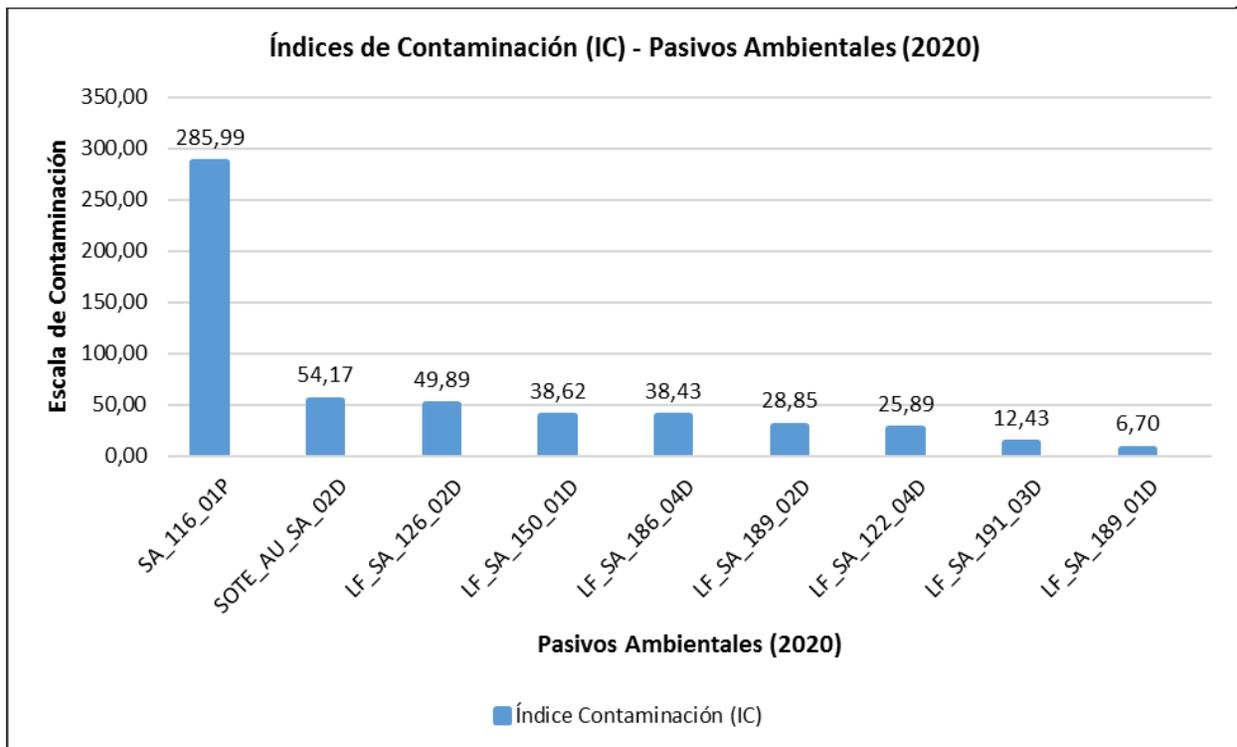
INDICES DE CONTAMINACIÓN (IC) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2020							
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Resultados (IQ)	Índice Contaminación (IC)
DERRAMES							
1	Laboratorio HAVOC	06/02/2020	LF_SA_122_04D	184,45	93,79	0,28	25,89
2	Laboratorio HAVOC	26/08/2020	LF_SA_126_02D	984,57	845,56	0,06	49,89

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

3	Laboratorio HAVOC	28/12/2020	LF_SA_150_01D	1298,55	965,45	0,04	38,62
4	Laboratorio HAVOC	26/08/2020	LF_SA_186_04D	460,51	426,95	0,09	38,43
5	Laboratorio HAVOC	26/08/2020	LF_SA_189_01D	160,19	145,63	0,05	6,70
6	Laboratorio HAVOC	05/03/2020	LF_SA_189_02D	1423,19	721,14	0,04	28,85
7	Laboratorio HAVOC	28/12/2020	LF_SA_191_03D	1550,34	310,78	0,04	12,43
8	Laboratorio HAVOC	28/12/2020	SOTE_AU_SA_02D	1771,75	1354,23	0,04	54,17
<b>PISCINAS</b>							
9	Laboratorio HAVOC	05/13/2020	SA_116_01P	1570,02	1265,46	0,23	285,99

Fuente: Christiam Lam, 2022

Figura 13. Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2020)



Fuente: Christiam Lam, 2022

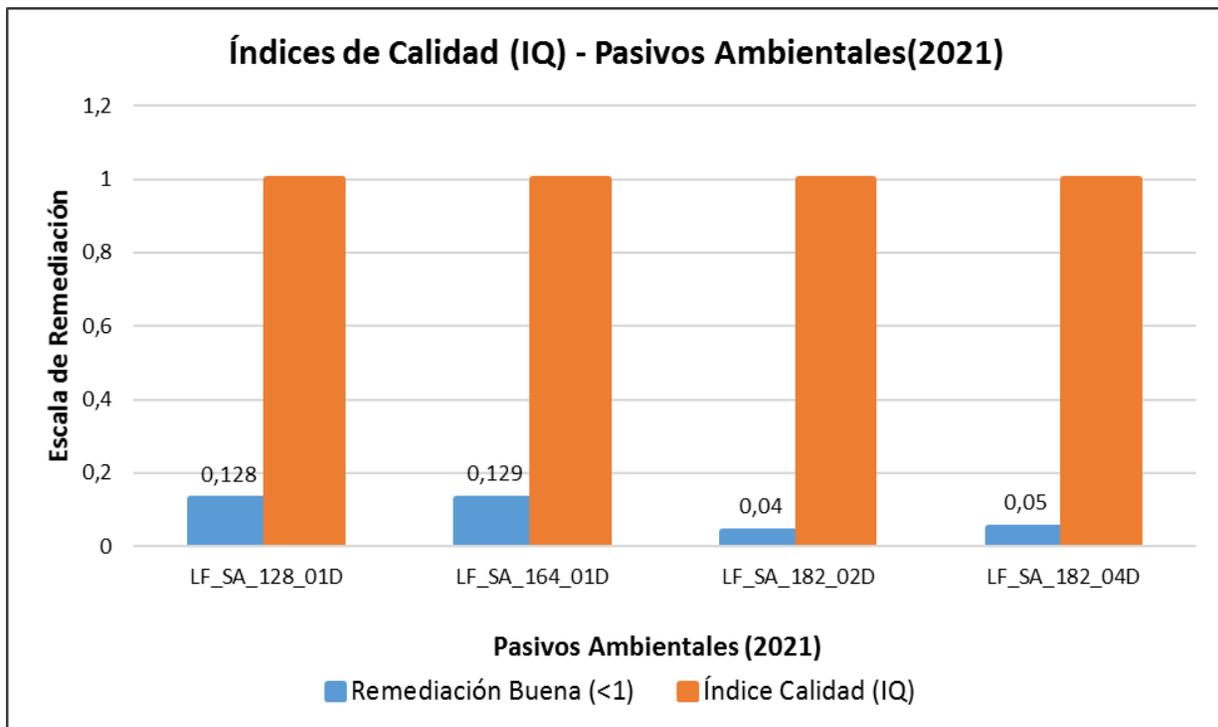
DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Tabla 15.** Índices de Calidad (IQ) - Pasivos Ambientales (2021)

INDICES DE CALIDAD (IQ) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2021								
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	TPH (mg/kg)	Límite Permisible Tabla 6	Índice Calidad (IQ)	Resultados (IQ)	Interpretación (IQ)
<b>DERRAMES</b>								
1	Laboratorio HAVOC	31/01/2020	LF_SA_128_01D	128	1000	<1	0,13	Remediación Buena
2	Laboratorio HAVOC	31/01/2020	LF_SA_164_01D	129	1000	<1	0,13	Remediación Buena
5	Laboratorio HAVOC	05/03/2020	LF_SA_182_02D	40	1000	<1	0,04	Remediación Buena
7	Laboratorio HAVOC	14/05/2021	LF_SA_182_04D	50	1000	<1	0,05	Remediación Buena

Fuente: Christiam Lam, 2022

**Figura 14.** Índices de Calidad (IQ) - Pasivos Ambientales (2021)



Fuente: Christiam Lam, 2022

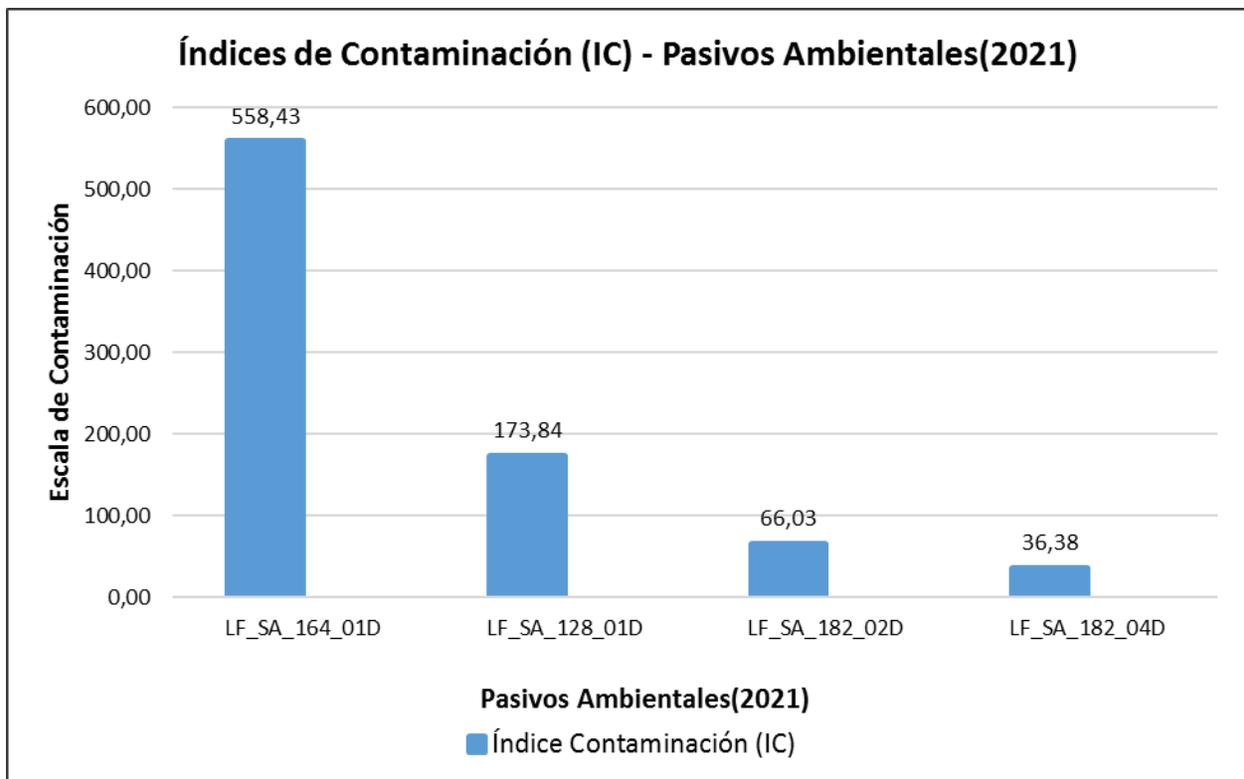
DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Tabla 16.** Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2021)

INDICES DE CONTAMINACIÓN (IC) PASIVOS AMBIENTALES - POA 2021							
No.	N° INFORME ENSAYO	FECHA	CODIGO PASIVO	Área (m2)	Volumen (m3)	Resultados (IQ)	Índice Contaminación (IC)
<b>DERRAMES</b>							
1	Laboratorio HAVOC	25/03/2021	LF_SA_128_01D	1418,38	1358,15	0,128	173,84
2	Laboratorio HAVOC	19/02/2021	LF_SA_164_01D	3548,89	4328,9	0,129	558,43
5	Laboratorio HAVOC	14/05/2021	LF_SA_182_02D	1233,35	1650,67	0,04	66,03
7	Laboratorio HAVOC	14/05/2021	LF_SA_182_04D	1205,57	727,69	0,05	36,38

Fuente: Christiam Lam, 2022

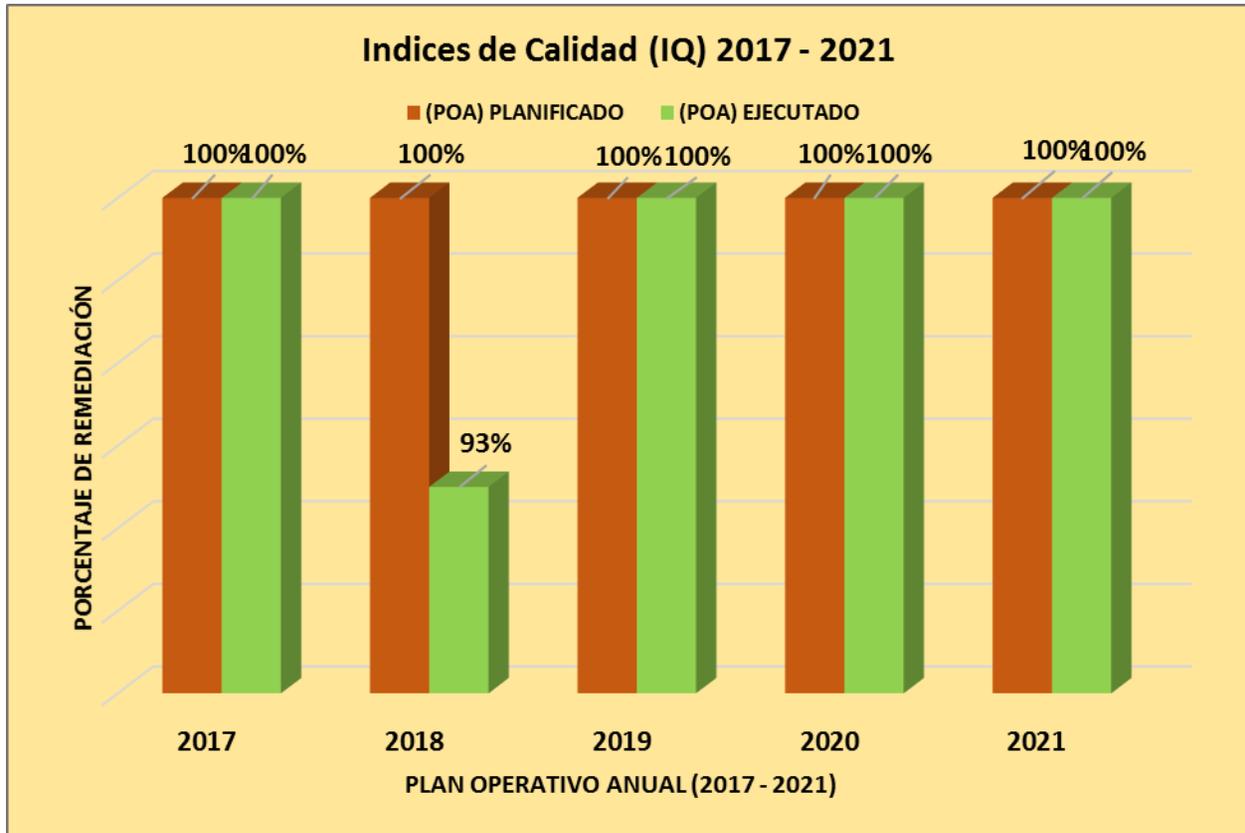
**Figura 15.** Índices de Contaminación (IC) - Pasivos Ambientales (2021)



Fuente: Christiam Lam, 2022

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Figura 16.** Índices de Calidad (IQ) 2017 - 2021



Fuente: Christiam Lam, 2022

**Tabla 17.** Límites permisibles - Tabla 6 - RAOHE A.M. 1215

Parámetro	Expresado en	Unidad <sup>1)</sup>	Uso agrícola <sup>2)</sup>	Uso industrial <sup>3)</sup>	Ecosistemas sensibles <sup>4)</sup>
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
Niquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	Pb	mg/kg	<100	<500	<80

1) Expresado en base de sustancia seca (gravimétrico; 105°C, 24 horas).  
 2) Valores límites permisibles enfocados en la protección de suelos y cultivos.  
 3) Valores límites permisibles para sitios de uso industrial (construcciones, etc.).  
 4) Valores límites permisibles para la protección de ecosistemas sensibles tales como Patrimonio Nacional de Areas Naturales y otros identificados en el correspondiente Estudio Ambiental.

Fuente: (RAOHE)

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Tabla 18.** Valores Máximos Permisibles - Remediación de Suelos (1ra. parte)

TABLA 2: CRITERIOS DE REMEDIACIÓN (VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES)					
Parámetro	Unidades*	USO DEL SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
<b>Parámetros Generales</b>					
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	5	12	12	5
<b>Parámetros inorgánicos</b>					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5
Níquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	1	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200
<b>Parámetros orgánicos</b>					
Aceites y grasas	mg/kg	500	<2500	<4000	<4000
Benceno	mg/kg	0.08	5	5	0.03
Etilbenceno	mg/kg	0.1	20	20	0.1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0.1
Tolueno	mg/kg	0.37	0.8	0.8	0.08
Xileno	mg/kg	2.4	11	20	0.1
PCBs	mg/kg	1.3	33	33	0.5

**Fuente:** Acuerdo Ministerial 097-A – Reforma al TULAS

DETERMINACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR OPERADORAS ANTERIORES A LA GESTIÓN DE UNA EMPRESA PETROLERA

**Tabla 19.** Valores Máximos Permisibles - Remediación de Suelos (2da. parte)

Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.5	5	5	0.05
Fenoles (total)	mg/kg	3.8	3.8	5	3.8
Clorinados alifáticos (cada tipo)	mg/kg	5	50	50	0.1
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	230	620	620	150
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	2	10	10	0.05
Tetracloroetilenos	mg/kg	0.2	0.5	0.6	0.1
Tricloroetileno	mg/kg	3	30	30	0.1
Atrazina	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005
Carbofuran	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Alifáticos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	-	-	-	0.3
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)</b>					
Antraceno	mg/kg	-	-	100	0.1
Benzo(a)antraceno	mg/kg	1	1	10	0.1
Benzo(a)pireno	mg/kg	0.7	10	0.7	0.1
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	1	0.7	10	0.1
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	1	10	10	0.1
Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	1	10	10	0.1
Indeno(1,2,3-cd)pireno	mg/kg	1	10	10	0.1
Fluoranteno;	mg/kg	-	10	100	0.1
Naftaleno;	mg/kg	0.6	-	22	0.1
Pireno;	mg/kg	10	22	100	0.1
Criseno;	mg/kg	-	-	100	0.1
Fenantreno;	mg/kg	5	50	50	0.1
<b>Pesticidas</b>					
Alfa BCH	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Beta BCH	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
*Gamma BCH	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Delta BCH	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	NA
Heptacoloro	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Aldrin	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Heptacoloro epoxido isomero B	mg/Kg	0.1	0.01	1	0.01
Endosulfan I	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDE	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDD	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDT	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Dieldrin	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Endrin	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Endosulfan II	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Endrin aldehido	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Endosulfan sulfato	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1

\*Concentración en peso seco de suelo

**Fuente:** Acuerdo Ministerial 097-A – Reforma al TULAS