



## **Evaluación y mitigación ambiental de aguas residuales del desmantelamiento del parque termoeléctrico de Santa Elena.**

*Environmental assessment and mitigation of wastewater from the  
dismantling of the Santa Elena thermoelectric plant, 2024.*

Martín Baquerizo-Orrala<sup>1</sup>

 0009-0009-8413-544X

Cristian Laverde-Albarracín<sup>1-2</sup>

 0000-0002-5611-0167

<sup>1</sup> Universidad Estatal Península de Santa Elena.

*martin.baquerizoorrala8429@upse.edu.ec*

<sup>2</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

*claverde@upse.edu.ec, claverde@uteq.edu.ec*

**Recepción:** 14 de febrero de 2025

**Aceptación:** 19 de febrero de 2025

**Publicación:** 05 de abril de 2025

**Citación/como citar este artículo:** Armas, D. & Benítez, A. (2025). Análisis Multivariado y Clustering de Factores de Riesgo en Nacimientos en Ecuador: Un Estudio 2020-2023. Ideas y Voces, 5(1), Pág. 216-240.



## Resumen

En el año 2007, Ecuador planteó la necesidad de reestructurar su sector energético de manera integral, lo que llevó a la transformación de empresas generadoras en distribuidoras de energía eléctrica y al cierre de obsoletos parques termoeléctricos. En este contexto, la Unidad de Negocio Santa Elena de CNEL EP desmanteló integralmente sus instalaciones de generación, aplicando el Plan de Manejo Ambiental (PMA). Se observó que, en dos tanques de concreto bajo uno de los sistemas removidos, quedó un pasivo ambiental conformado por un residuo líquido y otro lodoso, que no estaban caracterizado, y cuya gestión no estaba contemplada en el PMA. El estudio plantea una metodología compuesta por la realización de un análisis FODA, como una herramienta inicial para la planificación, la determinación del volumen y calidad ambiental de los residuos en comparación con los criterios ambientales de la normativa ambiental vigente, la determinación de los potenciales impactos ambientales negativos asociados al manejo de los residuos, y a una potencial infiltración bajo los estanques en el supuesto de la ocurrencia de infiltración al suelo. Finalmente, la propuesta de estrategias de gestión del pasivo ambiental, el cual fue caracterizado como residuo peligroso bajo la normativa ecuatoriana.

## Palabras clave

Contaminación del agua, lodos contaminados, pasivos ambientales, Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)

## Abstract

Since 2007, Ecuador considered the need to restructure its energy sector in a comprehensive manner, which led to the transformation of generating companies into electricity distributors and the closure of obsolete thermoelectric plants. In this context, the Santa Elena Business Unit of CNEL EP fully dismantled its generation facilities, applying the Environmental Management Plan (EMP). It was observed that, in two concrete tanks under one of the removed systems, there was an environmental liability consisting of a liquid and a muddy waste, which were not characterized, and whose management was not contemplated in the EMP. The study proposes a methodology consisting of a SWOT analysis as an initial planning tool, determination of the volume and environmental quality of the waste in comparison with the environmental criteria of current environmental regulations, determination of the potential negative environmental impacts associated with waste management, and potential infiltration under the ponds in the event of infiltration into the soil. Finally, the proposal of management strategies for the environmental liability, which was characterized as hazardous waste under Ecuadorian regulations.

## Keywords

Water contamination, contaminated sludge, environmental liabilities, Total petroleum hydrocarbons (TPH)



## INTRODUCCIÓN

Las centrales termoeléctricas a diésel son una fuente clave de energía, pero enfrentan desafíos como altas emisiones de gases de efecto invernadero, elevados costos de generación y alto precio del combustible (Olanrewaju & Barasa Kabeyi, 2023). Las plantas termoeléctricas presentan múltiples riesgos como la exposición a productos de combustión (cenizas, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, COV, HPA), compuestos químicos (asbesto, metales pesados) y bacterias como *Legionella pneumophila* en aguas de proceso (Guzmán-González, 2020). Lee et al., (2024) indica que la industrialización amenaza la salud y la calidad del suelo, ya que la contaminación ocurre cuando sustancias peligrosas de origen antropogénico se derraman o infiltran sin un tipo de control. A inicios de siglo, Ecuador dependía en gran medida de la generación termoeléctrica y el uso de combustibles fósiles. Por tal razón, Acosta (2007) proponía una reestructuración integral del sector energético, incorporando fuentes renovables, ya que la generación termoeléctrica basada en derivados del petróleo tenía un límite de aproximadamente 25 años debido al agotamiento de reservas locales, lo que podría convertir al país en importador de petróleo.

Desde 1999, Arias, et al., (2022) indica que el sector eléctrico ecuatoriano enfrentó desabastecimiento energético debido a la falta de inversión privada, lo que llevó a la emisión de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) para fomentar dicha inversión. Sin embargo, en 2008 el Estado retomó el control y asumió la expansión del sector. Acosta (2007) señala que, para entonces, la hidroeléctrica Paute, “contaba con una capacidad de generación de 1075 MW, representando el 62% de la capacidad hidroeléctrica y el 31% de la capacidad total” (p. 28), generando problemas de concentración de la capacidad de generación y dependencia climática. Desde 2009, las políticas energéticas se enfocaron en reemplazar fuentes basadas en derivados del petróleo por energías renovables, principalmente hidroeléctrica, este proceso se enmarcó dentro del proyecto de Cambio de la Matriz Energética liderado por la extinta



SENPLADES y ejecutado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Campoverde et al., 2018). Dentro de un proceso de transición energética de descarbonización, Cuji y Mediavilla (2022) plantea que, fuentes de energía renovable no convencional combinadas, principalmente generación solar y micro generación eólica. Con respecto a la energía hidroeléctrica, Golla y Gerke (2018) indican que los recursos hidrológicos utilizables en Ecuador para su uso en centrales eléctricas presentan un techo total de 8 GW.

Ecuador, en respuesta a su potencial hídrico y su política energética, priorizó la generación hidroeléctrica, transformando la propuesta del parque generador de la matriz energética nacional (Oscullo & Pichucho, 2017). En 2016, se inauguró la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair (1500 MW), uno de los proyectos más importantes del país (CELEC EP, 2023). Paralelamente, el parque termoeléctrico ecuatoriano, reportado como obsoleto desde 2007, mantenía problemas estructurales y requería ser reemplazado o repotenciado (Acosta, 2007). Situación que se ha mantenido hasta la época actual, así, en 2023, el viceministro de electricidad señaló que el 45 % de su capacidad estaba en condiciones irrecuperables, generando un déficit de 700 MW (Diario La Hora, 2023). Su abandono representa riesgos ambientales por hidrocarburos, PCB y metales pesados y requieren propuestas de estrategias de remediación que en muchos casos pueden ser complejas y costosas, como la biorrecuperación que transforma biológicamente los contaminantes. (Eweis et al., 1999; Távara Cieza et al., 2016). La remediación es esencial porque previene y evita la contaminación prolongada y protege los ecosistemas que pueden afectar la calidad de aire si no se implementan medidas de control adecuadas en el proceso (Acosand, 2022).

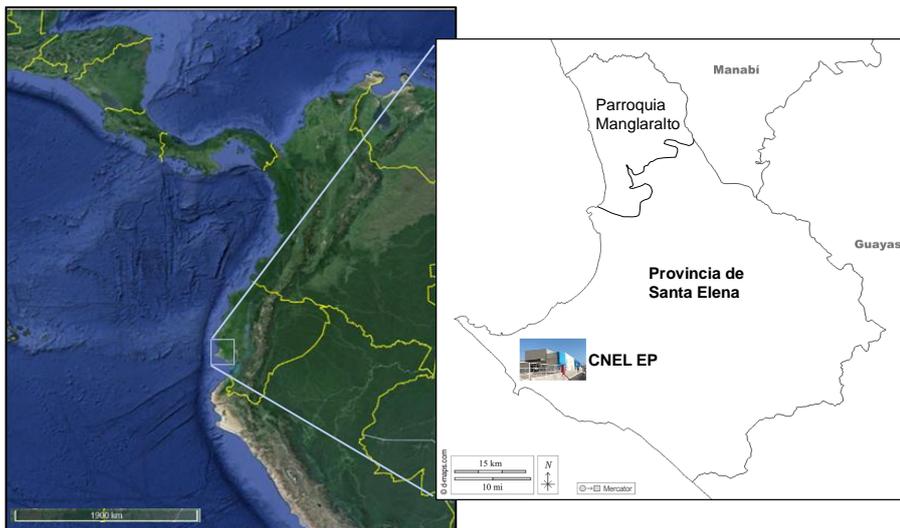
En 2008, el Ministerio de Electricidad ordenó la suspensión de la termoeléctrica de La Libertad, en Santa Elena, por su alto consumo y baja eficiencia, reemplazándola con nuevas unidades de CELEC (140 MW). Estos antecedentes han conducido al actual proceso de desmantelamiento de la central termoeléctrica de La Libertad, compuesta por 11 generadores diésel y 5 tanques

de almacenamiento, comenzó con la Licencia Ambiental Nro. 075/14, otorgada a CNEL EP el 30 de diciembre de 2014. El alcance del Plan de Cierre y/o abandono de las Centrales de Generación Térmica, comprendió el cierre y desinstalación de la central de generación térmica a diésel de CNEL EP Unidad de Negocio (UN) Santa Elena, ubicada en la ciudad de La Libertad. El cierre de estas plantas ineficientes reduce emisiones contaminantes como hidrocarburos, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y material particulado Corozo Angulo et al., (2022), el proceso de cierre de estos sistemas ineficientes tiene el potencial de generar beneficios ambientales, económicos y sociales a largo plazo, bajo el Plan Ambiental de Retiro y/o Abandono de CNEL EP Santa Elena (Acosand, 2022).

En la Figura 1 se observan las coordenadas de la planta, bajo el Sistema WGS84, X: 511505,00; Y: 9753668,00, zona 17 Sur.

### Figura 1

*Ubicación de la planta de CNEL EP en la provincia de Santa Elena (Ecuador).*



**Fuente:** Google Earth Pro.

El estudio identificó varios impactos ambientales en los componentes abiótico, económico y estético, mientras que no se consideró afectación sobre el componente biótico puesto que las instalaciones se encuentran en un área industrial intervenida por décadas. Los impactos negativos fueron nulos, encontrándose 5 impactos negativos relacionados con el ruido y la

contaminación atmosférica por emisión de polvo, y un impacto despreciable debido al ruido del desmantelamiento de equipos. En cambio, se identificaron 16 impactos positivos asociados a la calidad del suelo, condiciones físico-mecánicas del suelo, empleo y paisaje, lo que demostró la viabilidad del proyecto (Acossand, 2022). Los equipos removidos incluían 11 generadores (2 W.H. Allen -1000 kW, 4 Fairbanks Morse - 7000 kW y 5 General Motors – 10000 kW), y también se detectó la existencia de aguas residuales contaminadas y lodos en dos de los estanques bajo los equipos de Fairbanks Morse. Durante la demolición, pudo haberse liberado contaminantes del suelo y agua, como metales pesados y productos químicos, afectando la calidad del agua residual. El manejo de estos pasivos no está incluido en el estudio, por lo que es necesario establecer instrumentos para su gestión adecuada.

## Figura 2

*Pasivos ambientales líquidos y lodos observados en el proceso de remoción de los generadores termoeléctricos obsoletos de CNEL EP Santa Elena.*



El Artículo 173 del Código Orgánico del Ambiente (CODA) decreta que los operadores en cualquier proyecto deben prevenir, reducir y en lo posible eliminar los impactos ambientales. En el caso de producir afectaciones, se deben implementar mecanismos para su restauración. (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2017). Además, el Artículo 181 establece que el Plan

de Manejo Ambiental (PMA) es obligatorio y se deben incluir sub-planes según las características del proyecto. El PMA, según el Artículo 435 del Reglamento al CODA, debe contener acciones para prevenir, mitigar, restaurar y corregir impactos ambientales (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2019). La Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente establece normas de calidad ambiental para agua y suelo, fundamentales para interpretar los pasivos generados por la planta termoeléctrica (Ministerio de energía y ambiente del Ecuador, 2015).

Con estos antecedentes, se identifica un problema de gestión para evitar que los pasivos ambientales acuosos y los lodos de los estanques generen impactos negativos adicionales. En orden de buscar soluciones al problema, es pertinente conocer el volumen y calidad del agua y lodos en los estanques en relación con los estándares ambientales para determinar su disposición y desarrollar estrategias de manejo. La gestión de aguas residuales y lodos debe ser sostenible, complementando el PMA existente con un plan de prevención y mitigación.

Morgan (2012) manifiesta que las empresas tienen la obligación y responsabilidad ética y legal para mitigar impactos ambientales negativos durante la vida útil o ciclo de vida de una planta termoeléctrica. Para este caso, se determinó la calidad y volumen de lodos y agua de los estanques a través de análisis de laboratorios, evaluando los resultados según los estándares ambientales ecuatorianos y posteriormente, diseñar un plan de manejo PMA con estrategias para prevenir y mitigar basados en los resultados obtenidos anteriormente (Navas Gallo et al., 2023).

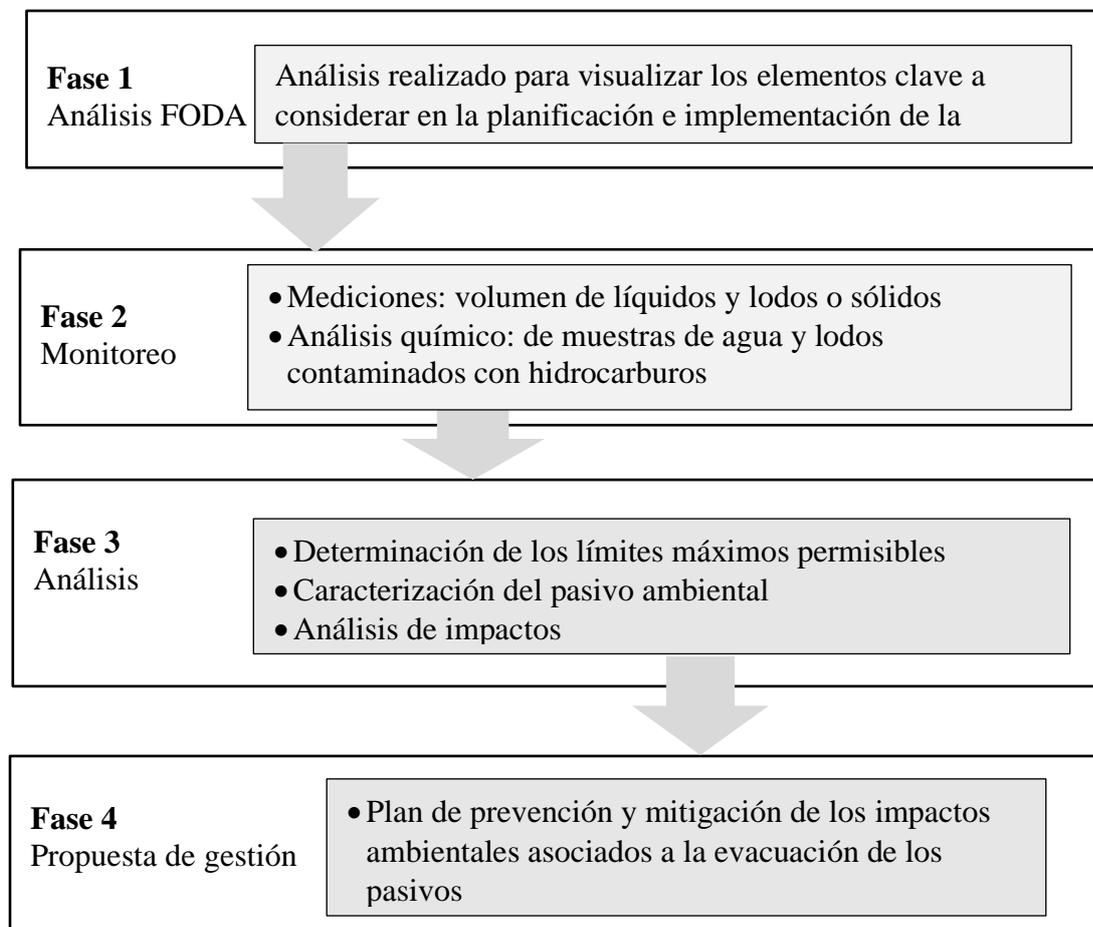
## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología se estructuró en orden de determinar estrategias de mitigación de los impactos asociados a los pasivos ambientales observados luego del desmantelamiento de la central térmica. Cabe resaltar que, por naturaleza, el impacto de la contaminación por hidrocarburos se presume significativo y es necesario que CNEL EP Santa Elena evacúe los líquidos y sólidos

contaminados, y determinar si hay otros factores ambientales afectados, a fin de acordar los procesos a seguir para la restauración del área, para lo cual se desarrollaron las siguientes fases (Figura 3):

**Figura 3**

*Fases metodológicas a implementar en el proyecto*



### 1. Análisis FODA

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) se empleó para evaluar factores internos y externos que afectan el proyecto. Las fortalezas son ventajas competitivas, mientras que las debilidades son limitaciones. Las oportunidades se consideran condiciones externas que favorecen los objetivos, las amenazas son considerados factores que ponen en riesgo el proyecto (Kotler et al., 2019). La metodología consiste en una evaluación

de estos factores y de la situación actual para posteriormente identificar los elementos internos y externos que influyen en el proyecto. Luego, se organizaron y analizaron en las cuatro categorías FODA, lo que facilitó la toma de decisiones estratégicas, permitiendo aprovechar las fortalezas y oportunidades y mitigar las debilidades y amenazas.

## 2. Monitoreo

Se realizaron mediciones para estimar el volumen del agua y lodos contenidos en los dos estanques. La toma de muestras y los análisis químicos de calidad ambiental lo realizaron laboratorios acreditados. Los parámetros monitoreados, tanto en los sedimentos como en el agua, así como las metodologías utilizadas, se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Análisis realizados a sedimentos y agua en los tanques 1 y 2, con las respectivas metodologías utilizadas por laboratorios certificados.*

Parámetro	Metodología
<b>Sedimentos</b>	
Aceites y Grasas	EPA 9071 B/SM 5020 G
Cadmio	EPA 3050B PEE/LAB-PSI/72; SM 3111B
Conductividad	SM 2510B, Ed.23 PEE/LABPSI/76
TPH	EPA 418.1 PEE/LAB-PSI/14; EPA 8015 D
Níquel	EPA 3050B PEE/LAB-PSI/72; SM 3111B
Plomo	EPA 3050B PEE/LAB-PSI/73
pH	EPA 9045D PEE/LABPSI/75
Vanadio	EPA 3050B PEE/LAB-PSI/72
Azufre	EPA 200.2/6020 B
PCB	EPA 3050B PEE/LAB-PSI/72
HAPs	EPA 8310
Antraceno, Benzo(a)Antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Dibenzo(a,h)Antraceno, Indeno(1,2,3-cd)pireno, Fluoranteno, Naftaleno, Pireno, Criseno	
<b>Agua</b>	
Aceites y Grasas	SM 5520 G
DQO	SM 5220 D

Los datos, algunos de los cuales correspondieron a los años 2022 y 2024, fueron sistematizados en hojas electrónicas Excel, en las cuales se realizaron también los gráficos comparativos respectivos.

### 3. Análisis

Para evaluar los valores de concentración de calidad del agua y lodos se utilizó las tablas contenidas en los Anexos a la normativa ambiental secundaria publicados en el Acuerdo Ministerial No. 097-A, el 4 de noviembre de 2015, el cual se encuentra vigente. El Anexo 2 del AM 97-A establece la *Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados*, donde la Tabla 1 define los valores de línea base como referencia para evaluar una posible contaminación del suelo, mientras que la Tabla 2 establece los niveles máximos de concentración de contaminantes tras un proceso de remediación. Por otro lado, el Anexo 1 de esta norma corresponde a la *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua*, donde la Tabla 8 especifica los límites de descarga al sistema de alcantarillado público, prohibiendo sustancias que puedan obstruir colectores, generar vapores o gases tóxicos o explosivos, como residuos de bitumen, alquitrán, emulsiones de aceite, gasolina, petróleo y aceites minerales usados.

Se compararon las concentraciones de los tanques con la normativa y entre ellos, utilizando gráficos de los monitoreos de 2022 y 2024. También se analizaron los impactos negativos potenciales del pasivo ambiental, lo que ayudó a desarrollar las estrategias de gestión. El análisis partió de la premisa de que cualquier impacto de agua y sedimentos contaminados con hidrocarburos, metales pesados y sustancias persistentes es significativo.

#### 4. Propuesta de gestión

El plan de prevención y mitigación de los impactos ambientales negativos de los pasivos agua y lodos residuales se basó en el análisis FODA y se complementó con acciones del PMA vigente y el Plan Ambiental de Retiro y/o Abandono de la UN Santa Elena. Se establecieron acciones específicas para prevenir y reducir los impactos, se crearon protocolos de respuesta rápida y se implementó un sistema de monitoreo para evaluar la eficacia de las medidas de mitigación. Este seguimiento permitirá ajustar el plan según los resultados, asegurando una gestión ambiental sostenible tras el desmantelamiento de la planta.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 1. Análisis FODA

El proyecto presenta una oportunidad significativa para mejorar la sostenibilidad y reducir los impactos ambientales en las áreas afectadas. Sin embargo, el éxito del proyecto depende de una planificación estratégica que contemple soluciones efectivas de remediación y financiamiento adecuado. El análisis FODA realizado en el marco de estructuración del plan de prevención y mitigación de impactos de la gestión de las aguas y lodos contaminados, se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Matriz de análisis FODA de la estructuración del plan de prevención y mitigación de impactos de la gestión de las aguas y lodos contaminados.*

Análisis Interno	Análisis Externo
Debilidades	Amenazas

<b>Negativos</b>	El desmantelamiento, remediación y monitoreo post-cierre requieren altos costos de inversión.	La falta de recursos financieros disminuye ingresos fiscales.
	La remediación ambiental es técnicamente compleja, y resulta en la necesidad de tecnologías avanzadas.	Cambios en políticas energéticas y regulaciones que afecten la viabilidad del proyecto.
	El proceso de desmantelamiento puede generar emisiones de polvo y partículas que afectan la calidad del aire.	Existencia de contaminación residual por inadecuado monitoreo y mantenimiento post-cierre, que amenace la salud ambiental a largo plazo.
	<b>Análisis Interno</b>	<b>Análisis Externo</b>
	Fortalezas	Oportunidades
<b>Positivos</b>	Reducción de contaminación del suelo y agua, mejorando la salud ambiental.	Iniciativas de remediación y desarrollo sostenible
	Reutilización de terrenos para proyectos sostenibles.	Genera empleos y capacitaciones en tecnologías limpias
	Reducción de dependencia de combustibles fósiles, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible.	La inversión en sostenibilidad fortalece la imagen pública, mejorando su reputación y compromiso ambiental.

Este análisis FODA muestra los retos y oportunidades para este estudio y el equilibrio que hay entre ellos. Entre las fortalezas destacan la reducción de contaminación del suelo, agua y aire, junto a la reutilización de terrenos que contribuye al cumplimiento de los ODS en particular el objetivo 7 (Energía Asequible y No Contaminante) (Naciones Unidas, 2022). No obstante, enfrenta desafíos como altos costos de remediación Riojas González et al., (2010) y la complejidad del tratamiento de contaminantes (Jumbo, 2023; Lee et al., 2024). A pesar de las amenazas y debilidades, también existen las oportunidades como el acceso a financiamiento verde y el fortalecimiento de la imagen pública que pueden ser aprovechados para mitigar riesgos. Por tal razón, el proyecto tiene potencial de generar beneficios a largo plazo, promoviendo un desarrollo sostenible si se implementa adecuadamente.

## 2. Caracterización y Análisis

### 2.1 Caracterización del pasivo ambiental

Para estimar el volumen de agua y lodos contenidos en los dos estanques se utilizan mediciones presentadas en la Tabla 3. Se observa que los volúmenes estimados son relativamente bajos.

**Tabla 3**

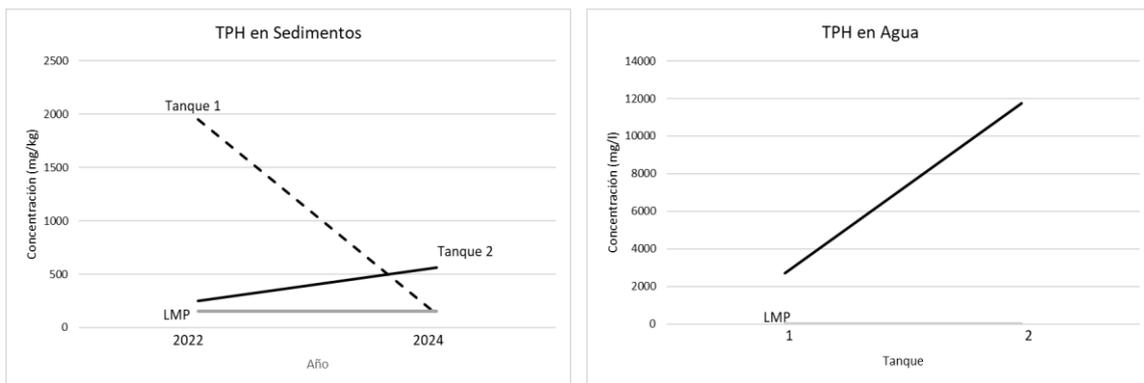
*Volúmenes de sólidos y líquidos a ser removidos de los tanques 1 y 2*

Tanque	Residuo	Dimensiones
1	Líquido	14,16 m <sup>3</sup>
	Sedimentos	1,26 m <sup>3</sup>
2	Líquido	18,57 m <sup>3</sup>
	Sedimentos	1,87 m <sup>3</sup>
Total	Líquido	32,73 m <sup>3</sup>
	Sedimentos	3,13 m <sup>3</sup>

En la Figura 4 se presenta el contenido de TPH (mg/l) tanto en sedimentos como en agua. En el primer caso, las concentraciones de hidrocarburos en sedimentos sobrepasan los valores de criterio de calidad en los dos tanques. Por su parte en el agua, se observa una mayor contaminación por hidrocarburos en el tanque 2. En este caso, el simple hecho de sobrepasar el nivel de concentración cero, ya incumple la normativa que permite direccionar el agua residual a un sistema de alcantarillado, en consecuencia, se descarta esa opción como una consideración viable para disponer los residuos.

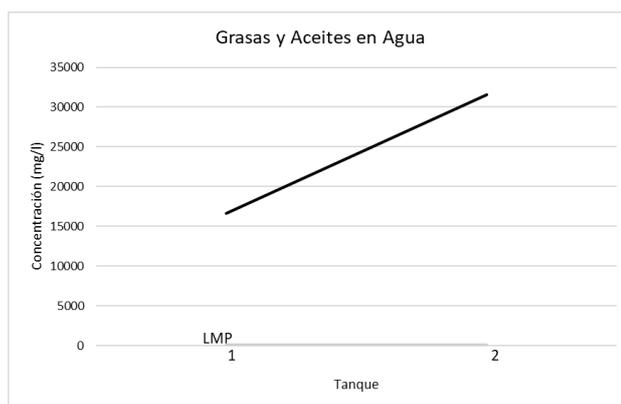
**Figura 4**

*Contenido de TPH (mg/l) en sedimentos y agua*



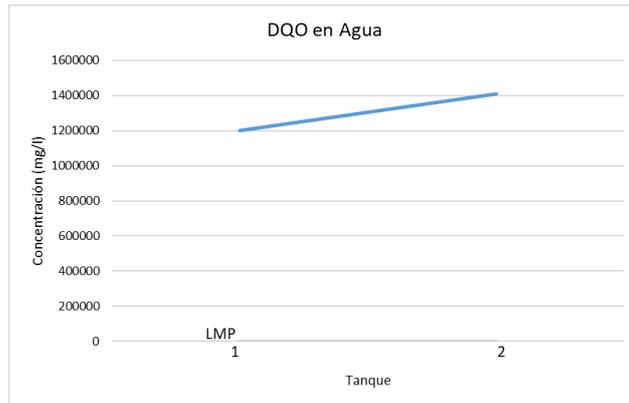
Por su parte en la Figura 5 se presenta el contenido de aceites y grasas (mg/l) en agua. Se observa que la tendencia en grasas y aceites es muy similar a la de TPH en agua, no obstante, en este componente las concentraciones sobrepasan sustancialmente los límites normativos.

**Figura 5**  
*Contenido de Grasas y aceites (mg/l) en agua*



En la Figura 6 se presenta los resultados de la demanda química de oxígeno, DQO (mg/l), cuyos altos valores son coherentes con el origen industrial del agua residual, estando muy relacionados con la presencia de grasa y aceites, que son considerados contaminantes oxidantes, en este caso potencialmente asociados al uso de aceite minerales.

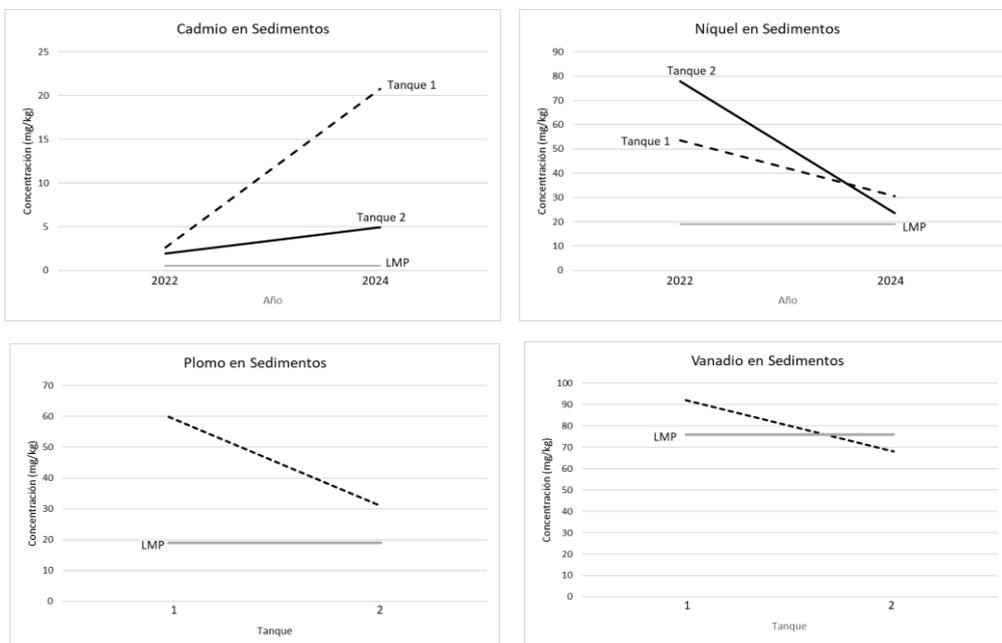
**Figura 6**  
*Contenido de DQO (mg/l) en agua*



En relación con la presencia de hidrocarburos, se hizo un análisis integral de HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) en los sedimentos oleosos, conforme se indicó en la Tabla 1. Los resultados indicaron la ausencia de estos subproductos para todos los elementos analizados. Por otro lado, un aspecto de importancia ambiental a investigar es la concentración de metales, en especial los vinculados a la industria de generación eléctrica. En este contexto, en la Figura 7 se presenta las concentraciones de cadmio, níquel plomo y vanadio en los tanques contaminados.

### Figura 7

*Contenido de metales pesados (mg/kg) en los sedimentos*



Se observa que, con excepción del vanadio, todos los metales superan ampliamente los valores de criterio de calidad ambiental para sedimentos. El vanadio, no obstante, es un metal de importancia por su vinculación con el cáncer (Rojas-Lemus et al., 2024). El cadmio se utiliza en coberturas antioxidantes, siendo un metal pesado tóxico, cuyas concentraciones se han incrementado en los últimos años a causa de actividades industriales entre las que se destaca el enchapado eléctrico (Pernía et al., 2008).

El plomo, Níquel y Vanadio son utilizados en componentes estructurales por su alta resistencia al calor. “Los materiales que contienen níquel se seleccionan con frecuencia por su resistencia a la corrosión y al calor, lo que aumenta su durabilidad en las exigentes condiciones que se dan en las calderas y los intercambiadores de calor” (Institute, 2025). Por su parte, el plomo es un metal contaminante, resistente a la corrosión, con baja capacidad para conducir la electricidad. Por su temperatura de fusión baja, cuando la carga eléctrica excede un determinado valor, se funde, impidiendo la transmisión eléctrica (Poma, 2008).

Con respecto a los Contaminantes Orgánicos Persistentes, el análisis de contenido de PCB (bifenilos policlorados) en sedimentos, determinó la ausencia de estos elementos altamente peligrosos, y cuya detección hubiera significado la aplicación del Acuerdo Ministerial 146 - Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador estableciendo procedimientos de gestión más complejos (Ministerio del Ambiente, 2016). Por su parte, el análisis de conductividad mostró valores de 239  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 384  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para los tanques 1 y 2, respectivamente, encontrándose sobre el criterio de calidad máximo de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando la presencia de sales en los lodos.

La caracterización de los pasivos los ubica dentro de la categoría de desechos peligrosos, conforme lo establece el Acuerdo No. 026 del Ministerio del Ambiente sobre los procedimientos para Registro Generador de Desechos, previo al licenciamiento ambiental. Para el transporte de desechos peligrosos, se define como “desechos sólidos, líquidos, pastosos

o gaseosos... que contengan compuestos con características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas que representen un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y ambiente...” (Ministerio del Ambiente, 2008) (p. 7); no obstante, la ausencia de PCBs, constituye un aspecto favorable en términos de gestión, puesto que existen tratamientos aplicables y es improcedente su almacenamiento.

El contenido de TPH en el residuo líquido, determinó la imposibilidad de que estos puedan ser conducidos a un sistema de alcantarillado, debiendo recibir un tratamiento previo a su disposición final. Por otra parte, en consideración a que el lodo o sedimento, no es suelo autóctono, estando constituido por materiales y polvo acumulado a lo largo del tiempo en un estanque de concreto, no aplica la recomendación normativa que expresa que se privilegiarán las técnicas de remediación in situ Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2015, (Ministerio de energía y ambiente del Ecuador, 2015). Como se indicó, los sedimentos no cumplen con la norma de calidad ambiental del suelo, equivalente a valores de línea de fondo ambiental, no obstante, algunos parámetros (conductividad, plomo, vanadio, TPH tanque 2) cumplen con los criterios de remediación de suelos contaminados para área industrial, lo cual permite plantear que el lodo es biodegradable y poco recalcitrante.

Las condiciones descritas confirman que la opción viable de gestión es la contratación de un gestor certificado, con licencia ambiental, que cumpla con las condiciones de transportación, tratamiento y disposición final.

### **3. Impactos Ambientales**

La presencia de líquidos y sedimentos contaminados con altas concentraciones de hidrocarburos, grasas, aceites y metales pesados en los estanques previamente utilizados para

alojar generadores termoeléctricos, así como su gestión, puede generar varios impactos ambientales significativos conforme se detalla en la Tabla 4:

**Tabla 4**

*Determinación de impactos ambientales de los pasivos líquidos y sólidos contaminados con hidrocarburos, metales pesados y sales en CNEL EP UN Santa Elena.*

<b>Impacto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Análisis</b>
Contaminación de agua subterránea y suelo	Las fisuras que pueden darse en el tanque 1 y 2 debido al tiempo de operación, que puede permitir entrada de Hidrocarburos y metales pesados en el suelo, contaminando así el acuífero subyacente. Por otro lado, los HC, como tolueno y benceno, afectan la calidad de agua, los metales pesados como plomo y cadmio presentan riesgos de cáncer y son neurotóxicos (Suthersan et al., 2016).	El proceso de infiltración es una condición posible que se observará una vez vaciados los dos estanques de concreto, al verificarse la existencia o no de fisuras. Se considera un impacto probable.
<b>Impacto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Análisis</b>
Toxicidad para los ecosistemas acuáticos	Los sedimentos contaminados pueden liberar sustancias tóxicas en cuerpos de agua, afectando la fauna y flora acuática. Los hidrocarburos se separan según su peso molecular, permaneciendo los más pesados en la fuente de contaminación y migrando los más ligeros a mayor profundidad. (Cando Rodríguez, 2011)	La planta está en una zona industrial con pozos petroleros cercanos y un drenaje natural que puede desbordar en épocas de lluvia, aunque un canal de concreto mitiga el riesgo. La planta Fairbanks Morse permanece segura por su ubicación elevada. La baja precipitación y la ausencia de hidrocarburos livianos reducen la probabilidad de impacto.
Afectación a la salud de los empleados de la UN	La emisión de compuestos orgánicos volátiles y partículas en la zona industrial, sumada a las operaciones de la empresa, genera una atmósfera contaminada que aumenta el riesgo de enfermedades respiratorias y alérgicas en los trabajadores.	
Contaminación por derrames accidentales	El transporte de residuos contaminados puede causar derrames durante la carga, descarga o accidentes en la vía, lo que resultaría	El traslado de líquidos y lodos debe ser seguro y eficiente para prevenir derrames, un impacto probable.

	en contaminación del suelo, agua y vegetación.	
Contaminación del aire	El transporte de los pasivos puede generar impactos sobre la calidad del aire, por la generación de emisiones gaseosas durante el transporte	Impacto probable de baja magnitud e importancia.
Contaminación del suelo por fugas por empaques inadecuados	La falta de contenedores adecuados para trasladar los lodos, puede causar fugas de contaminantes, aumentando el riesgo ambiental durante el transporte.	Se debe contar con tanques herméticos previamente verificados para evitar fugas. Impacto probable.
Contaminación de sistemas de contención en el suelo para el tratamiento biológico	Se debe implementar un estanque de completamente impermeabilizado para el tratamiento físico – químico y biológico del pasivo ambiental.	En este proceso se pueden producir fugas hacia el suelo, para lo cual se debe impermeabilizar el área.

#### 4. Propuesta de gestión

En la Tabla 5 se presenta la propuesta de gestión en base a los potenciales impactos ambientales evidenciados en el análisis. Considerando las mejores opciones de gestión, con relación al volumen de residuos, es recomendable que los pasivos sean dispuestos por un gestor certificado para el manejo de residuos peligrosos que cuente con licencia ambiental para desarrollar tales procesos.

**Tabla 5**

*Propuesta de Gestión para los pasivos líquidos y sólidos contaminados con hidrocarburos, metales pesados y sales en CNEL EP UN Santa Elena.*

No.	Impacto	Propuesta de Gestión: Plan de Mitigación y Prevención de Impactos	Período de ejecución
1	Contaminación de suelo y agua subterránea por los pasivos en los tanques	Realizar la evacuación de los pasivos hasta secar los tanques 1 y 2, y determinar la existencia o no de fisuras con capacidad de infiltrar.	Mes 1
2	Toxicidad para los ecosistemas acuáticos	De existir fisuras, se debe remover el suelo afectado, para su tratamiento. La caracterización de los pasivos sugieren que la contaminación sería superficial.	Mes 2
3	Afectación a la salud de los empleados de la UN	La evacuación integral de los pasivos con el EPP adecuado protegerá la salud de los operarios y eliminará la exposición del personal a las emisiones de los tanques 1 y 2.	Mes 1

4	Contaminación por derrames accidentales durante el vaciado de los tanques	La empresa gestora debe aplicar protocolos de seguridad en el traslado de residuos, permitiendo el bombeo de residuos líquidos a carros cisterna.	Mes 1
5	Contaminación del suelo por fugas por empaques inadecuados	Los lodos deben transportarse en tanques metálicos de 55 galones con tapa hermética comprobada y pueden ser encapsulados y almacenados, según la capacidad técnica del gestor.	Mes 1
6	Contaminación del aire durante el transporte	Evitar las emisiones a la atmósfera utilizando camiones cisterna para los líquidos y tanques con tapas para los lodos contaminados	Mes 1
7	Contaminación por sistemas de contención en el suelo para el tratamiento biológico	Si la biorremediación se realiza en la empresa, debe cubrirse el área con geomembrana y aplicar el tratamiento. Si se gestiona externamente, los sistemas de tratamiento ya están implementados.	Permanente
8	Monitoreo	Ante la detección de fisuras, se deben realizar análisis periódicos de suelo, agua y sedimentos para evaluar la remediación y prevenir la recontaminación.	Cada 6 meses

Para mitigar los impactos ambientales identificados, el gestor certificado y el equipo de Responsabilidad Social, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (RSSISO) de CNEL EP Unidad de Negocio Santa Elena deben implementar las acciones de gestión recomendadas en el plan propuesto.

Si existiera una baja probabilidad de fisuras en la infraestructura de concreto que haya causado infiltración, el RSSISO debe declarar el suelo contaminado ante la autoridad ambiental y priorizar una remediación in situ. La normativa (AM 97-A) pretende cumplir con medidas de seguridad y casos de contingencias inmediata, notificando así, a la Autoridad Ambiental Competente (AAC). Según el acápite 4.3.1.4, se debe seguir un protocolo específico para la declaración.

Si la infiltración es de pequeña magnitud, el acápite 4.7.1.3 permite trasladar el suelo contaminado para tratamiento y/o disposición ex situ, con autorización previa de la AAC y justificativos técnicos. Se recomienda que esta fase sea ejecutada por un gestor autorizado.

Finalmente, es necesario iniciar un monitoreo continuo hasta la reocupación del área. La declaración de suelo contaminado quedará sin efecto cuando el RSSISO remita un informe a la AAC, verificando mediante análisis de laboratorio certificado que los parámetros cumplen con los límites de remediación para áreas industriales.

## **CONCLUSIONES**

La determinación de los volúmenes de desechos líquidos y lodos se realizó satisfactoriamente en los dos compartimientos de concreto ubicados en los sitios donde estuvieron anclados los 4 generadores Fairbanks Morse, indicando dimensiones de baja magnitud.

La caracterización de los pasivos agua y lodos contaminados, se realizó a través de un monitoreo realizado en dos fases, en los años 2022 y 2024 en el caso de los lodos, y 2024 en el caso de los líquidos. Los datos fueron suficientes para explorar la calidad ambiental de los mismos.

La evaluación de los valores de concentración de contaminantes en el agua y lodos con respecto a los valores de criterio ambiental permitieron determinar que constituyen desechos peligrosos, conteniendo TPH, sales disueltas y metales pesados y que en consecuencia deben ser manejados aplicando las reglamentaciones ambientales específicas.

Las opciones de manejo de los pasivos permitieron proyectar la ocurrencia de impactos ambientales potenciales, a partir de los cuales se diseñó el plan con estrategias de prevención y mitigación de impactos ambientales negativos de la gestión de los pasivos agua y lodos residuales, mediante los resultados obtenidos de la evaluación. De determinarse la existencia de fisuras en la estructura de los estanques que contienen los pasivos, se debe aplicar protocolos específicos para remediar el suelo que pudiere estar contaminado bajo la infraestructura. Por las características de los pasivos, la ocurrencia de una infiltración de alta magnitud, se considera un escenario de baja probabilidad.

## Bibliografía

- Acossand. (2022). *Plan Ambiental de retiro y/o abandono de las centrales de generación térmica - Unidad de negocio Santa Elena*.
- Acosta, A. (2007). *Agenda energética 2007-2011 hacia un sistema energético sustentable*.
- Arias, D., Gavela, P., & Riofrio, J. (2022). Estado del Arte: Incentivos y Estrategias para la Penetración de Energía Renovable. *Revista Técnica "energía"*, 18(2), 91–103.  
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v18.n2.2022.494>
- Campoverde, J. C., Sigua, F. N., Pangol, K. C., & Galarza, R. G. R. (2018). El cambio de la matriz energética en {Ecuador}; una perspectiva de su realidad. *ACORDES*, 15–47.  
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/acordes/article/view/4349>
- Cando Rodríguez, M. Á. (2011). *Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos* [Universidad Politécnica Salesiana].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1520>
- CELEC EP. (2023). Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. En *Corporación Eléctrica del Ecuador*. <https://www.celec.gob.ec/cocacodo/informacion-tecnica/central-hidroelectrica-coca-codo-sinclair/>
- Corozo Angulo, I. D., & Balderramo Vélez, N. R. (2022). Optimización de procesos en sistemas de generación termoeléctricas por el uso de homogeneizadores. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(7), 149–159.  
<https://doi.org/10.51798/sijis.v3i7.525>
- Cuji, C., & Mediavilla, E. (2022). Controlador Difuso Para Gestión De La Energía En Un Proceso De Transición De Central De Generación Térmica A Renovables. *Revista Técnica "energía"*, 18(2), 61–73.  
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v18.n2.2022.491>
- Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P. Y., & Schroeder, E. D. (1999). *Principios de biorrecuperación (bioremediation): tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos*. McGraw Hill.
- Golla, S., & Gerke, S. J. (2018). Primer Estudio para una Transición Energética Completa y

- Sostenible para Ecuador “El Fin del Petróleo”. *Revista Técnica “energía”, 14(1)*, 246–265. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v14.n1.2018.177>
- Guzmán-González, Y. (2020). Riesgos y peligros laborales en termoeléctricas. *Salud UIS, 52(3)*, 239–250. <https://doi.org/10.18273/revsal.v52n3-2020006>
- Institute, N. (2025). *Nickel alloys in energy and power*. Nickel Institute. <https://nickelinstitute.org/>
- Jumbo, R. B. (2023). *Enhancing bioremediation efficiency of acidic wetlands contaminated with crude oil*. [https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/21266/Jumbo\\_R\\_2023.pdf?sequence=1#page=37](https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/21266/Jumbo_R_2023.pdf?sequence=1#page=37)
- Kotler, P. T., Keller, K. L., Goodman, M., Brady, M., & Hansen, T. (2019). *Marketing Management, European Edition* (4a ed.). [https://www.pearson.com/nl/en\\_NL/higher-education/subject-catalogue/marketing/Kotler-Marketing-Management-European-Edition-4e.html](https://www.pearson.com/nl/en_NL/higher-education/subject-catalogue/marketing/Kotler-Marketing-Management-European-Edition-4e.html)
- Lee, H., Sam, K., Coulon, F., De Gisi, S., Notarnicola, M., & Labianca, C. (2024). Recent developments and prospects of sustainable remediation treatments for major contaminants in soil: A review. *Science of The Total Environment, 912*, 168769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168769>
- Ministerio de energía y ambiente del Ecuador. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE*. <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- Ministerio del Ambiente. (2008, mayo). *Expídense los procedimientos para Registro Generador de Desechos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de desechos peligrosos*. [http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/ManualesWebMesaAyuda/Manuales/Regularizacion/Registro\\_Generador\\_de\\_Desechos.pdf](http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/ManualesWebMesaAyuda/Manuales/Regularizacion/Registro_Generador_de_Desechos.pdf)
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Acuerdo Ministerial 146 - Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador*.

<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/ACUERDO-MINISTERIAL-DE-PROCEDIMIENTOS-PARA-LA-GESTIÓN-AMBIENTALMENTE-RACIONAL-DE-PCB.pdf>

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro oficial suplemento 983. [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. <https://www.gob.ec/regulaciones/reglamento-al-codigo-organico-ambiente>

Morgan, R. K. (2012). Environmental impact assessment: the state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1), 5–14. <https://doi.org/10.1080/14615517.2012.661557>

Naciones Unidas. (2022). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. [www.issuu.com/publicacionescepal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescepal/stacks)

Navas Gallo, N. A., Martínez Dueñas, D. A., & Urrea López, C. M. (2023). Impactos ambientales asociados al vertido de aguas residuales sobre corrientes hídricas.: Caso de estudio Santander Colombia. *Cuadernos del Claeh*, 42(117), 51–64. <https://doi.org/10.29192/claeh.42.1.3>

Olanrewaju, O., & Barasa Kabeyi, M. J. (2023). *Diesel Power plants: Design and Operation and Performance Enhancement*. <https://doi.org/10.46254/EU05.20220425>

Oscullo, J. A., & Pichucho, E. P. (2017). Impacto del Cambio de la Matriz Eléctrica en el Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> del Sistema Nacional Interconectado para el período 2016-2025. *Revista Técnica “energía”*, 13(1), 206–212. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v13.n1.2017.23>

Pernía, B., De Sousa, A., Reyes, R., & Castrillo, M. (2008). Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas. En *Interciencia* (Vol. 33, Número 2). [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0378-18442008000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0378-18442008000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)



Poma, P. A. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. En *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 69, Número 2).

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832008000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832008000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Riojas González, H. H., Torres Bustillos, L. G., Mondaca Fernández, I., Balderas Cortes, J. de J., & Gortáres Moroyoqui, P. G. (2010). *Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. *Química viva*.

<https://www.redalyc.org/pdf/863/86315692003.pdf>

Rojas-Lemus, M., López-Valdez, N., Bizarro-Nevarés, P., González-Villalva, A., & Fortoul, T. I. (2024). Vanadio: exposición atmosférica, efectos en la salud y normatividad en México: Revisión de la literatura. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 181–191. <https://doi.org/10.20937/RICA.54869>

Suthersan, S. S., Horst, J., Schnobrich, M., Welty, N., & McDonough, J. (2016). *Remediation Engineering: Design Concepts, Second Edition*. <https://doi.org/10.1201/9781315367088>

Távora Cieza, J. E., Briceño Limaco, R. D., & Vásquez León, J. A. (2016). *Plan de abandono para centrales termoelectricas, caso: CT-Sullana*. Repositorio institucional - UNAC.

<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1582>