

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Gestores ambientales en Ecuador: Enfoque a la biorremediación

Jefferson Cuenca ¹  Kimberly Gallardo ¹  Isabel Domínguez-Gaibor ²  

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, El Coca EC220001, Ecuador

² Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo - GIADE, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

 Correspondencia: norma.dominguez@esPOCH.edu.ec  + 593 99 905 7885

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj42021>

Resumen: La gestión ambiental es la aplicación de políticas dentro de las organizaciones para prevenir, mitigar y resolver problemas de carácter ambiental. El objetivo de este trabajo fue analizar la gestión ambiental en el Ecuador con un enfoque en la biorremediación, se evaluaron tres criterios: legislación ambiental, actividades productivas y biorremediación. La metodología usada fue una revisión bibliográfica, basada en tesis, libros, artículos científicos y normativa ambiental nacional. Se realizó un diagnóstico a las organizaciones ecuatorianas enfocadas a procesos de biorremediación, por medio del análisis de teorías, modelos, metodologías y bibliografía de las empresas gestoras. La principal fuente de contaminación identificada en Ecuador son los hidrocarburos o TPH que afectan principalmente a los suelos o aguas y siendo la Amazonía Ecuatoriana, una de las zonas más afectadas. En cuanto a los métodos de biorremediación más utilizados en el Ecuador se identificaron dos principales: Biopilas y Landfarming.

Palabras claves: Hidrocarburos; Actividades productivas; Residuos peligrosos; contaminación; Legislación

Environmental managers in Ecuador: Focus on bioremediation

Abstract: Environmental management is the application of policies within organizations to prevent, mitigate and solve environmental problems. The objective of this work was to analyze environmental management in Ecuador with a focus on bioremediation. Three criteria were evaluated: environmental legislation, productive activities and bioremediation. The methodology used was a bibliographic review, based on theses, books, scientific articles and national environmental regulations. A diagnosis was made of Ecuadorian organizations focused on bioremediation processes, through the analysis of theories, models, methodologies and bibliography of the management companies. The main source of contamination identified in Ecuador are hydrocarbons or TPH that mainly affect soils or



Cita: Cuenca, J., Gallardo, K., & Domínguez-Gaibor, I. (2021). Gestores ambientales en Ecuador: Enfoque a la biorremediación. Green World Journal, 4(2), 2.

<https://doi.org/10.53313/gwj42023>

Recibido: 25/Julio/2021

Aceptado: 29/Agosto/2021

Publicado: 31/Agosto/2021

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor en Jefe / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Nota del editor: CaMeRa se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultado del contenido publicado. La responsabilidad sobre la información publicada es íntegra de los autores.



© 2021 Licencia CaMeRa, Green World Journal. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

water and the Ecuadorian Amazon is one of the most affected areas. Regarding the most used bioremediation methods in Ecuador, two main ones were identified: Biopiles and Landfarming

Keywords: Hydrocarbons; Productive activities; Hazardous waste; Pollution; Legislation

1. Introducción

La gestión ambiental aplica políticas ambientales dentro cualquier obra o actividad para reducir costos y gestionar adecuadamente los aspectos ambientales generados por las actividades humanas [1]. Además, la gestión ambiental logra una adecuada calidad de vida al prevenir o mitigar los problemas ambientales cumpliendo con la normativa ambiental. En cuanto al desarrollo sostenible, busca equilibrar el correcto desarrollo económico y ambiental [1,2]. Con la globalización, la gestión ambiental ha producido nuevas características de gestión de recursos [3], esto impulsa a la organización a enfocarse en el desarrollo sostenible, buscar la eficiencia e innovación basada en factores ambientales, y generar beneficios económicos en el proceso de gestión. Por tanto, la empresa es un factor responsable, busca la mejora continua y está insatisfecha con el cumplimiento de la normativa ambiental, pero persigue la excelencia [2].

Un gestor ambiental (GA) es un actor fundamental en la solución de conflictos Socioambientales [4]. Además, es netamente administrativo, se llega al planteamiento de directrices o planes y no va hasta la consecución de éstos [5]. Otra de las funciones es brindar soluciones para reducir los impactos ambientales negativos y asegurar la sostenibilidad del ecosistema [6]. Los GA pueden explicar las diferentes relaciones (sociales, ambientales y económicas) que existen en la comunidad y tienen la capacidad de generar planes, programas y proyectos. De esta manera, buscan un equilibrio entre la sociedad y la protección del medio ambiente, con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible [7]. Además de la gestión de recursos naturales, residuos, también involucra la calidad ambiental de todo el territorio y la gestión ambiental junto a diferentes actores para mejorar la calidad ambiental [8,9].

La contaminación proviene de las actividades humanas y se presenta de diversas formas. Los contaminantes ingresan al cuerpo humano a través del agua, el aire y los alimentos [10]. Los contaminantes nocivos para los organismos y ecosistemas son los metales pesados e Hidrocarburos [11], estos contaminantes ambientales son los contaminantes más abundantes e interesantes por su persistencia y toxicidad. Además, muchas sustancias químicas que se han sintetizado y continúan sintetizándose pondrán en peligro la salud humana y ambiental [12].

La biorremediación utiliza la capacidad y potencial metabólico de los microorganismos para limpiar superficies contaminadas o agua [13]. También, utilizan su potencial enzimático para mineralizar o degradar contaminantes en compuestos no tóxicos o menos dañinos [14].

En la actualidad se han desarrollado y mejorado diferentes estrategias de biorremediación [15]. En términos de eficiencia y economía, el uso de métodos biológicos para tratar aguas residuales o sustratos contaminados es mejor que los métodos químicos y físicos [16].

Ecuador, es el país latinoamericano con mayor biodiversidad relativa [17]. Sin embargo, debido a varios factores ambientales, la biodiversidad y la variedad de ecosistemas del Ecuador están en grave peligro [18]. En este sentido, la gestión ambiental debe aplicar políticas ambientales teniendo en cuenta la cultura del medio ambiente en la sociedad, experiencia acumulada y participación ciudadana [19]. Mientras que, la empresa debe analizar nuevas tecnologías para minimizar el

impacto ambiental y cumplir con las leyes y normativas vigentes en Ecuador. Para ello es necesario aplicar sistemas de gestión ambiental a través de alianzas entre instituciones públicas y privadas y las comunidades involucradas [20].

Actualmente, se busca remediar sitios contaminados mediante procesos avanzados de oxidación, biorremediación, fitorremediación e incineración. Estos métodos de tratamiento describen diferentes tecnologías de purificación de suelos y, en algunos casos, combinan tecnologías de purificación de aguas subterráneas [21].

Para el presente estudio se realizó una revisión bibliográfica de tesis, libros, artículos científicos y legislación ambiental. La investigación principalmente se enfoca en documentos de Ecuador. En el proceso de búsqueda, los artículos científicos a partir de 2010 fueron considerados en bases de datos de alto impacto y regional como Scopus, Google académico y Scielo. Si embargo, tesis, libros y leyes se revisaron desde el año 2000 para tener un contexto general de los GA hasta la actualidad. Se aplicaron filtros de búsqueda al título, palabras clave y resumen. Los términos considerados para determinar cómo se encuentran las organizaciones gestoras por procesos de biorremediación en Ecuador incluyeron “gestor ambiental” y “biorremediación”. Estas dos palabras se combinaron con “impactos”, “empresas gestoras”, “legislación”, “contaminación”, “actividades productivas” y “residuos peligrosos”.

De esta forma se analiza teorías, los modelos, las metodologías y bibliografía general de la empresa respecto a los procesos de biorremediación que aplican. La investigación se divide en tres niveles (*Figura 1*): Identificación y análisis de las actividades productivas que se dan en el Ecuador y sus impactos (*Tabla 1*); 2) Análisis de la legislación ambiental, 3) Diagnóstico de los GA certificados en el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAEA) enfocados a la biorremediación (*Tabla 2*); y cumplimiento por parte de las empresas Gestoras.

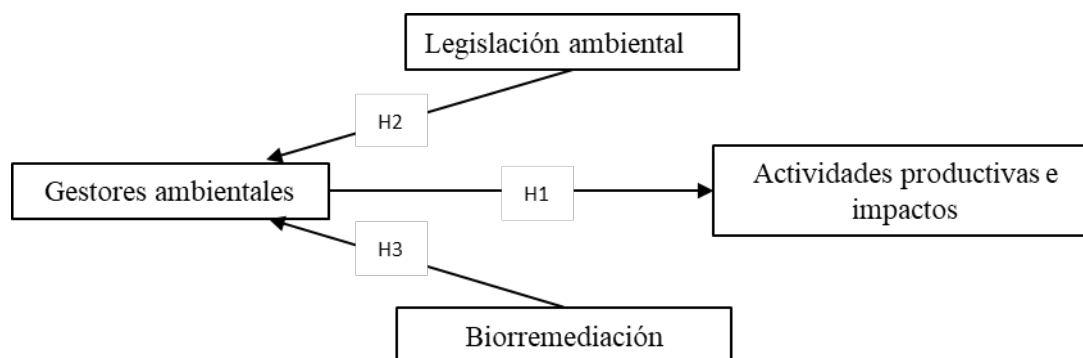


Figura 1. Flujo de procedimientos y opciones metodológicas para este estudio.

2. Principales actividades productivas en el Ecuador

Los llamados impactos económicos, sociales y ambientales deben utilizarse para gestionar las actividades productivas y la conservación de los recursos naturales en el marco de un razonable equilibrio de utilidad entre el ser humano y la naturaleza [22]. Hoy, no se puede constituir una empresa sin considerar el entorno social y ambiental en el que se ubica la empresa [23]. A nivel empresarial ha incrementado la preocupación por el medio ambiente [24]. La conciencia ecológica de las personas también ha aumentado; a nivel social, hay un debate activo sobre el impacto ambiental de las actividades productivas en el medio ambiente [25]. Es importante resaltar que en la década

del 2000 se analizaron situaciones similares, enfocándose en la contaminación y las condiciones ambientales de algunas empresas [26].

Las actividades productivas (*Tabla 1*) son las creadoras de bienestar económico y social, y sus procesos de producción, suministro y manufactura, si no son bien ejecutados deterioran el medio ambiente [27]. En este sentido, es necesario que las empresas asuman estándares de responsabilidad social corporativa, resuelvan conflictos de interés y reduzcan riesgos, promuevan la creación de valor para la sociedad y sus propios intereses, y anticipen impactos catastróficos en la empresa, y frente a la sociedad, mejoren su reputación [28,29].

Tabla 1. Actividades productivas del Ecuador e impactos ambientales [30].

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS ECUADOR	IMPACTOS AMBIENTALES
<i>EXPLOTACIÓN MINERA</i>	Depredación de los recursos y daño del entorno natural.
	Contaminación del agua, acumulación de escombros y relaves.
<i>EXPLOTACIÓN HIDROCARBURÍFICA</i>	Contaminación de suelos y aguas por derrames.
	Vertimiento de aguas de formación.
	Quema de gas.
<i>INDUSTRIALES Y AFECTACIONES RURALES Y URBANAS (RESIDUOS SÓLIDOS)</i>	Aumento del tiempo de degradación de los residuos sólidos.
	Degradación del entorno natural y del paisaje.
	Generación de malos olores.
	Propagación de vectores y plagas.
	Foco de infecciones y afectaciones a la salud.
	Aumento de emisión de gases de efecto invernadero como el metano.
	Contaminación directa de cuerpos de aguas superficiales y suelo.
<i>AGRÍCOLA Y PECUARIO</i>	Filtración de lixiviados que contaminan el suelo y fuentes de aguas subterráneas.
	Pérdida de la cobertura vegetal y fertilidad del suelo.
<i>PRODUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE RECURSOS MARINOS Y COSTEROS</i>	Contaminación del suelo y alteraciones al recurso hídrico.
	Especies silvestres a situaciones críticas para su supervivencia y conservación.
<i>EXTRACCIÓN DE MADERA DE BOSQUES</i>	Empobrecimiento de ecosistemas sobre la diversidad y abundancia de las especies.
	Pérdida de flora y fauna y, fragmentación de hábitat.
<i>GENERACIÓN ELÉCTRICA</i>	Transformación del paisaje, erosión del suelo, sedimentación de los cuerpos de agua, cambios en el ciclo del agua y, la pérdida de bienes y servicios ambientales.
	Emisiones a la atmósfera.
	Disposición final de desechos potencialmente peligrosos.

Las empresas coinciden en que existe una tendencia creciente a adoptar estas medidas para mitigar el impacto negativo de sus procesos sobre el medio ambiente; de hecho, las grandes empresas manifiestan en sus políticas que deben cumplir con la normativa ambiental y controlar la generación de residuos y emisiones. A pesar de que iniciar prácticas de protección ambiental sigue siendo un proceso difícil y costoso para las empresas de esta industria [24]. El desarrollo económico del Ecuador depende en gran medida de los sectores externos, Ecuador recurrió a la deuda externa

y aumentó las exportaciones [31]. Como resultado, lo que ha llevado a la explotación acelerada de los recursos naturales y de los principales productos de exportación, y por tanto al deterioro del medio ambiente. Además, viola las leyes y regulaciones vigentes y el marco legal para orientar y gestionar la gestión ambiental; carece de políticas económicas que estimulen el uso racional y valor de los recursos naturales y destruyan los recursos naturales [32].

3. Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)

El nombre completo en inglés es Total Petroleum Hydrocarbons o TPH, que describe varios compuestos derivados del petróleo crudo. Hay muchos tipos de productos químicos en el petróleo crudo, por lo que medir la contaminación por sí solo no es práctico. Esto se hace midiendo la cantidad total de TPH expuesta en el sitio. El TPH es una mezcla de sustancias químicas compuestas principalmente por hidrógeno y carbono, llamadas hidrocarburos. Se clasifican en hidrocarburos de petróleo que tienen un comportamiento similar en agua y/o suelo y se denominan fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene varias sustancias químicas individuales, tales como: hexano, aceite mineral, benceno, tolueno, xileno, naftaleno, fluoreno, componentes de gasolina, etc. Las muestras de TPH pueden contener algunas o mezclas de estas sustancias químicas [33].

3.1 Suelos contaminados por hidrocarburos Ecuador

El suelo es un sistema de purificación ya que degrada o repara uno o más contaminantes, todo depende de las características del suelo, es decir, la actividad microbiana, las reacciones físicas y químicas, la capacidad de filtrado, y la presencia de gas en cada capa, lo que incide en gran medida en la descomposición, fijación o liberación de los contaminantes existentes [34]. El suelo contaminado supera su capacidad amortiguadora, es decir, ya no puede absorber, inmovilizar, inactivar y degradar todos los contaminantes, por lo que puede ser transferido a otros medios (agua, aire, biota), e incluso incorporarlos a las cadenas tróficas [35]. Sin embargo, los altos niveles de contaminación afectan negativamente el comportamiento del suelo [36].

En Ecuador, las exportaciones de petróleo han proporcionado al país los ingresos económicos más altos de los últimos 25 años. No obstante, en el mismo presupuesto, cerca del 50% de la deuda se destinó de manera uniforme al pago de la deuda externa. Según el contrato petrolero firmado por Ecuador, en promedio el 80% de la utilidad se entrega a la empresa operadora, y solo el 20% corresponde al país ecuatoriano. En Ecuador, las áreas que tienen mayor impacto en la extracción de petróleo son la Península de Santa Elena y la Amazonía. Las principales zonas de extracción de petróleo se ubican en las provincias de Sucumbíos, Pastaza, Morona Santiago, Napo, que pertenecen a la región amazónica, y Guayas en la región costera. Por otro lado, las refinerías están ubicadas en Esmeraldas, Guayas, Amazonas y Manabí [37].

En 1924, Angla Ecuador Oilfield Co., Ltd. descubrió petróleo por primera vez en la península de Santa Elena y produjo petróleo por primera vez en 1925, con una producción diaria de 1.226 barriles. Otras exploraciones de petróleo y gas se llevaron a cabo en la región oriental, lo que provocó un gran número de concesiones de empresas extranjeras hasta el establecimiento de la Corporación Nacional de Petróleo del Ecuador (CEPE) en 1972. Durante este período, Ecuador produjo miles de barriles de petróleo y los ingresos económicos del país fueron altos (aunque

distribuidos de manera desigual). En 1973, Ecuador se unió a la OPEP, la Organización de Países Exportadores de Petróleo. En 1989, CEPE se convirtió en EP-PETROECUADOR de varias subsidiarias. El petrolero en Ecuador es extraído por la empresa nacional Petroecuador, creada en 1989 como un sistema de empresas asociadas. Pero a finales de los años 60 se encontraron los yacimientos en la Amazonía, lo que permitió la explotación de crudo, dando lugar a la era petrolera del Ecuador [38].

En 1967, Texaco-Gulf anunció que había descubierto una gran cantidad de petróleo y gas en Lago Agrio, produciendo 2.640 barriles por día, y construyó un oleoducto de 513 km desde Lago Agrio y Shushufindi hasta Esmeraldas con una capacidad de producción diaria de 250.000 barriles. En 1977 se puso en funcionamiento la Refinería Esmeraldas, que incrementó la producción y triplicó el almacenamiento de derivados a 3 millones de barriles [39].

3.2 Gestión de suelos contaminados

La Cumbre de Río de Janeiro en 1992 reconoció la importancia de proteger el suelo, su uso potencial para el desarrollo sostenible y prevenir la contaminación causada por las actividades humanas. Del mismo modo, la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" también reconoce la importancia y función de los ecosistemas terrestres como sumideros de gases de efecto invernadero [40]. Como muestra la Tabla 2, la gestión de suelos contaminados se puede dividir en cuatro etapas: a) La identificación inicial; b) La evaluación preliminar; c) La evaluación detallada; d) Restauración o recuperación.

Tabla 2. Etapas de la gestión de suelos contaminados [41].

<i>FASES</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
<i>Identificación inicial</i>	Recolectar información y determinar el grado de contaminación mediante trabajo de campo y bibliográfico.
<i>Evaluación preliminar</i>	Realice una investigación exhaustiva tomando muestras de agua, suelo y desechos. Compare los resultados del análisis con el nivel de referencia general.
<i>Evaluación detallada</i>	Cuando se supere el nivel de referencia general, se realizará un análisis de riesgo cualitativo.
<i>Restauración o recuperación</i>	o Si durante la investigación se encuentra un riesgo alto e inaceptable que contaminen el suelo, el proyecto debe ser redactado y monitoreado.

La causa del problema de la contaminación del suelo es la fuga accidental de sustancias peligrosas y los vertidos ilegales llevados a cabo en secreto. Aunque las fuentes más importantes de contaminación del suelo se deben a: sitios de desechos industriales mal adaptados y abandonados, deposición de hidrocarburos y productos químicos, y actividades mineras y metalúrgicas [42].

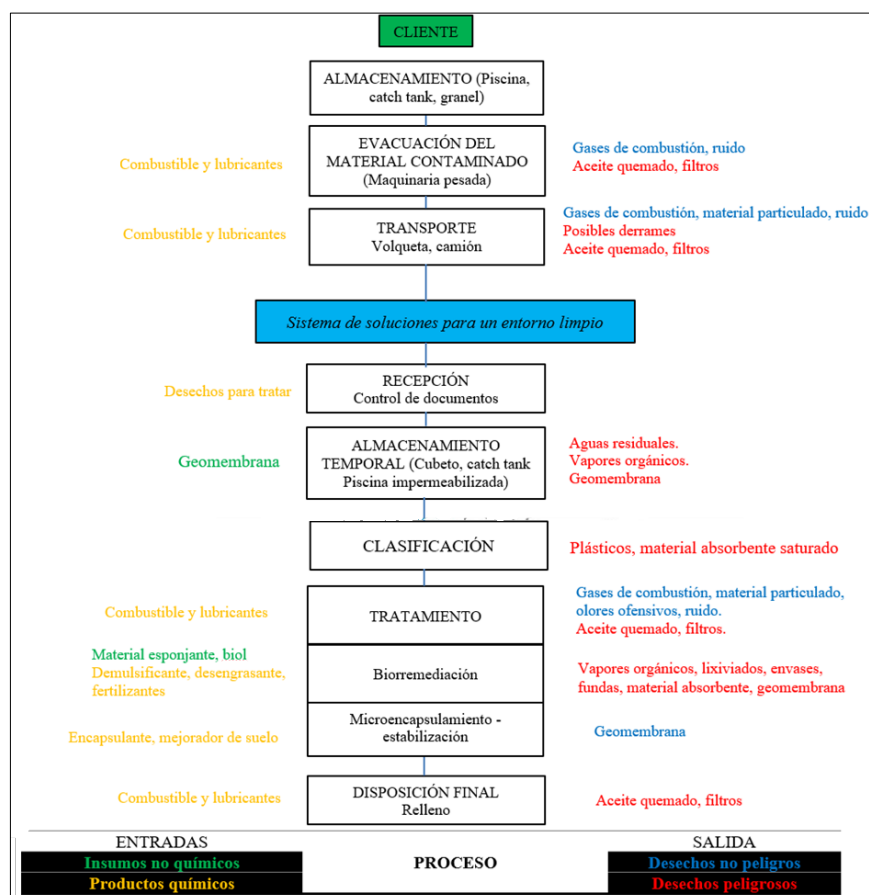
3.3 Manejo de desechos peligrosos

Los Desechos Peligrosos se refieren a residuos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos producidos por la producción, conversión, reciclaje, uso o consumo, y contienen compuestos con características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables e infecciosas. Representan un riesgo para la salud humana, el medio ambiente y los recursos naturales [43]. Para una adecuada gestión de los residuos, es necesario definir si son nocivos y clasificarlos de acuerdo con diversos estándares, los cuales dependen del nivel de desarrollo de cada país en este tema y de las políticas ambientales adoptadas (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios y requisitos utilizados para clasificar un desecho como peligroso [44].

CRITERIOS	
Estar en listas cualitativas de residuos que indican el tipo, origen y componente del residuo.	
Presentar alguna característica de peligrosidad: inflamable, corrosivo, reactivo, infeccioso o tóxico.	
Por sus propiedades físicas, químicas o biológicas.	
REQUISITOS	
<i>El listado nacional de desechos peligrosos establecido en la normativa ecuatoriana a través del Acuerdo Ministerial No. 142</i>	
Anexo A: Listado de sustancias químicas peligrosas.	Lista 1: listado de sustancias químicas peligrosas prohibidas.
	Lista 2: listado de sustancias químicas peligrosas de toxicidad aguda.
	Lista 3: listado de sustancias químicas peligrosas de toxicidad crónica.
Anexo B: Listado de desechos peligrosos, cuyos códigos están equiparados a los tipos de desechos peligrosos presentados en el Convenio de Basilea.	Listado 1: desechos peligrosos por fuente específica (contiene 96 categorías de fuentes).
	Listado 2: desechos peligrosos por fuente no específica (existen 56 tipos, del NE 01 al NE 56).
	Lista anexo C: Listado de desechos especiales (Existen 8 tipos, del ES 01 al ES 08).

Incluye una serie de actuaciones y normativas con el fin de proporcionar un destino más adecuado para los residuos desde una perspectiva técnica, medioambiental y socioeconómica en función de sus características (*Figura 2*). La gestión tiene como objetivo realizar la etapa de manejo de residuos sólidos (minimización, separación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, tratamiento, uso y disposición final) [45].

**Figura 2.** Proceso y manejo de desechos sólidos y semisólidos [46].

El sistema de gestión integral de residuos peligrosos y / o especiales se divide en las siguientes etapas: generación, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento, valoración o tratamiento (incluye la reutilización y reciclaje) y disposición final [45]. El Acuerdo Ministerial No. 026 establece que, para el transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, se debe contar con la licencia correspondiente que acredite que es el transportista autorizado y administrador de residuos peligrosos respectivamente [45].

4. Gestión ambiental en el Ecuador

4.1 Marco normativo

Para la gestión ambiental en el Ecuador es esencial conocer el sistema jurídico, los instrumentos y los procedimientos legales del país para resolver las situaciones que violan o ponen en peligro los ecosistemas. Las normas jurídicas se ordenan y aplican de la más alta a la más baja jerarquía de la siguiente manera (Tabla 4).

Tabla 4. Normas legales de mayor a menor jerarquía en el Ecuador.

Normativa legal	Cuerpo habilitante
<i>Constitución Política</i>	Asamblea Constituyente
<i>Acuerdos internacionales</i>	Ratificado por la Asamblea Legislativa
<i>Leyes</i>	Promulgado por la Asamblea Legislativa
<i>Acuerdos y decretos</i>	Promulgado por el Poder Ejecutivo
<i>Procedimientos</i>	Promulgado por entidades del Poder Ejecutivo
<i>Ordenanzas</i>	Promulgado por gobiernos autónomos descentralizados

4.2 Revisión de aspectos legales relacionados a la biorremediación.

El marco legal para el presente trabajo está constituido por leyes y normas vigentes (tabla 5), aplicables al manejo de desechos peligrosos, permitiendo tener un control de la contaminación, remediación, conservación de los recursos y gestión del ambiente. A continuación, se citan los cuerpos legales pertinentes:

Tabla 5. Políticas y objetivos correspondientes de la Política Nacional de Gestión Ambiental del Ecuador con enfoque a la biorremediación.

Políticas	Año	Objetivos
NTE INEN 2266:2013 Transporte, Almacenamiento y Manejo de Materiales Peligrosos.	2013	Establecer los requisitos y precauciones que se deben tener en cuenta para el transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos [45].
NTE INEN 3864-1: 2013 Colores, Señales y Símbolos de Seguridad		El propósito es llamar la atención rápidamente a los objetos y situaciones que afectan la seguridad y salud, y para lograr la comprensión rápida de un mensaje específico [47].
Reglamento para la prevención y control de la contaminación por sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales. Corresponde al Título V del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente – TULSMA.	2012	Establecer los métodos y procedimientos para la determinación de las características de los desechos peligrosos y especiales y los lineamientos para su adecuada gestión [43].

<i>Constitución de la República del Ecuador</i>		Norma y regula deberes, derechos y obligaciones de todos los elementos, entes y sujetos que conforman el estado; así en lo que corresponde a los derechos de la naturaleza [48].
<i>Título vii. Régimen del buen vivir Capítulo segundo: biodiversidad y recursos naturales. Art. 395. Numeral 2.</i>	2008	Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional [49].
<i>Acuerdo ministerial N°26</i>		Gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos [50].
<i>Ley de gestión Ambiental. Título I: ámbito y principios de la gestión ambiental. Art. 1.</i>	2004	Establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones [51].
<i>Legislación ambiental secundaria del Ministerio de Ambiente.</i>	2003	Tiene como objetivo primordial controlar y prevenir la contaminación ambiental de los recursos agua, aire y suelo [49].
<i>Decreto ministerial No. 1215 (RAHOE Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador.</i>	2001	Regular las actividades hidrocarburíferas de exploración, desarrollo y producción, almacenamiento, transporte, industrialización y comercialización de petróleo crudo, derivados del petróleo, gas natural y afines [52].
<i>Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo.</i>	1986	Tiene como objetivo la prevención, disminución o eliminación de los riesgos del trabajo y el mejoramiento del medio ambiente de trabajo [53].

5. La biorremediación

5.1 Métodos de biorremediación y aplicaciones

La biorremediación permite destruir contaminantes o se vuelvan inofensivos a través de varios métodos de biorremediación (Tabla 6). Además, utiliza tecnologías de bajo costo, que generalmente son ampliamente aceptadas por el público y generalmente se pueden realizar in-situ [54]. En comparación con otros métodos, la biorremediación es un método más eficaz y económico para purificar el suelo y el agua contaminados [55]. También utiliza agentes biológicos (principalmente microorganismos como levaduras, hongos o bacterias) para limpiar el suelo y el agua contaminados [56].

La biorremediación casi siempre se lleva a cabo en condiciones aeróbicas, pero en condiciones anaeróbicas puede hacer que los microorganismos degraden moléculas que, de otro modo, serían difíciles de degradar. Los parámetros más importantes para la biorremediación son: 1) la naturaleza del contaminante, 2) la estructura del suelo, el pH, el contenido de humedad y la hidrogeología, 3) el estado nutricional, la diversidad microbiana del sitio y 4) la temperatura y la oxidación-reducción [57]. En el proceso de biorremediación los contaminantes son utilizados por los microorganismos

como nutriente y fuentes de energía [58]. Complementando con nutrientes (nitrógeno y fósforo), aceptores de electrones (oxígeno) y sustratos (metano, fenol y tolueno), o al introducir microorganismos con la capacidad catalítica requerida, se puede estimular la actividad de biorremediación de los microorganismos [59].

Tabla 6. Principales métodos y aplicaciones de biorremediación [60–68].

Método	Aplicación
<i>Bioestimulación</i>	Implica agregar oxígeno y/o nutrientes al suelo contaminado para estimular la actividad de los microorganismos, promoviendo la biodegradación de los contaminantes.
<i>Bioaumentación</i>	Incluye la adición de microorganismos activos que pueden degradar contaminantes relacionados y así promover su biodegradación o biotransformación.
<i>Biolabranza</i>	Se basa en el uso de cúmulos para airear el suelo contaminado, agregar agua y fertilizante. Cuando reciben oxígeno del medio ambiente y la temperatura, degradan los hidrocarburos.
<i>Bioventeo</i>	Implica suministrar aire a las áreas contaminadas inyectando o bombeando pozos en áreas no saturadas con fugas para estimular la biodegradación aeróbica de contaminantes y agregando nutrientes cuando sea necesario.
<i>Biorreactores</i>	Esta es la técnica más adecuada porque puede optimizar la utilización de microorganismos. Permite la combinación controlada y eficaz de procesos químicos, físicos y biológicos, potenciando y acelerando la biodegradación.
<i>Biodegradación</i>	Este tipo de tecnología generalmente se aplica fuera del sitio, incluido el compostaje, la fase sólida, el compostaje estático y el compostaje delgado. Es decir, el material contaminado se mezcla con fertilizantes orgánicos porque sus propiedades ayudan a restablecer el equilibrio de nutrientes y aseguran una mejor aireación y generación de calor durante el proceso.
<i>Biopilas</i>	El suelo está dispuesto en filas. Agregue agua, nutrientes y sistema de aireación continuo. Suelen estar recubiertos de plástico y, además de favorecer el calentamiento, también pueden eliminar los lixiviados, la evaporación y la volatilización de los contaminantes.
<i>Landfarming</i>	Utiliza un arado para tratar la superficie del suelo contaminado en el mismo lugar. Mezcla la tierra tratada con la tierra nueva y mezcla regularmente para promover la aireación.
<i>Fitoextracción</i>	Utilizar acumuladores de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para eliminarlos del suelo por absorción y concentración en las partes cosechables.
<i>Fitoestabilización</i>	Utilizar plantas para reducir la biodisponibilidad de contaminantes en el medio ambiente y mejorar las propiedades físicas y químicas del medio ambiente.
<i>Fitoimmobilización</i>	Uso de las raíces de las plantas para fijar o inmovilizar los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior, son técnicas de contención.
<i>Fitovolatilización</i>	Uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio a través de su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.
<i>Fitodegradación</i>	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.
<i>Rizofiltración</i>	Utilice raíces para absorber contaminantes en el agua y otras aguas residuales.

La biorremediación transforma los contaminantes por reacciones que ocurren durante el metabolismo de los organismos [61]. La biodegradación de compuestos es el resultado de las acciones de

múltiples organismos. Las plantas o microorganismos de biorremediación deben afectar a los contaminantes y convertirlos en productos inocuos [69]. Sin embargo, solo es eficaz cuando las condiciones ambientales permiten el crecimiento y la actividad de microorganismos y plantas [61]. Implica la manipulación de parámetros ambientales para permitir que el crecimiento y la degradación de microorganismos y plantas proceda a un ritmo más rápido [12].

Las biotecnologías mediante el uso de plantas constituyen una fitorremediación. Esta es una subcategoría de biorremediación (Utiliza plantas verdes, hongos, microorganismos o sus enzimas) que restaura un ambiente alterado por contaminantes a su estado original para limpiar el medio ambiente. En el caso de la contaminación por radionúclidos, es el componente principal de la biorremediación [70].

La fitorremediación es un método de remediación eficaz que puede concentrar elementos y compuestos en el medio ambiente y metabolizar varias moléculas en los tejidos de plantas [71]. Estas plantas pueden estimular la biodegradación de contaminantes en el suelo adyacente a las raíces (rizosfera). Aunque la fitorremediación es un método de limpieza económico y ecológico para la biodegradación de los contaminantes del suelo, este proceso lleva varios años [57,71,72]. Los metales pesados tóxicos, los radionúclidos y los contaminantes orgánicos son los principales objetivos de la fitorremediación. En los últimos años, han surgido conocimientos sobre mecanismos fisiológicos y moleculares y estrategias biológicas y de ingeniería para optimizar y mejorar la fitorremediación. Además, algunas pruebas de campo han confirmado la viabilidad de utilizar plantas para limpiar el medio ambiente [71].

5.2 La biorremediación en el Ecuador

5.2.1 Principios básicos de la biodegradación

Una gran parte de los componentes del petróleo son biodegradables, pero su degradación es relativamente lenta. Permite transformar los contaminantes en sustancias no peligrosas. Para la biodegradación de los contaminantes se emplea el proceso de óxido-reducción. Esto significa que la energía utilizada para la degradación se levanta de las reacciones de transferencia de electrones [73]. Existen seis requisitos básicos que deben estar presentes para que la biodegradación pueda ocurrir (Figura 3):

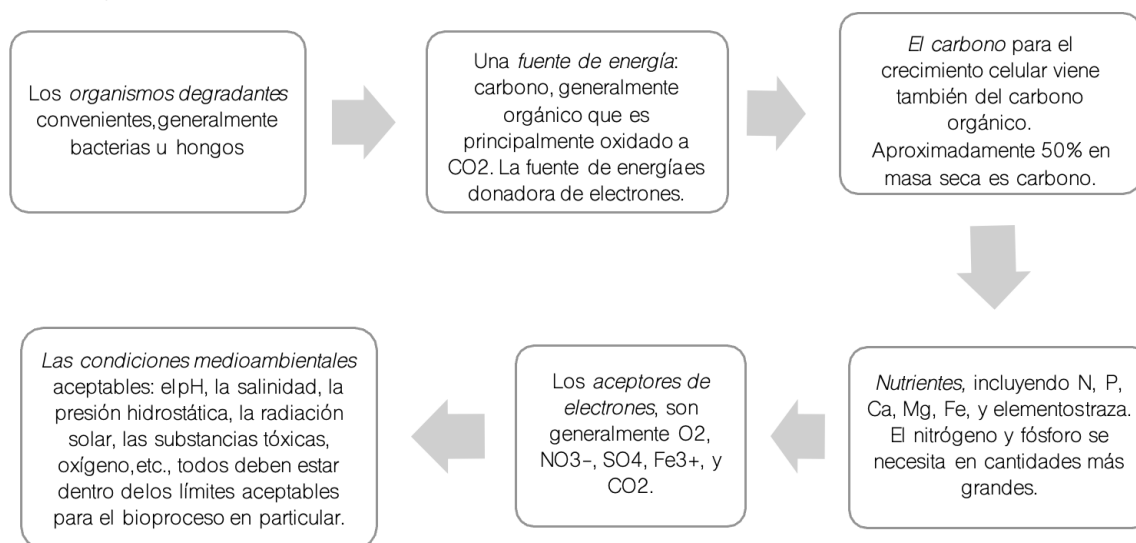


Figura 3. Principios básicos de la biodegradación [74].

6. GA en el Ecuador

Los GA (*Tabla 7*) en general se ocupan de la recolección y transporte de desechos peligrosos y desechos especiales a nivel nacional. También realizan estudios de contaminación del suelo para aplicar el proceso de biorremediación in situ de suelos contaminados o restauración de áreas degradadas [75].

Tabla 7. Prestadores de servicio (gestores) para el manejo de materiales peligrosos (sustancias químicas peligrosas y/o desechos peligrosos).

N	Empresa	Fecha de emisión (licencia ambiental)	Nombre del proyecto / actividad	Fases de gestión
1	HAZWAT CIA LTDA (*)	22/12/2003	Operación del Centro de Remediación Ambiental HAZWAT CÍA LTDA.	Tratamiento (Gasificación Térmica, Biorremediación) y Disposición Final (Celdas de seguridad)
5	ECUAMBIENTE CONSULTING GROUP (*)	8/12/2006	Centro Integral de Ingeniería Ecológica – CIIE	Tratamiento (Biorremediación, Incineración, encapsulación) Disposición final
10	HAZWAT CÍA. LTDA.	24/6/2008	Construcción y operación del proyecto Centro de Remediación Ambiental – CRA en Lago Agrio	Tratamiento (Incineración y Biorremediación)
23	CORPORACIÓN PARA LOS RECURSOS NATURALES CORENA S.A. (*)	7/10/2009	Centro de Tratamiento.	Tratamiento (Biorremediación)
51	CORENA S.A (*)	15/6/2012	Ampliación de las Instalaciones del Centro de Tratamiento.	
31	ARCOIL CIA. LTDA. (*)	8/7/2010	Operación de la Empresa prestadora de Servicios para el manejo de desechos sólidos Arcoil Cía. Ltda.	Tratamiento in-situ (biorremediación)
41	ECORESA	1/8/2011	Planta de Gestión Integral de Residuos	Incineración, biorremediación
45	INCINEROX CIA. LTDA	22/11/2011	Planta de Biotratamiento de Materiales y Suelos Contaminados con Hidrocarburos y Derivados Incinerox	Tratamiento (Biorremediación)
93	BIOREMEDIACION BIOX CIA. LTDA.	14/8/2015	Actividades y operaciones de saneamiento ambiental, tratamiento de desechos, biorremediación de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburo	Tratamiento y Disposición Final

(*) En revisión del cumplimiento de las obligaciones ambientales (la empresa ha presentado documentación respectiva)

Como puede tener un impacto en el medio ambiente y la salud, la gestión ambiental es de interés para las empresas petroleras, el estado a través del MAEA y la sociedad [76]. En el país, un pozo produce un promedio de 13.000 barriles de lodo de perforación y cortes, estos 14 cortes se procesan in situ, posteriormente personal de gestión ambiental realiza el procesamiento y disposición final de acuerdo con la normativa ambiental, pero no realiza minería. Los metales o metales trazas que pueden o permanecer en el lodo causarán una seria contaminación ambiental y de salud en el futuro [73].

Para complicar el problema de los sitios contaminados con hidrocarburos, la gente no se da cuenta del alto costo y la dificultad de reparar el suelo, el agua y la atmósfera contaminados, lo que constituye una enorme pérdida económica para la sociedad actual [77].

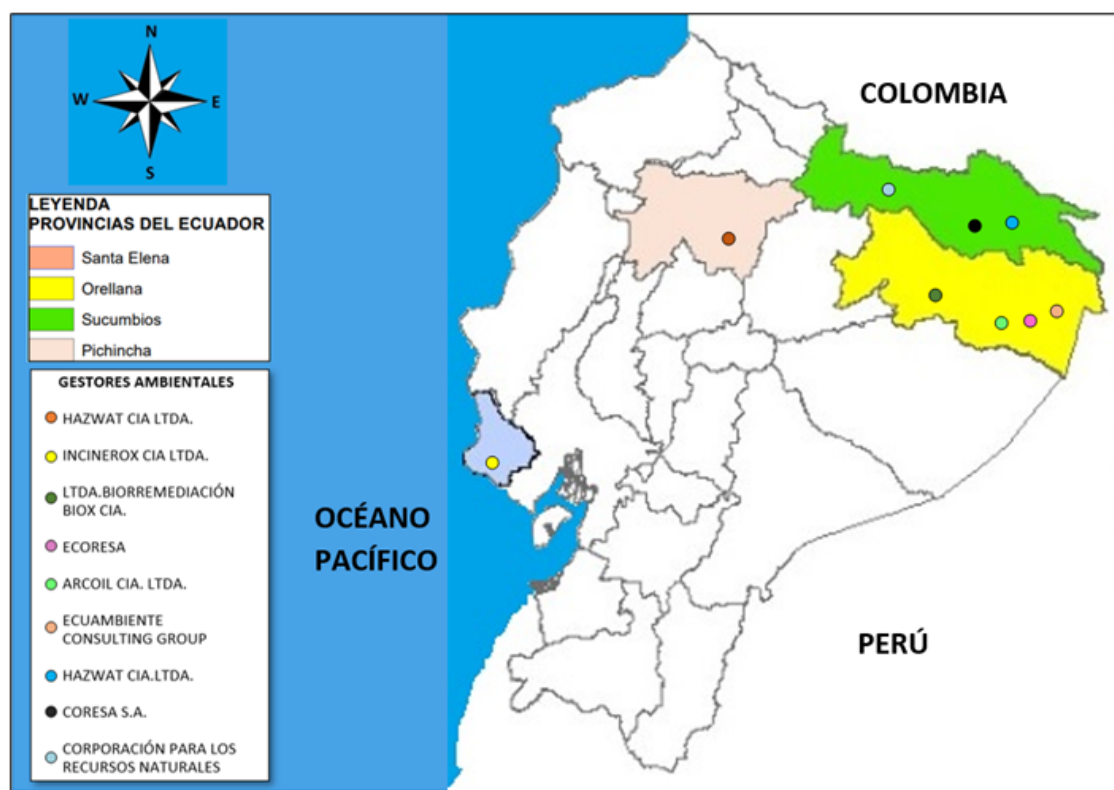


Figura 4. GA del Ecuador enfocados en procesos de biorremediación.

Según la Ingeniera Paulina Poma (Técnica especializada), el costo depende de la distancia entre el sitio contaminado y la empresa administradora (*Figura 4*) y la cantidad de suelo. Sin embargo, los ciudadanos no lo tienen muy claro.

6.1. Técnicas de biorremediación más utilizadas en el Ecuador

La biorremediación cubre los diferentes procesos de tratamiento del suelo, y también utiliza organismos de sitios contaminados u otros lugares. La biorremediación puede realizarse in situ o fuera del sitio en condiciones aeróbicas o anaeróbicas [74]. Existe una variedad de tecnologías de biorremediación que pueden hacer frente a la contaminación ambiental causada por la presencia de hidrocarburos, entre las cuales las más utilizadas son las biopilas y el landfarming [78].

Biopilas son un tipo de tratamiento ex situ de recuperación que consiste en reducir la concentración del contaminante [79]. Para una eficiente degradación de los contaminantes se debe controlar la humedad, la aireación, la adición de nutrientes y estimulación de la actividad microbiana [80]. Una

de las ventajas es que el diseño y la construcción son relativamente fáciles. Además, en comparación con otras tecnologías de saneamiento de suelos, no hay necesidad de limitar el suelo a desinfectar con la biopila y proporcionar un costo más competitivo [81]. Aunque su principal desventaja son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) de cinco y seis anillos que son difíciles de degradar. También son ineficaces para concentraciones de HTP superiores a

50.000 mg / kg. Además, la presencia de metales pesados puede inhibir el crecimiento de microorganismos [81].

Landfarming son un tipo de tratamiento ex situ, mediante bioestimulación [74], al igual que las biopilas necesita nutrientes, control de humedad y aireación, pero en este caso, se debe mezclar una alta concentración de suelo contaminado y sedimento limpio para reducir la concentración de contaminantes [82] e inhibe completamente la actividad microbiana [83]. Una de las ventajas es que se puede manipular fácilmente. Aunque su mayor desventaja es que la operación requiere mucho espacio físico, y el tiempo de degradación es muy largo [78].

7. Conclusiones

En este trabajo se analizó la gestión ambiental en el Ecuador haciendo énfasis en la biorremediación mediante una exhaustiva revisión bibliográfica para desarrollar aspectos importantes como actividades productivas del Ecuador, legislación, biorremediación y GA. Se logró identificar 9 empresas Gestoras enfocadas a procesos de Biorremediación o que incluían Biorremediación en sus servicios como GA. Además, se pudo evidenciar que la bibliografía para algunas empresas como BIOREMEDIACION BIOX CIA. LTDA. y CORPORACIÓN PARA LOS RECURSO NATURALES CORENA S.A. es muy escasa.

La principal fuente de contaminación del Ecuador son los hidrocarburos o TPH que afectan principalmente a los suelos o aguas y siendo la más afectada, la Amazonía Ecuatoriana. Es por esto que Ecuador se enfoca en métodos de biorremediación (*tabla 6*) para recuperar zonas dañadas por hidrocarburos. Sin embargo, lo más importante del trabajo fue concluir que en el Ecuador por lo general utilizan dos métodos de Biorremediación como Biopilas y Landfarming.

La legislación ambiental enfocada a la gestión ambiental en el Ecuador tiene un correcto sistema jurídico, instrumentos y procedimientos legales, que permitan resolver las situaciones que afectan a los ecosistemas. Las normas jurídicas se ordenan y aplican de la más alta a la más baja jerarquía. Las empresas gestoras deben ser monitoreadas para el correcto cumplimiento del marco legal. Especialmente las leyes y normas, aplicables al manejo de desechos peligrosos para tener un control de la contaminación, remediación, conservación de los recursos y gestión del ambiente.

Contribución de autores: Los autores contribuyeron en todos los apartados investigativos.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias:

1. Aguilera Peña, R.G.; Santana Moncayo, C.A. Fundamentos de la gestión ambiental 2017, 10–11.
2. Innovacion y Cualificacion, S.L. *Gestion ambiental y desarrollo sostenible*; IC Editorial, 2019; ISBN 9788491987185.
3. Alvarado Merino, G.; do Amaral Mello, C.; Monterroso, I. *Gestión ambiental y conflicto social en América Latina*; 2008; ISBN 9871543042.
4. Florez, R.; Lucía Giraldo, O.; Lopera, A.M.; Cecilia Lopera, M.; Pérez, A.P.; Restrepo, L.M. Plan de gestión integral de residuos hospitalarios y similares (PGIRHS). *Rev. AIDIS Ing. y Ciencias Ambient. Investig. Desarro. y práctica* **2006**, 1.
5. Caicedo, C.A.; Álava, E.H.L. Directrices de gestión ambiental local para el manejo de conflictos socio ambientales presentes en la comuna diez en los barrios Portal de Aranda Uno y Dos de la ciudad San Juan de Pasto, departamento de Nariño, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales, 2010.
6. Zambrano-Mendoza, C.M.; Rodríguez-Gámez, M. El mantenimiento industrial en el proceso de detergente en polvo, su impacto ambiental. *Dominio las Ciencias* **2020**, 6, 876–890.
7. Martínez Pinzón, A.F.; Ortiz Juyó, P.X. El papel del profesional en administración y gestión ambiental en la aplicación de indicadores de sostenibilidad, caso: huella de carbono en eventos sociales 2013.
8. Meza Duman, K. Evaluación del desempeño ambiental en empresas piscícolas de la Región Junín, Universidad Nacional Federico Villarreal, 2019.
9. Sacasari Haro, G.C.; Zhunio Iñiguez, E.E. Sistematización de la legislación administrativo – ambiental para la gestión, regulación y control de los derechos de la naturaleza en las Juntas Parroquiales del cantón Cuenca. Actores, Competencias y Reparación Integral de los Derechos de la Naturaleza, Universidad del Azuay, 2018.
10. Chung, B. Control de los contaminantes químicos en el Perú. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica* **2008**, 25, 413–418.
11. Lécrivain, N.; Aurenche, V.; Cottin, N.; Frossard, V.; Clément, B. Multi-contamination (heavy metals, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons) of littoral sediments and the associated ecological risk assessment in a large lake in France (Lake Bourget). *Sci. Total Environ.* **2018**, 619, 854–865.
12. Rathna, R.; Nakkeeran, E. Phenol Degradation from Industrial Wastewater by Engineered Microbes BT – Bioremediation: Applications for Environmental Protection and Management. In; Varjani, S.J., Agarwal, A.K., Gnansounou, E., Gurunathan, B., Eds.; Springer Singapore: Singapore, 2018; pp. 253–276 ISBN 978-981-10-7485-1.
13. Watanabe, K. Microorganisms relevant to bioremediation. *Curr. Opin. Biotechnol.* **2001**, 12, 237–241.
14. Singh, R.L. Introduction to Environmental Biotechnology BT – Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future. In; Singh, R.L., Ed.; Springer Singapore: Singapore, 2017; pp. 1–12 ISBN 978-981-10-1866-4.
15. Gopinath, M.; Pulla, R.H.; Rajmohan, K.S.; Vijay, P.; Muthukumaran, C.; Gurunathan, B. Bioremediation of Volatile Organic Compounds in Biofilters BT – Bioremediation: Applications for Environmental Protection and Management. In; Varjani, S.J., Agarwal, A.K., Gnansounou, E., Gurunathan, B., Eds.; Springer Singapore: Singapore, 2018; pp. 301–330 ISBN 978-981-10-7485-1.
16. Sun, L.; Cao, X.; Li, M.; Zhang, X.; Li, X.; Cui, Z. Enhanced bioremediation of lead-contaminated soil by *Solanum nigrum* L. with *Mucor circinelloides*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2017**, 24, 9681–9689.

17. Jochnick, C.; Freire, P.P. *Otras caras de la deuda: propuestas para la acción*; CDES, 2001; ISBN 9803171739.
18. Normander, B. Biodiversidad: combatir la sexta extinción masiva. *La situación del mundo* **2012**, 16.
19. Rodríguez-Córdova, R.G. Fundamentos básicos para la ejecución de la auditoría ambiental. *Ciencias Holguín* **2016**, 22, 1–18.
20. González, E.E.M.; Ronquillo, M.A.F. Gestión ambiental de las empresas públicas y privadas en la ciudad de Guayaquil-Ecuador y su incidencia en el desarrollo sostenible. *Sinergias Educ.* **2020**, 1.
21. Ortega Valladarez, D.R.; Guazhima Tirado, B.D. Propuesta de un plan de gestión ambiental para el manejo de los residuos sólidos y líquidos generados en el taller automotriz del GAD del Panguí provincia de Zamora Chinchipe 2019.
22. Rea Toapanta, A.R. Política minera y sostenibilidad ambiental en Ecuador. *FIGEMPA Investig. y Desarro.* **2017**, 1, 41–52, doi:10.29166/revfig.v1i2.68.
23. Vélez Romero, C.A.; Cruz Botache, L.P.; Romero Restrepo, M. Beneficios tributarios por la adopción de políticas de responsabilidad social empresarial (RSE). *Dictam. Libr.* **2021**, 13, 17–36, doi:10.18041/2619-4244/dl.26.6168.
24. Padilla, C.P.; Arévalo, D.X.; Bustamante, M.A.; Vidal, C.L. Responsabilidad Social Empresarial y desempeño financiero en la industria del plástico en Ecuador. *Inf. tecnológica* **2017**, 28, 93–102.
25. Déroche, G.; Penzenstadler, B. An Analysis of Best Practice Patterns for Corporate Social Responsibility in Top IT Companies. *Technol.* **2018**, 6.
26. Sajardo Moreno, A.; Chaves Sajardo, R.J. Responsabilidad Social en las empresas de Economía Social: un análisis comparativo del tejido productivo de la Comunidad Valenciana. *REVESCO. Rev. Estud. Coop.* **2017**, 213–242.
27. Wieland, A.; Handfield, R.B. The socially responsible supply chain: An imperative for global corporations. *Supply Chain Manag. Rev.* **2010**, 14.
28. Birindelli, G.; Ferretti, P.; Intonti, M.; Iannuzzi, A.P. On the drivers of corporate social responsibility in banks: evidence from an ethical rating model. *J. Manag. Gov.* **2015**, 19, 303–340.
29. Soana, M.-G. The relationship between corporate social performance and corporate financial performance in the banking sector. *J. Bus. ethics* **2011**, 104, 133.
30. SIESAP. Subsistema multidimensional de estadísticas socioambientales de las actividades productivas. Available online: <http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/inicio> (accessed on Aug 31, 2021).
31. Guadalupe, J.; Chafra, P. La crisis financiera internacional del 2009 y la economía ecuatoriana. Los elementos que explican cómo Ecuador eludió la crisis. *CienciAmérica Rev. Divulg. científica la Univ. Tecnológica Indoamérica* **2017**, 6, 85–96.
32. Noboa, A.B. Desarrollo sustentable en la República del Ecuador. *Quito, Ecuador Organ. Mund. la Salud. Recuper.* <https://es.calameo.com/read/00320235114515a477bfc> **2005**.
33. Agency for toxic substances and disease registry *Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)*; Atlanta, 1998;
34. Jiménez Ballesta, R. *Introducción a la contaminación de suelos*; Mundi-Prensa Libros, 2017; ISBN 8484767892.
35. Mendoza, R. Biorremediación de suelos contaminados con petróleo. *Ed. Lucr. Brutti-Marcelo Beltrán-Inés García Salamone* **2018**, 171.
36. Díaz, J.A.; Pantoja, J.E.G. *Ingeniería ambiental*; Alfaomega Grupo Editor, 2011; ISBN 6077072338.

37. Barcia, W. La Producción Petrolera en el Ecuador Available online: <http://ambitoeconomico.blogspot.com/2013/06/la-produccion-petrolera-en-el-ecuador.html> (accessed on Aug 12, 2021).
38. Ellis, R.E. El impacto de China en Ecuador y América Latina. *Obs. Virtual Asia Pacífico* **2007**.
39. Jiménez Vinueza, C.B. Estudio de factibilidad para la optimización del sistema móvil y la integración al sistema telefónico en el área petrolera de Petroproducción, Quito: EPN, 1997., 1997.
40. Arroyave, S.M.S.; Restrepo, F.J.C. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semest. Econ.* **2009**, *12*, 13–34.
41. Vizuite García, R.A.; Bonilla Jurado, D.M.; Alban Yáñez, C.G. Método de contingencia a través del sistema de marco lógico. *Univ. Cienc. y Tecnol.* **2018**, *11*.
42. Jiménez, J.J.R. La contaminación de los suelos. La herencia que no cesa. In *Proceedings of the Hacia un uso sostenible de los recursos naturales*; Universidad Internacional de Andalucía, 2008; pp. 87–93.
43. Ministerio del Ambiente, A. y T.E. *Reglamento para la prevención y control de la contaminación por sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales*; Quito, Ecuador, 2003;
44. Chachalo Carlosama, M.E. Programa de minimización de desechos peligrosos para la Refinería Esmeraldas, Quito, 2016.: Quito, Ecuador, 2016.
45. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEM) *Transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos*; 2013;
46. Lara Mejía, L.P. Aplicación de un manual para el manejo de desechos peligrosos en una empresa gestora, Quito: USFQ, 2015: Quito, Ecuador, 2015.
47. INEN Símbolos Gráficos. Colores De Seguridad Y Señales De Seguridad. *Inst. Ecuatoriano Norm.* **2013**, *First edit*, 24.
48. Asamblea Constitucional del Ecuador *Constitucion de la Republica del Ecuador*, 2008; pp. 1–222;.
49. Publicaciones, C. de E. y *Legislacion Ambiental. Tomo I: marco Legal*; Corporacion de Estudios y Publicaciones, 2017; ISBN 9789942061256.
50. Ministerio del Ambiente, A. y T.E. *Expídense los 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, 2008;
51. Ministerio del Ambiente, A. y T.E. *Ley de Gestión Ambiental*; Quito, Ecuador, 2004;
52. Ministerio del Ambiente, A. y T.E. *Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador*, 2001;
53. Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*; Quito, Ecuador, 1986;
54. Singh, A.; Ward, O.P. Biotechnology and Bioremediation — An Overview BT – Biodegradation and Bioremediation. In; Singh, A., Ward, O.P., Eds.; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2004; pp. 1–17 ISBN 978-3-662-06066-7.
55. Kamaludeen, S.P.B.; Arunkumar, K.R.; Ramasamy, K. Bioremediation of chromium contaminated environments. **2003**.
56. King, R.B.; Sheldon, J.K.; Long, G.M. *Practical Environmental Bioremediation: The Field Guide, Second Edition*; CRC Press, 1997; ISBN 9780367400736.
57. Dua, M.; Singh, A.; Sethunathan, N.; Johri, A. Biotechnology and bioremediation: successes and limitations. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2002**, *59*, 143–152.

58. Tang, C.Y.; Fu, Q.S.; Criddle, C.S.; Leckie, J.O. Effect of flux (transmembrane pressure) and membrane properties on fouling and rejection of reverse osmosis and nanofiltration membranes treating perfluorooctane sulfonate containing wastewater. *Environ. Sci. Technol.* **2007**, *41*, 2008–2014.
59. Baldwin, B.R.; Peacock, A.D.; Park, M.; Ogles, D.M.; Istok, J.D.; McKinley, J.P.; Resch, C.T.; White, D.C. Multilevel samplers as microcosms to assess microbial response to biostimulation. *Groundwater* **2008**, *46*, 295–304.
60. Carpena, R.O.; Bernal, M.P. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Rev. Ecosistemas* **2007**, *16*.
61. Sales da Silva, I.G.; Gomes de Almeida, F.C.; Padilha da Rocha e Silva, N.M.; Casazza, A.A.; Converti, A.; Asfora Sarubbo, L. Soil Bioremediation: Overview of Technologies and Trends. *Energies* **2020**, *13*.
62. Crawford, R.L.; Crawford, D.L. *Bioremediation: principles and applications*; Cambridge University Press, 2005; ISBN 052101915X.
63. Fernández Linares, L.C.; Avelizapa, R.; Carrillo, R.; Islas, R.; Elenacoaut, M. *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*; 2006;
64. Ferrera-Cerrato, R.; Alarcón, A.; Mendoza-López, M.R.; Sangabriel, W.; Trejo-Aguilar, D.; Cruz-Sánchez, J.S.; López-Ortiz, C.; Delgadillo-Martínez, J. Fitorremediación de un suelo contaminado con combustóleo usando *Phaseolus Coccineus* y fertilización orgánica e inorgánica. *Agrociencia* **2007**, *41*, 817–826.
65. Shirdam, R.; Zand, A.; Bidhendi, G.; Mehrdadi, N. Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils with emphasis on the effect of petroleum hydrocarbons on the growth of plant species. *Phytoremediation* **2008**, *89*, 21–29.
66. Khalid, M.; Rahaman, S.; Hassani, D.; Hayat, K.; Zhou, P.; Hui, N. Advances in fungal-assisted phytoremediation of heavy metals: A review. *Pedosphere* **2021**, *31*, 475–495, doi:[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60091-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60091-1).
67. Rodríguez-Campos, J.; Perales-García, A.; Hernández-Carballo, J.; Martínez-Rabelo, F.; Hernández-Castellanos, B.; Barois, I.; Contreras-Ramos, S.M. Bioremediation of soil contaminated by hydrocarbons with the combination of three technologies: bioaugmentation, phytoremediation, and vermiremediation. *J. Soils Sediments* **2019**, *19*, 1981–1994.
68. Velasco, J.A.; Sepúlveda, T.L.V. El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. *Gac. Ecológica* **2003**, *41*–53.
69. Suresh, B.; Ravishankar, G.A. Phytoremediation—a novel and promising approach for environmental clean-up. *Crit. Rev. Biotechnol.* **2004**, *24*, 97–124.
70. Prasad, M.N. V. Phytoremediation of Metals and Radionuclides in the Environment: The Case for Natural Hyperaccumulators, Metal Transporters, Soil-Amending Chelators and Transgenic Plants BT – Heavy Metal Stress in Plants: From Biomolecules to Ecosystems. In; Prasad, M.N. V, Ed.; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2004; pp. 345–391 ISBN 978-3-662-07743-6.
71. Magdziak, Z.; Gąsecka, M.; Goliński, P.; Mleczek, M. Phytoremediation and Environmental Factors BT – Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 1. In; Ansari, A.A., Gill, S.S., Gill, R., Lanza, G.R., Newman, L., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2015; pp. 45–55 ISBN 978-3-319-10395-2.
72. Strong, P.J.; Burgess, J.E. Treatment methods for wine-related and distillery wastewaters: a review. *Bioremediat. J.* **2008**, *12*, 70–87.
73. Bolaños Carranza, V.E. Disposición ambiental de los cortes de sólidos asociados a la perforación de pozos petroleros aplicando la re-inyección de cortes de perforación en el

- Bloque 16 del Oriente Ecuatoriano, Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad: Ciencias de la Ingeniería, 2014.
74. Galeas Bolaños, P.E. Diagnóstico del proceso de remediación de suelos realizado en el sector de Santa Rosa, cantón el Chaco, provincia de Napo, debido a un derrame del OCP 25-02-2009 2013.
 75. Ministerio del Ambiente, A. y T.E. *Prestadores de servicio (Gestores) para el manejo de materiales peligrosos (Sustancias químicas peligrosas y/o desechos peligrosos)*; 2016;
 76. Astudillo Salazar, P.M. Tecnología de re-inyección de rípios, aplicación en el campo sachá operado por petroEcuador, Escuela Superior Politécnica de Litoral, 2009.
 77. Torres Ordóñez, M.F. Percepción social respecto a suelos contaminados por hidrocarburos en la parroquia San Carlos, perteneciente al cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana, Ecuador, PUCE – Quito: Quito, 2019.
 78. Aldás Vargas, A.B. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a escala de laboratorio 2014.
 79. Naranjo, C. Aislamiento e identificación de microorganismos con capacidad de degradar hidrocarburos en suelos contaminados de la comunidad Lumbaqui, provincia de Sucumbíos 2017.
 80. HA, H.-O. Compostaje En Biopilas para la limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo. *AgroProductividad* **2016**, 9.
 81. Iturbe-Argüelles, R.; Flores-Torres, C.; Chávez-López, C.; Roldán-Martín, A. Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante biopilas. *Ing. Investig. y Tecnol. III* **2002**, 1, 25–35.
 82. Prabhat, K.; Amitava, R.; Debashish, S.; Sarkar, N.C.; Dileep, K. Bioremediation of contaminated soils—what is it? *Int. J. Agric. Environ. Biotechnol.* **2009**, 2, 105–109.
 83. Arroyo, M.; Quesada, J.; Quesada, R.; Geocisa, J. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *Geocisa. Div. Protección Ambient. Guadalajara-México* **2004**, 4, 297–305.

Reseña de los autores:



Jefferson Cuenca. Estudiante de la carrera Ingeniería Ambiental en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Miembro del proyecto de vinculación Huertos Urbanos. Sus últimas investigaciones se han desarrollado en la región amazónica en la provincia de Orellana, Ecuador.



Kimberly Gallardo. Estudiante de la carrera Ingeniería Ambiental en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Su interés personal se inclina hacia la investigación en ciencias biológicas. Miembro del proyecto de vinculación Huertos Urbanos



Isabel Domínguez-Gaibor. Docente investigadora Epoch-Sede Orellana. Doctorando de la Universidad de Transilvania. Las áreas de interés e investigación, se enfocan en el manejo de recursos naturales, biodiversidad, servicios ambientales, economía circular e innovación empresarial. Conferencista a nivel nacional e internacional, cuenta con publicaciones científicas a nivel regional y de alto impacto