

Biorremediación de Agua y Suelo Contaminados por Residuos Orgánicos de Petr6leo en Iquitos

Blga. MSc. Alicia Mercedes Julián Benites¹²

alimjub@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-0145-7095>

Universidad Nacional de Trujillo

Dr. José Félix Rivero Méndez

<https://orcid.org/0000-0002-9147-1451>

Universidad Nacional de Trujillo

RESUMEN

La firme demanda de energía en el mundo moderno ha determinado el uso intensivo del petróleo, y sus derivados, como fuente de energía. Muchos de sus componentes son empleados como materias primas básicas en las industrias químicas y petroquímicas, este aumento en la explotación del petróleo ha determinado la aparición de crecientes fuentes de contaminación, en la Región Loreto, la extracción y el procesamiento del petróleo y sus derivados, derrames accidentales desde barcazas petroleras, rotura de oleoductos, abastecimiento de crudo, refinación, transporte, almacenamiento, distribución mayorista, comercialización en grifos, en este contexto el presente estudio se encontró técnicas de biorremediación que requieren de una acción integral de factores fisicoquímicos y biológicos, Landfarming para suelos e Inyección de Aireación para agua en las aéreas contaminadas por residuos orgánicos del petróleo en Iquitos, empleando microorganismos bacterias nativas como *Pseudomonas* sp para retornar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural, para el beneficio de la población, así como flora y fauna; por ser la biorremediación una alternativa de restauración ambiental se recomienda para eliminar residuos de hidrocarburos totales, en suelos se logró el 30% y así mismo en agua el 50% de biodegradación.

Palabras clave: *hidrocarburos; biorremediación; landfarming; microorganismos*

¹ Autor principal

Correspondencia: alimjub@hotmail.com

Bioremediation of Water and Soil Contaminated by Organic oil Waste in Iquitos

ABSTRACT

The strong demand for energy in the modern world has determined the intensive use of oil, and its derivatives, as a source of energy. Many of its components are used as basic raw materials in the chemical and petrochemical industries. This increase in oil exploitation has determined the appearance of growing sources of pollution, in the Loreto Region, the extraction and processing of oil and its derivatives, accidental spills from oil barges, breakage of oil pipelines, crude oil supply, refining, transportation, storage, wholesale, distribution, marketing in taps, in this context the present study found bioremediation techniques that require a comprehensive action of physicochemical and biological factors, Landfarming for soils and Aeration Injection for water in areas contaminated by organic oil waste in Iquitos, using native bacterial microorganisms such as *Pseudomonas* sp to return an environment altered by pollutants to its natural condition, for the benefit of the population, as well as flora and fauna; since bioremediation is an alternative for environmental restoration, it is recommended to eliminate total hydrocarbon residues; in soils, 30% was achieved and likewise in water, 50% biodegradation was achieved.

Keywords: *hydrocarbons; bioremediation; landfarming; microorganisms*

*Artículo recibido 16 septiembre 2023
Aceptado para publicación: 25 octubre 2023*

INTRODUCCION

Realidad problemática

Figura 1
Refinería Iquitos combustible a otras ciudades



Figura 2
Refinería Iquitos



Figura 3
Refinería Iquitos y Río Amazonas



Figura 4
Ubicación Refinería Iquitos respecto a la ciudad de Iquitos



Se encuentra ubicada a 14 km al Noreste de la ciudad de Iquitos, capital de la Provincia de Maynas, Departamento de Loreto, en la margen izquierda del Río Amazonas, el cual es el más caudaloso del mundo y el segundo río más largo del mundo (después del Nilo); su producción de combustibles impulsa el desarrollo de la región y abastece lugares de difícil acceso de la selva, con lo que satisface la demanda de combustibles para el parque automotor, el transporte fluvial y la industria. Cubre la demanda de combustibles en los departamentos de Loreto, San Martín y parte de Ucayali, cuando hay requerimiento también atiende a poblados fronterizos como Leticia (Colombia) y Tabatinga (Brasil). La capacidad de almacenamiento de la Refinería Iquitos es de 553,200 barriles por día. Cuenta con infraestructura de avanzada tecnología con la Unidad de Destilación Primaria (con capacidad para 12,000 barriles por día), la Unidad de Tratamiento de Gasolina (3,000 barriles por día) y la Unidad de Tratamiento de Turbo A1 (1,000 barriles por día). Asimismo, posee muelles tipo pontones para descargar crudos, nafta craqueada y biodiésel, así como para cargar combustibles líquidos a granel que se comercializan en la región amazónica desde las plantas de venta Yurimaguas y Pucallpa. Y tiene un

poliducto para transferir combustibles desde la refinería hacia la Planta de Ventas Iquitos (Petróleos del Perú - Petroperú S.A., 2023).

Suelo

El suelo puede definirse como la capa superior de la tierra que se distingue de la roca sólida y en donde las plantas crecen. Los suelos deben considerarse como formaciones geológicas naturales desarrolladas bajo condiciones muy diversas de clima y materiales de origen, lo cual justifica su continua evolución. El suelo independientemente de su origen tiene una función: soportar una vegetación y él se debe dar las condiciones necesarias para el desarrollo de las plantas. Con una concepción fisiológica vegetal, el suelo se define como la mezcla de partículas sólidas pulverulentas, de agua y de aire que provee de los elementos nutritivos necesarios para las plantas (Forsythe, W . , 2002).

Diversidad microbiana en ambientes contaminados

Los suelos contaminados contienen gran cantidad de microorganismos que pueden incluir un número de bacterias y hongos capaces de utilizar hidrocarburos, que representan un 1% de la población total de aproximadamente 10^4 a 10^6 células por gramo de suelo (Sutherland, J. B., 1992). Se han encontrado cianobacterias y algas capaces de degradar hidrocarburos; los suelos contaminados con hidrocarburos contienen más microorganismos que los suelos no contaminados, pero su diversidad microbiana es más reducida (Messarch, M. B. and Nies, L., 1997). Es posible rescatar los organismos nativos, seleccionar los más adecuados e inducir su crecimiento estimulando las condiciones del sitio y de sus requerimientos nutricionales para con esto tener una biorremediación exitosa ante cualquier contaminante (Ledezma, A. 2016). La degradación de hidrocarburos se lleva a cabo principalmente por bacterias, seguidas por hongos, levaduras y algas entre otros. Han sido investigadas una gran variedad de bacterias con la capacidad de biodegradar diferentes tipos de hidrocarburos, contaminantes presentes en varios componentes ambientales y dicha biodegradación se lleva a cabo en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, dependiendo del género de bacterias usada (Rodríguez, A. et al., 2022)

Biorremediación

La biorremediación es una tecnología que utiliza microorganismos (bacterias, hongos, algas) o enzimas, para biodegradar contaminantes del petróleo y derivados y como otros contaminantes que

están presentes en suelo, aire o agua. En América Latina, existe un alto grado de contaminación de sus ecosistemas; por tanto, esta tecnología es viable económica y ambientalmente para degradar contaminantes. Los hidrocarburos pueden ser biodegradados por diferentes bacterias que biodegradan solas o en consorcio, el fenantreno (compuesto aromático) que fue biodegradado por 11 cepas bacterianas diferentes (*Sphingobium*, **Sphingomonas**, **Acidovorax**, **Alkaligenes**, **Actinobacteria**, **Burkholderia sp.**, **Rhizobium sp.**, **Pseudomonas sp.**, **Stenotrophomonas** y **Sinorhizobium**). En biorremediación, se considera importante las variables fisicoquímicas, como el pH, temperatura, oxígeno y la humedad, al ser factores que influyen en el éxito del tratamiento (Heredia, J., 2022).

La biorremediación *ex situ*, consiste en excavar el suelo contaminado y transportarlo a un sitio que ha sido preparado para la regeneración, en el que se realiza un movimiento constante para oxigenar y así facilitar la degradación, transformación e inmovilización de los contaminantes, a través de reacciones bióticas y abióticas, este método es amigable con el medio ambiente, porque utiliza una amplia variedad de microorganismos. Este método es capaz de biodegradar componentes del petróleo, reducir la toxicidad de los componentes gracias a la acción de enzimas presentes en los microorganismos asimilándolas en su biomasa microbiana e incorporándolos en sus procesos metabólicos, y convirtiendo los derivados de hidrocarburos complejos en dióxido de carbono y agua en condiciones aeróbicas. Este tipo de biorremediación logra una oxidación completa llamada mineralización de los contaminantes produciendo una biotransformación de compuestos orgánicos complejos a simples, y en una última etapa con lo que se produce una reducción de estos a menos tóxicos (Hidalgo et al., 2020).

La biorremediación *in situ* se produce por atenuación natural y consiste en degradar naturalmente a los contaminantes del suelo gracias a la acción de varios factores ambientales como la humedad, tipo de contaminante, pH, materia orgánica, presencia de microorganismos autóctonos y otros factores por periodos de tiempo largos (Ocampo, C., 2021).

La biorremediación es el proceso utilizado por el hombre para detoxificar variados contaminantes en los diferentes ambientes-mares, estuarios, lagos ríos y suelos, usando de forma estratégica microorganismos. Esta técnica es utilizada para disminuir la contaminación por los hidrocarburos de petróleo y sus derivados, la biorremediación permite reducir notablemente las concentraciones de petróleo residual. Este tratamiento se aplica básicamente de 2 formas: por bioestimulación y

Bioaumentación. La bioestimulación consiste en nutrir los suelos donde está el petróleo para posibilitar el crecimiento microbiano. Remediar un suelo toma de tres a seis meses, por lo que se requiere estudiar las condiciones que deben ajustarse, es decir, qué microorganismos utilizar, o cuáles serían los nutrientes a emplear, o cómo suministrarles agua y oxígeno. La industria petrolera también utiliza procesos biológicos para la remediación de afluentes y aguas residuales. A continuación se enumeran algunas estrategias, pero en general no hay una “fórmula secreta” que garantice el éxito de la biorremediación. **Bioestimulación:** como su nombre lo indica consiste en estimular los microorganismos nativos del suelo adicionando nutrientes, como nitrógeno y fósforo. **Bioaireación:** es una forma de estimulación realizada por gases, como por ejemplo oxígeno, estos son adicionados de forma pasiva en el suelo para estimular la actividad microbiana. **Bioaumentación:** es la inoculación de una alta concentración de microorganismos en el suelo contaminado para facilitar la biodegradación. Como se van a inocular, estos microorganismos deben ser seleccionados del suelo que se desea tratar. (Vargas et al., 2004). Los sistemas de biorremediación consisten principalmente en el uso de los microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) existentes en el medio para degradar sustancias peligrosas (Maroto, M. y Rogel, J., 2007). La biorremediación microbiana es una alternativa beneficiosa para el medio ambiente y menos costosa económicamente (Patel *et al.*, 2020). Una característica común de los hidrocarburos es su biodegradación de forma aerobia y anaerobia. Sin embargo, la tasa de biodegradación aerobia depende de la complejidad de la molécula contaminante y de la disponibilidad de aceptores de electrones. Además, dicha biorremediación puede llevarse a cabo en condiciones **in situ** o **ex situ** (Hidalgo et al., 2020).

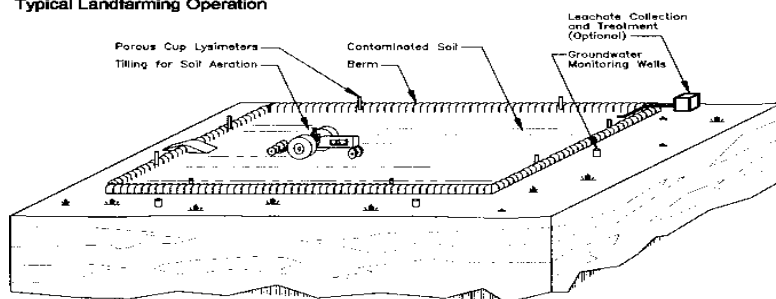
Técnicas de Biorremediación

Técnica Landfarming, Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos

La técnica **Landfarming** es una de las más empleadas en la actualidad para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos y otros desechos de la actividad petrolera. Esta consiste en trasladar los contaminantes a un suelo no contaminado para así poder aislar microorganismos propios de este para ser empleados en el proceso de biorremediación por la estrategia de la bioaumentación. Este procedimiento comienza con una búsqueda y selección de microorganismos (especialmente bacterias) nativos aislados del suelo contaminado, debido a que estos tienen la capacidad catabólica

para crecer bajo condiciones físico –químicas y de estrés a las que están sometidas, y por tanto, tendrán un mejor desempeño a la hora de implementar la técnica. La búsqueda comienza con el procesamiento de una muestra de suelo mediante diluciones, para tratar de obtener microorganismos cultivables, ya que muchos de ellos no pueden ser recuperados en el laboratorio. Luego, se realiza una siembra en medio diferencial y selectivo en los cuales se busca aislar microorganismos que se les conoce con buena actividad degradadora de hidrocarburos (*pseudomonas sp.*) Una vez seleccionados los morfotipos se conforma un consorcio o *pool* de microorganismo degradadores de hidrocarburos, y se procede a una producción a gran escala, estos microorganismos serán utilizados mediante la estrategia de la bioaumentación, para la cual debe tenerse en cuenta el volumen del suelo contaminado, la concentración del contaminante y el (los) microorganismos seleccionados (Vargas et al., 2004).

Figura 5
Esquema de proceso de Landfarming
Typical Landfarming Operation



Técnica para Biorremediación de Aguas Contaminadas por Hidrocarburos

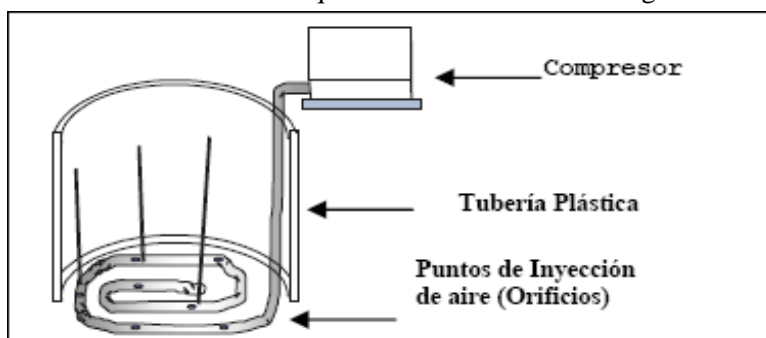
Un estudio a escala piloto el cual consiste en diferentes tratamientos que permiten evaluar la eficiencia del cultivo mixto conformado por las cepas previamente aisladas y seleccionadas por su eficiencia en la degradación de gasoil bajo distintos parámetros.

Dentro de los tratamientos, se evalúa el proceso de biodegradación con la adición de nutrientes y la inyección de aire, con el propósito de comparar la eficiencia en la biodegradación del sustrato hidrocarbonado. Para este estudio se utilizaron tanques cilíndricos plásticos con una capacidad de 25 L cada uno. Con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de biorremediación se adiciona un fertilizante compuesto, el fosfato. Se trabaja con tres concentraciones diferentes de nutrientes, lo que permite evaluar y comparar su efecto sobre el crecimiento bacteriano y la degradación de residuos de petróleo.

El aire es suministrado mediante un sistema de inyección en espiral de aire forzado, formado por una tubería plástica acoplada a un compresor que tiene como función bombear el aire a través de toda la tubería. El sistema en espiral con espaciamiento calculado de los puntos de inyección de aire en el fondo, permite crear zonas alternas de transferencia y mezclado, evitando así la formación de volúmenes muertos (sin movimiento). Todos los orificios son colocados en el fondo ya que la profundidad mejora el tiempo de contacto (Araujo, I., 2002; Cookson, 1995; Baker, 1987; Capone & Bauer, 1988).

Figura 6

Corte transversal de un tanque de biorremediación de agua con aireación



Antecedentes de la investigación

El tema de investigación en el presente trabajo es la biorremediación de agua y suelo contaminados con hidrocarburos usando microorganismos *Pseudomonas* sp aislados de muestras de tierra tomadas en la zona de influencia de la refinería Iquitos, usando en suelo la técnica de Landfarming y en agua técnica de Aireación.

En la presente investigación se evaluó el uso de la *Pseudomona aeruginosa* para la biodegradación de petróleo en aguas de derrame de la actividad petrolera en Ucayali a escala de laboratorio, se aisló esta bacteria procedente del efluente de la ex refinería Maple Gas Corporación del Perú S.R.L. que atraviesa la quebrada Anís Caño, se tomaron 4 muestras y se trasladaron al laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Universidad Nacional de Ucayali, posteriormente se realizó un ensayo de biodegradación del petróleo durante un tiempo de duración del ensayo de 7 días, para esta prueba se utilizaron 0,1 ml de petróleo en 9,9 ml de la solución de trabajo de caldo pre-enriquecido, posterior a estos ensayos se realizaron tratamientos en 7 muestras para la biodegradación a nivel macro. En 7 botellas de 500 ml se añadieron 250 ml de caldo pre enriquecido, 7,5 ml de petróleo y 14

ml de caldo nutritivo activo, se pusieron a baño maría a 37 grados con agitación constante durante 7 días, posteriormente estas muestras fueron llevadas a analizar al laboratorio para determinar el porcentaje de biodegradación del petróleo, se obtuvieron porcentajes de biodegradación de 82,65%, 81,41%, 80,33%, 81,16% en las 4 muestras durante un tiempo de tratamiento de 7 días, el crudo utilizado es de grado API 0,91 gr/cm³ y las unidades formadoras de colonia presentes en las muestras fueron de 38x10⁻⁸ UFC/ml y 257x 10⁻⁹ UFC/ml (Rojas y Rengifo, 2021).

El estudio de la diversidad microbiana y de la dinámica de sus poblaciones en consorcios biodegradadores, está creciendo notablemente en la ecología microbiana, permitiendo profundizar en el conocimiento acerca de la composición de las comunidades presentes en suelos contaminados, así como su evolución durante los procesos de biodegradación, para determinar cuáles son los microorganismos capaces de adaptarse y de explorar los hábitats contaminados (Abasolo, F. y Morante, L. 2020).

Shiguango, menciona que los residuos que pueden ser tratados por este tipo de tecnología Landfarming son:

- Residuos provenientes de industrias petroquímicas, Agroindustrias, frigoríficos, alimenticios en general.
- Residuos de industrias petroleras.
- Residuos de industrias químicas y farmacéuticas.
- Barros y fondos de tanques de combustibles e hidrocarburos en general.
- Suelos contaminados por derrames de hidrocarburos
- Disposición final de agroquímicos (Shiguango 2012).

Justificación del problema

Según Diario Gestión, informa que estos son los mayores derrames de petróleo en el mundo: Estados Unidos 1969, tres millones de galones de petróleo brotaron de una fuga en el pozo de Unión Oil a 1,066 metros de profundidad a unos 8 km. de la costa de Santa Bárbara, California. El crudo cubrió 2.071 km cuadrados de océano y 56 km. de costa, ocasionando la muerte de miles de aves, peces y otros animales salvajes. Francia en marzo de 1978, el tanquero petrolero ultra largo Amoco Cadiz encalló sobre rocas filosas en Portsall (Francia) tras una fuerte tormenta, ocasionando el derrame de 1.6 millones barriles de crudo y la contaminación y exterminio de la fauna marítima de la zona. Golfo de México en junio de 1979, la plataforma Ixtoc I, un pozo exploratorio de petróleo localizado en el Golfo de México, a 965 kilómetros al sur de Texas y 94 kilómetros de Ciudad del Carmen, explotó y ocasionó el derrame de 560 millones de litros de petróleo. La empresa paraestatal Pemex tardó nueve

meses en controlar el flujo. Mar Caribe en julio de 1979, dos superpetroleros, Atlantic Empress y Aegean Captain, colisionaron frente a las costas de Tobago, cerca de Venezuela, y se produjo el derrame de casi 290.000 toneladas de petróleo. Ciudad del Cabo en agosto de 1983, el petrolero español Castillo de Bellver se incendió en la Bahía de Saldanha (Ciudad del Cabo, Sudáfrica), derramó más de 78 millones de galones de petróleo y si bien el impacto ambiental se minimizó tras el incendio y posterior captura del crudo, es considerado uno de los peores desastres de la historia. Canadá en noviembre de 1988, la plataforma petrolera Odyssey de propiedad estadounidense explotó causando el derrame de 43.1 millones de galones de petróleo al noreste de Terranova. Alaska el 24 de marzo de 1989, en medio de una tormenta, el barco petrolero Exxon Valdez, propiedad de ExxonMobil, encalló en el arrecife Blight Reef en el distrito del Príncipe Guillermo en la costa de Alaska, derramando más de 11 millones de galones de petróleo y generando 250 kilómetros cuadrados de marea negra. Uzbekistán en marzo de 1992, el valle de Fergana fue invadido por más de 88 millones de galones de petróleo tras la explosión de un pozo de crudo, generando una pérdida millonaria en una zona conocida por su potencialidad agrícola. Golfo Pérsico 2010, se ha enmarcado como el peor del mundo, lo ocurrido en abril de 2010 en el Golfo de México ha sido catalogado como el peor sufrido en Estados Unidos. La explosión en la plataforma petrolífera Deepwater Horizon, contratada por BP, situada en aguas del Golfo de México a unos 66 kilómetros de las costas de Louisiana, ocasionó del derrame de alrededor 795 millones de litros de petróleo en el mar, la muerte de millones de animales y 11 personas (Diario Gestión 2022).

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos ha generado a escala mundial, un problema de contaminación de suelos, aire y agua. Entre las más severas contaminaciones se destacan las que se produjeron y todavía se producen a causa de la extracción y el manejo del petróleo en todos los países productores de hidrocarburos. En nuestro país, el transporte de crudo y sus derivados se ha visto afectado considerablemente durante los últimos 18 años, por una permanente actividad terrorista contra los oleoductos e instalaciones petroleras. En el suelo los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos fisicoquímicos simultáneos como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida puede ser más o menos lentos, ocasionando una mayor toxicidad, además

de tener una moderada, alta o extrema salinidad, dificultando su tratamiento. Altos gradientes de salinidad pueden destruir la estructura terciaria de las proteínas, desnaturalizar enzimas y deshidratar células, lo cual es letal para muchos microorganismos usados para el tratamiento de aguas y suelos contaminados. En la presente revisión se analiza la biorremediación como una alternativa saludable frente al deterioro progresivo de la calidad del medio ambiente por el derramamiento de crudos, ya que la esta problemática genera una amenaza real a la salud pública, así como la extinción de gran cantidad de especies vegetales y animales (López 2006).

La Republica, da cuenta del derrame de petróleo ocurrido en Perú 15 enero 2022 en la Refinería La Pampilla operada por Repsol alcanzó los 11,900 barriles de crudo, afectando más de 2.9 kilómetros cuadrados de mar y costa. Las autoridades nacionales y extranjeras califican este suceso como un desastre ecológico. Las imágenes del mar ennegrecido y de animales muertos o afectados por el petróleo han dado la vuelta al mundo, confirmando que, pese a los años y los avances tecnológicos, la extracción de este combustible es imperfecto y continúa atentando contra la naturaleza (La República 2022).

Figura 7

Derrame de crudo ocurrió el último sábado 15 de enero. (Foto: Jorge Cerdán / @photo.gec)



INDECI, informa que el 16 de septiembre de 2022, a las 08:00 horas aproximadamente, se registró un derrame de hidrocarburos a la altura del kilómetro 42+350 del tramo I del Oleoducto Norperuano, provocando la contaminación del río en la localidad de Cuninico, Urarinas, San Pedro y Nueva Esperanza, distrito de Urarinas, provincia de Loreto (INDECI- Instituto Nacional de Defensa Civil 2022).

Según el informe “La sombra del petróleo”, elaborado por el subgrupo sobre derrames petroleros de la coordinadora nacional de derechos humanos (CNDDHH) de Perú, entre los años 2000 y 2019 los

derrames ocurridos en la Amazonía peruana han sido más de 474. Estos se dieron principalmente en tres sitios de extracción de petróleo: en el lote 192 (de propiedad de pluspetrol), ocurrieron 233 casos; en el lote 8 (pluspetrol), ocurrieron 189 casos; y en el oleoducto norperuano (petroperú), ocurrieron 111 casos. Además, según la información recogida por el informe, un 94% de los barriles derramados pudieron ser evitados si hubiera existido un mecanismo de debida diligencia ambiental, (un deber de precaución), en las acciones de la propia empresa responsable (OXFAM y CNDDHH 2020).

CORPI, informa que el Ministerio Público a través de la Fiscalía Especializada en Materia Ambiental de Loreto, llegó a la zona donde el 18 de junio de 2019 ocurrió un nuevo derrame de petróleo en el kilómetro 237 del ramal norte del Oleoducto Norperuano, ubicado en el distrito de Manseriche, provincia Datem del Marañón (Loreto), a 35 kilómetros de la comunidad de Mayuriaga (CORPI- Coordinadora Regional de Pueblos Indígenas 2019)

Figura 8

Petróleo desparramado en la Amazonía peruana tras la fuga en el Oleoducto Norperuano, el 4 de julio del 2019.



Foto: Ministerio Público

Petroperú, el 30 de junio de 2014 informó sobre un derrame de 2358 galones de petróleo cerca de la quebrada de Cuninico, a la altura del kilómetro 41+833 del Tramo I del oleoducto. La quebrada es afluente del Marañón, uno de los ríos más importantes de la Amazonía peruana que, junto con el Ucayali, originan el río Amazonas. El derrame afectó a la comunidad nativa de Cuninico y también a las comunidades de San Francisco, Nueva Esperanza y Nueva Santa Rosa, por estar localizadas en las proximidades a la misma quebrada. Las poblaciones afectadas pertenecen al pueblo kukama, el cual, por su cultura ancestral, está ligado de manera estrecha al agua. Además, de acuerdo con el informe de Amnistía Internacional, la pesca es la principal actividad económica de este pueblo amazónico (Petroperú, 2014)

Figura 9

El derrame en la comunidad nativa Cuninico ocurrió en el año 2014.



Foto: Barbara Fraser

La Republica, informa que trece comunidades, con machete en mano y a bordo de canoas, tomaron por varios días el helipuerto de la empresa Pluspetrol como protesta por el derrame de crudo de petróleo en las aguas del río Chambira, en Loreto (La República 2012).

Radio, informa que son catorce las comunidades afectadas por el derrame en el río Marañón y las autoridades de Huallpaila denunciaron que operarios de Petroperú trabajan retirando el petróleo derramado sobre del río, trabajan día y noche, quieren desaparecer las pruebas mientras los hermanos no pueden beber ni utilizar el agua del río como lo hacían antes, además de la muerte de pecesy otras especies (La Voz de la Selva, 2012).

Radio, informa que dos mil metros de bosques afectados por derrame de petróleo en Trompeteros, existe una gran preocupación entre las comunidades indígenas amazónicas cercanas a la zona de Trompeteros, región Loreto, donde se produjo el derrame de más de 200 barriles de crudo de petróleo. De acuerdo a los primeros estimados, la afectación se extiende en más de dos mil metros cuadrados en los bosques, mismas que podrían incrementarse debido a las persistentes lluvias que se registran en los últimos días (La Voz de la Selva, 2012).

Se informa que en la Región Loreto las organizaciones amazónicas FECONBU y ORAU exigen una respuesta inmediata sobre un nuevo derrame, esta vez cerca de una comunidad nativa en la región de Loreto. La empresa Maple Energy sería la responsable del acto medio ambiental en la zona Quebrada Mashiria, ubicada en el territorio de la comunidad nativa shipibo de Nuevo Sucre. Para los pobladores de Nuevo Sucre, la Quebrada Mashiria es una de las principales fuentes de agua para el uso y consumo humano, y de peces, los cuales están muriendo debido al derrame”, señaló Raúl Tuesta jefe de la

comunidad Nuevo Sucre, por su parte líderes de las organizaciones indígenas exigen a Maple Gas que proporcione asistencia humanitaria adecuada para la comunidad de Nuevo Sucre, incluyendo el agua potable, alimentos y asistencia médica inmediata por la exposición a los hidrocarburos, mientras se realice la limpieza y remediación del área afectada (Perú Regional 2011).

Figura 10

Video: Jaime Vásquez - RPP AFP



Figura 11

Video: Jaime Vásquez - RPP AFP



Diario informa que entre el Acta de Dorissa firmada en el 2006 y el Acta del Pastaza de la semana pasada se reportaron más de cien derrames de petróleo, pero las autoridades nunca multaron a Pluspetrol por el atentado contra el medio ambiente. En mayo del 2011, el gobierno regional de Loreto suscribió el Acta del Pastaza con la Federación de Indígenas Quechuas del Pastaza. Ahí prometió contactar a Pluspetrol para que junto a los nativos se elabore una agenda que evite la temida contaminación petrolera (La República 2011).

Una radio de gran difusión en todo el Perú el 19 de junio 2010 informó que entre 300 a 400 barriles de petróleo se habrían derramado en el río Marañón, en la zona de Saramuro, de un total de 5 mil que eran transportados en la barcaza "Sanam III", alquilada por Pluspetrol, afirmó Daniel Guerra, gerente de relaciones institucionales de dicha empresa. En diálogo con RPP, el representante dijo que la embarcación sufrió el accidente cuando se hallaba en el puerto de Saramuro (Tiwinza). Indicó que la empresa colocó bombas para contener una fuga mayor. En la víspera, un grupo de pobladores, ante la indiferencia de autoridades y la misma empresa, llamaron a los medios de comunicación para lanzar su queja y preocupación por este hecho, incluso, el portal web (Pro y Contra, 2006) divulgó imágenes donde se observa una tubería que los moradores afirman procede del refinera Iquitos- vertiendo sustancias presuntamente contaminantes (RPP-Radio Programas del Perú 2010).

Servindi, menciona que un alarmante reporte informa que en los últimos cuatro años la empresa argentina Pluspetrol ha registrado 78 derrames de petróleo solo en la Amazonía del Perú. “Desde

noviembre del 2006 a mayo del 2010, se han registrado 78 derrames de petróleo entre los lotes 8 y 1AB, ubicados en la región Loreto, afectando los ríos Pastaza, Tigre y Corrientes, afluentes del río Marañón”, informó el semanario “Hildebrandt en sus trece” (Servindi 2010).

Se informa a través de una nota de prensa, la empresa Petroperú reconoció un derrame de petróleo en la zona de Barrio Florido en la Provincia de Maynas-Loreto; en el documento se informa que a las 20:20 horas del 5 de enero, se produjo un rebose de un producto residual en el tanque de almacenamiento 332-T-1, durante una operación de transferencia “que no llegó más allá de la poza de contención, que es el área de seguridad de cada tanque de almacenamiento” de la Refinería Iquitos. La compañía asevera que la “rápida acción preventiva del personal técnico a cargo, permitió bloquear las vías de salida hacia la quebrada Ramírez, salvando cualquier situación de riesgo de contaminación”. Así mismo Petroperú manifiesta que se están tomando las medidas del caso para subsanar esta falta y evitar que se contaminen las aguas de la quebrada Ramírez, de donde se benefician diariamente los moradores de la comunidad, sin embargo, el texto en cuestión no precisa la cantidad de petróleo que se habría perdido por este desperfecto, pero que la población denuncia les ha quitado la única fuente de agua limpia con que contaba el pueblo (CNR-Coordinara Nacional de Radio 2009).

Noticias desde la Amazonia Peruana, informa que cabe precisar que la Quebrada Ramírez, que desemboca en el Río Amazonas, está en la comunidad de Barrio Florido, a 20 minutos en bote deslizador desde el balneario de Bellavista – Nanay, distritito de Punchana, en la zona sur de Iquitos. Tiene una población de más de 200 habitantes, quienes denuncian ser víctimas de los embates de la contaminación petrolera (Pro y Contra 2006).

Figura 12

Foto web Pro y Contra



Figura 13

Explotación del crudo de petróleo



MATERIAL Y MÉTODOS

Objeto del estudio

Ubicación

El presente trabajo se realizó en la zona de influencia de la Refinería Iquitos la que se encuentra ubicada en la margen izquierda del Río Amazonas, a 15 km al Noreste de la Ciudad de Iquitos, provincia de Maynas, departamento de Loreto. Iquitos se halla a una altitud de 124.4 m.s.n.m. cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud : 03° 45' 05" 865 y

Longitud : 73° 14' 40" 970

Lugares de muestreo

Los lugares donde se obtuvieron las muestras para la realización de este trabajo fueron:

En la zona de influencia de la refinería Iquitos - río Amazonas Barrio Florido, se tomaron muestras de agua y muestras de tierra contaminada por residuos de hidrocarburos.

Lugar de trabajo

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, en laboratorios de empresa privada (Iquitos).

Clima y temperatura

La zona presenta un clima tropical húmedo, con una humedad relativa promedio de 97.7 y una temperatura promedio de 30.7°C.

Medios

Muestras de agua y tierra contaminadas con residuos de HC; matraces, placas Petri, Reactivos, medios de cultivo, caldo nutritivo, asas bacteriológicas, hisopos, tubos de ensayo, matraz, fiolas, pipetas, microscopio, horno, estufa, centrifuga, envases de plástico, compresor de aire, tubería plástica, envases de plástico de 1 lt.de capacidad, tanques de vidrio de 40 lt. Capacidad y nutrientes (compost).

MÉTODOS Y TÉCNICAS

Diseno y aplicación de los sistemas de biorremediacion para suelo y agua

Investigacion y caracterizacion de la contaminacion y el emplazamiento

Aplicación de los sistemas de biorremedicacion

Evaluacion de la efectividad de los sistemas de biorremedicacion

Diseño y evaluacion los sistemas de biorremedicacion

Evaluacion del control y seguimiento

Analisis e iterpretacion de resultados

Muestreo

Desde el 7 al 30 de abril de 2012 en forma semanal se tomaron un total de 30 muestras contaminadas con hidrocarburos, 15 de agua y 15 de suelo.

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de la Microbiología de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana y laboratorio de empresa privada.

Aislamiento de bacterias oleofilicas

Se tomaron las 05 muestras de suelo y 05 muestras de agua contaminada con hidrocarburos respectivamente, las muestras fueron procesadas y luego sembradas en placas se incubaron a temperatura ambiente por 48 horas y luego se tomo una colonia con características de bacterias se hizo el aislamiento y luego la identificación de *Speudomonas* sp. se determino bacilos rectos o ligeramente curvados, Gram negativos, oxidasa positivos (Araujo, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSION

Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos

Técnica de Landfarming

Se empleó la técnica **Landfarming** por ser una de las más empleadas en la actualidad para la biorremediación de **suelos** contaminados con hidrocarburos y otros desechos de la actividad petrolera.

El primer paso se realizó el estudio exhaustivo de la caracterización del emplazamiento y del tipo y concentración de la contaminación existente de hidrocarburos totales existente en zona objeto de estudio.

La caracterización del emplazamiento se llevo a cabo en la zona objeto de estudio en muestras de 1 kg de tierra contaminada por hidrocarburos, teniendo en cuenta las características del suelo y sus propiedades (pH, humedad, temperatura, etc.)

La caracterización del contaminante se centro en la investigación del tipo y concentración de hidrocarburos en cuanto a aceites y grasas, así como la biodisponibilidad de los compuestos en el suelo.

En segundo lugar, se trasladó los contaminantes a un suelo no contaminado para así poder aislar microorganismos propios de este para ser empleados en el proceso de biorremediación por la estrategia de la bioaumentación. (Vargas, et al., 2004)

Este procedimiento comenzó con una búsqueda y selección de microorganismos (especialmente bacterias) nativos que se aislaron del suelo contaminado, debido a que estos tienen la capacidad catabólica para crecer bajo condiciones físico-químicas y de estrés a las que están sometidas, y por tanto, tuvieron un mejor desempeño a la hora de implementar la técnica. La búsqueda comenzó con el procesamiento de una muestra de suelo mediante diluciones, para tratar de obtener microorganismos cultivables, ya que muchos de ellos no pueden ser recuperados en el laboratorio. Luego, se realizó una siembra en medios diferenciales y selectivos en los cuales se buscó aislar microorganismos que se les conoce con buena actividad degradadora de hidrocarburos (*Pseudomonas sp*). Después de estos procedimientos, se seleccionaron aquellos microorganismos que cumplieron tres características:

- Estar presentes en mayor biodiversidad, que está determinada por los morfotipos aislados. Esto también nos indicó la calidad microbiana del suelo, ya que si un suelo tiene gran variedad de morfotipos, es un suelo apto para el desarrollo de la vida microbiana y por ende para el proceso de biorremediación.
- Tener mayor densidad, determinada por el número de individuos. Aquellos morfotipos que se encontraron en mayor número, se seleccionaron por su habilidad para sobrevivir a la presión del contaminante y para usarlo como fuente de energía y carbono.
- No ser patógenos para planta, animales o el hombre.

Una vez seleccionados los morfotipos se conformó un consorcio o *pool* de microorganismos degradadores de hidrocarburos, y se procedió a una producción a gran escala, estos microorganismos

se utilizaron en la biorremediación de suelo contaminado, mediante la estrategia de la bioaumentación, para la cual se tuvo en cuenta el volumen del suelo contaminado, la concentración del contaminante y el (los) microorganismos seleccionados.

Tercero se evaluó los parámetros fundamentales necesarios para su eficacia.

Las etapas a seguir en el diseño del sistema de biorremediación son:

- a) Se estudio los parámetros físicos, químicos y biológicos que definen el sistema de biorremediación, así como se evaluó las condiciones de biotratabilidad, los objetivos de limpieza exigidos.
- b) Se estudio los factores que se pueden agrupar en aquellos que afectan el crecimiento y metabolismo de los microorganismos y aquellos que afectan al compuesto en sí mismo los que afectan la eficacia de la técnica y las posibles mejoras o acondicionamientos a aplicar.
- c) Evaluación del control y seguimiento, se hizo 1 vez por mes durante 3 meses. Remediar un suelo toma de tres a seis meses. (Vargas. et al., 2004).

Cuarto para asegurar la correcta ejecución y un progreso adecuado de la biorremediación se llevo a cabo un plan de control y seguimiento del sistema.

Para una correcta optimización se controló los siguientes puntos:

- a) Control de las condiciones biodegradación. Se registro la variación de concentración de hidrocarburos con respecto a aceites y grasas.
- b) Control de los parámetros físicos, químicos y biológicos que afectan directamente en el funcionamiento del sistema de biorremediación, como: ph, temperatura, humedad y tiempo.

Quinto en esta última etapa se analizarán los resultados obtenidos, haciendo un balance de los objetivos alcanzados y los marcados inicialmente.

Figura 14
Envases de biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos



Figura 15
Envases de biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos



Figura 16

Envases de biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos



Figura 17

Envases de biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos



Se aplicó la técnica de Landfarming para suelo contaminado por residuos de hidrocarburos (borra), trasladando la tierra contaminada por hidrocarburos para aislar microorganismos propios de este, para ser empleados en el proceso de biorremediación por la estrategia de la bioaumentación, de 5 muestras de tierra contaminada hidrocarburos y se aislaron e *Pseudomonas* sp, por ser bacterias oleofílicas, con las cuales se puede formar un consorcio bacteriano capaz de degradar significativamente el crudo de petróleo a nivel de terrarios con una confiabilidad próxima al 100 % (Escalante, 2002), estos microorganismos han sido sembrados en medios de cultivo selectivo agar saboroud (Maroto y Rogel, 2007). Se procedió a sembrar estos microorganismos en terreno contaminado por hidrocarburos en diluciones de 10 ml de agua destilada estéril con 10 asadas de cultivo puro, de la siguiente manera:

10 muestras 1Kg de tierra contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 1%

10 muestras 1kg de tierra contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 2%,

10 muestras 1kg de tierra contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 3%,

10 muestras 1kg de tierra contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 4%,

10 muestras 1kg de tierra contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 5%; a las muestras se les agregó 1 gr. nutrientes (compost) con el objeto de estimular el crecimiento de los microorganismos y se aireó con un movimiento de 01 vez por semana por 1 hora para favorecer el crecimiento de las bacterias, se muestreo al termino del mes de sembrados los microorganismos y se determinó la biodegradación de aceites y grasas, así mismos se hizo el control físico químico una vez por mes durante 3 meses (Vargas. et al., 2004).

Tabla N° 1

Numero de Muestras de suelo Contaminadas por hidrocarburos a diferentes concentraciones.

Muestras/ Repeticiones	Muestras de suelo contaminadas por hidrocarburos (BORRA)				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	1%	2%	3%	4%	5%
2	1%	2%	3%	4%	5%
3	1%	2%	3%	4%	5%
4	1%	2%	3%	4%	5%
5	1%	2%	3%	4%	5%
6	1%	2%	3%	4%	5%
7	1%	2%	3%	4%	5%
8	1%	2%	3%	4%	5%
9	1%	2%	3%	4%	5%
10	1%	2%	3%	4%	5%

En la tabla N° 1 se muestra 5 grupos de muestras de suelo numerados como: muestra 1, muestra 2, muestra 3, muestra 4 y muestra 5 y cada uno de estos grupos conformado por 10 muestras cada uno, haciendo un total de 50 repeticiones, con concentraciones de residuos de hidrocarburos totales 1%, 2%, 3%, 4% y 5% respectivamente, a las cuales se les agregado el inoculo de Pseudomonas sp, que consta de diluciones de 10 ml de agua destilada estéril con 10 asadas de cultivo puro y un gramo de nutrientes orgánicos (residuos orgánicos de vegetales), para el trabajo de biorremediación de suelos

Tabla N° 2

Porcentaje de Biorremediación de Muestras de suelo Contaminadas por hidrocarburos a diferentes concentraciones durante el tiempo de 3 meses.

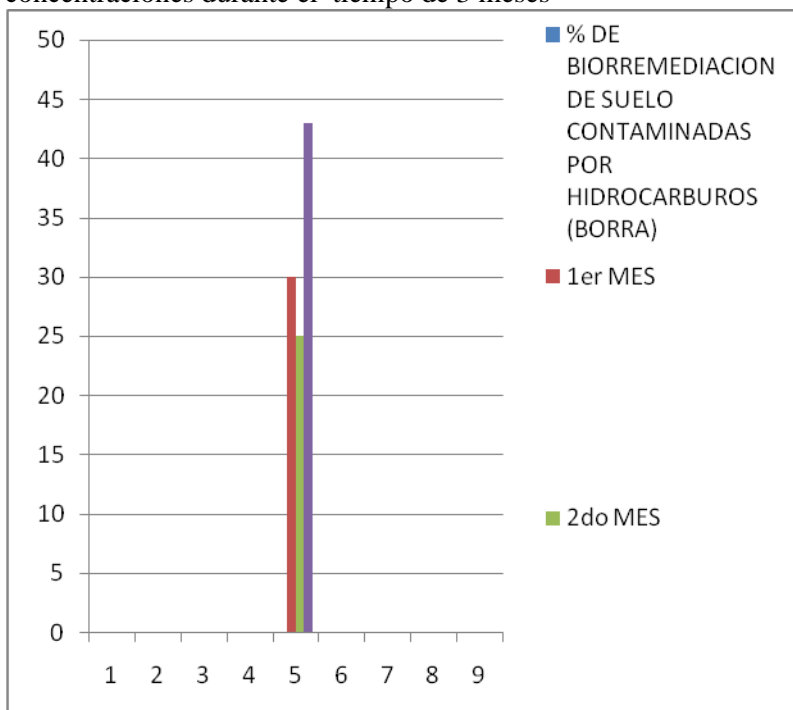
Muestras/ Repeticiones	Muestras de suelo contaminadas por hidrocarburos (BORRA)															TOTAL
	1er MES					2do MES					3er MES					En 3 meses
	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
2	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
3	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
4	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
5	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
6	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
7	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
8	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
9	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
10	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
% de biorremediación	30					25					43					98%

Porcentaje de
biorremediación
de las muestras
de suelo

En la tabla N° 2 se muestra el porcentaje promedio de biorremediación de las muestras de suelo contaminada por residuos de hidrocarburos, de los 5 grupos de muestras durante el 1^{er} mes, 2^{do} mes y 3^{er} mes de trabajo de biorremediación, en el que se aprecia que la biorremediación es diferente en cada uno de los meses, alcanzando el mayor porcentaje de biorremediación en el último mes, lo que indica que los microorganismos se han adaptado mas a al medio contaminado y también ha existido menor contaminación por hidrocarburos, lo que demuestra que es una técnica efectiva para ser usada en la biorremediación, en ambientes contaminados por hidrocarburos.

Gráfico N°1

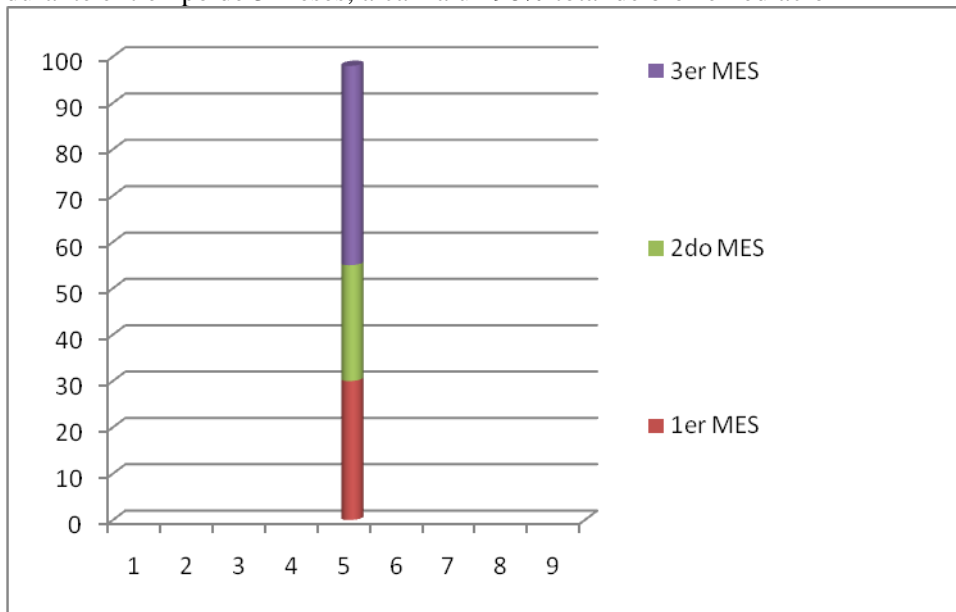
Porcentaje de Biorremediación de Muestras de suelo contaminadas por hidrocarburos a diferentes concentraciones durante el tiempo de 3 meses



En la gráfica N° 1, se muestra el porcentaje promedio de biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos en cuanto a aceites y grasas, durante el 1^{er}, 2^{do} y 3^{er} mes, observándose que en el % de biorremediación mas alto en el 3^{er} mes, debido a que la contaminación es menor y los microorganismos están mejor adaptados al medio adverso.

Gráfico N° 2

Biorremediación de Muestras de suelo Contaminadas por hidrocarburos a diferentes concentraciones durante el tiempo de 3 meses, alcanza un 98% total de biorremediación



En la gráfica N° 2, se muestra que el porcentaje de biorremediación durante el tiempo de tres meses alcanzo el 98% de biorremediación, alcanzando el límite permitido para suelo biorremediados, lo que demuestra que el nutriente usado y el tiempo y la especie de microorganismos usados son efectivos para ser usados en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos

Biorremediación de aguas contaminadas por hidrocarburos

Técnica de Biorremediación de agua con inyección de aire

Para **biorremediación de agua**, el estudio del proceso se realizó en las siguientes fases:

El primer paso se realizó el estudio exhaustivo de la caracterización del emplazamiento y del tipo y concentración de la contaminación existente de hidrocarburos totales existente en zona objeto de estudio.

La caracterización del emplazamiento se llevó a cabo mediante el estudio del mismo, analizando las características del agua y sus propiedades (pH, oxígeno disuelto, temperatura)

La caracterización del contaminante se centró en la investigación de la concentración de hidrocarburos en cuanto a aceites y grasas, así como la biodisponibilidad de los compuestos en el agua.

En la segunda, fase permitió aislar y seleccionar las cepas autóctonas de agua contaminada con hidrocarburos más eficientes en la utilización de biorremediación, el agua contaminada con hidrocarburos de la zona objeto de estudio se trasladó al Laboratorio, donde se realizó el aislamiento

de las cepas bacterianas presentes en las muestras de agua, utilizando la técnica de siembra en placa por estría (Maroto y Rougel, 2007).

Las cepas aisladas preservadas *Pseudomonas* sp, se activaron por transferencia a un medio nutritivo fresco a 37 °C hasta alcanzar un crecimiento superior a 1×10^8 UFC/ml.

En la tercera fase se preparó un cultivo con las cepas previamente seleccionadas, para ser usadas en la biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos, para lo cual se emplearon tanques de vidrio capacidad de 40 L cada uno. El lago 0.40 m x 0.20 m de ancho x 0.25 de alto. Se trabajo con la misma concentración de microorganismos, en 5 concentraciones diferentes de contaminantes por hidrocarburos, lo que permitió evaluar y comparar su efecto sobre el crecimiento bacteriano y la degradación de hidrocarburos totales. Se suministro mediante un sistema de inyección en espiral de aire forzado, formado por una tubería plástica acoplada a un compresor que tiene como función bombear el aire a través de toda la tubería. (Araujo, 2002; Baker, 1987; Capone & Bauer, 1988)

Cuarto para asegurar la correcta ejecución y un progreso adecuado de la biorremediación se debe llevar a cabo un plan de control y seguimiento del sistema.

Para una correcta optimización se controlo los siguientes puntos:

- a) Control de las condiciones biodegradación. Se registrará la variación de concentración de hidrocarburos en cuanto a aceites y grasas.
- b) Control de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que afectan directamente en el funcionamiento del sistema de biorremediación.

Quinto en esta última etapa se analizarán los resultados obtenidos, haciendo un balance de los objetivos alcanzados y los marcados inicialmente.

Figura 15
Tanques de biorremediación de agua contaminada por hidrocarburos



Figura 16
Tanques de biorremediación de agua contaminada por hidrocarburos



Figura 15

Tanques de biorremediación de agua contaminada por hidrocarburos



Figura 16

Tanques de biorremediación de agua contaminada por hidrocarburos



Fig.

Se aplico la técnica de biorremediación de agua contaminada por residuos de hidrocarburos (borra), trasladando el agua contaminada tomando 5 muestras de esta agua contaminada por hidrocarburos y se aislaron microorganismos *Pseudomonas sp*, por ser bacterias oleofílicas, con las cuales se puede formar un consorcio bacteriano capaz de degradar significativamente el crudo de petróleo a nivel de terrarios con una confiabilidad próxima al 100 % (Escalante, 2002) estos microorganismos han sido sembrados en medios de cultivo selectivo agar sobouraud (Maroto y Rogel, 2007). Se procedió a sembrar estos microorganismos en agua contaminada por hidrocarburos en diluciones de 10 ml de agua destilada estéril con 10 asadas de cultivo puro, de la siguiente manera:

10 muestras 5 lit de agua contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 1%,

10 muestras 5 lit de agua contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 2%,

10 muestras 5 lit de agua contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 3%,

10 muestras 5 lit de agua contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 4%,

10 muestras 5 lit de agua contaminada por residuos de hidrocarburos (borra) al 5%; a las muestras se

les agrego 1 gr. nutrientes (compost) con el objeto de estimular el crecimiento de los microorganismos

y se instalaron sistemas de aireación inducidos desde el fondo tubos plásticos en cada recipiente

usando una bomba de comprensión de aire para favorecer el crecimiento de las bacterias, se muestreo

al termino del mes de sembrados los microorganismos y se determinó la biodegradación de aceites y

grasas, así mismo se hizo el control físico químico una vez por mes durante 3 meses (Araujo, 2002)

Tabla N° 3

Numero de Muestras de agua contaminadas por hidrocarburos a diferentes concentraciones.

Muestras/ Repeticiones	Muestras de agua contaminadas por hidrocarburos (BORRA)				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	1%	2%	3%	4%	5%
2	1%	2%	3%	4%	5%
3	1%	2%	3%	4%	5%
4	1%	2%	3%	4%	5%
5	1%	2%	3%	4%	5%
6	1%	2%	3%	4%	5%
7	1%	2%	3%	4%	5%
8	1%	2%	3%	4%	5%
9	1%	2%	3%	4%	5%
10	1%	2%	3%	4%	5%

En la tabla N° 3 se muestra 5 grupos de muestras de agua numeradas como: muestra 1, muestra 2, muestra 3, muestra 4 y muestra 5 y cada uno de estos grupos conformado por 10 muestras cada uno, haciendo un total de 50 repeticiones, con concentraciones de residuos de hidrocarburos en cuanto a aceites y grasas al 1%, 2%, 3%, 4% y 5% respectivamente, a las cuales se les agregado el inculo de *Pseudomonas sp*, que consta de diluciones de 10 ml de agua destilada estéril con 10 asadas de cultivo puro y un gramo de nutrientes orgánicos (residuos orgánicos de vegetales), para el trabajo de biorremediación de agua

Tabla N° 4

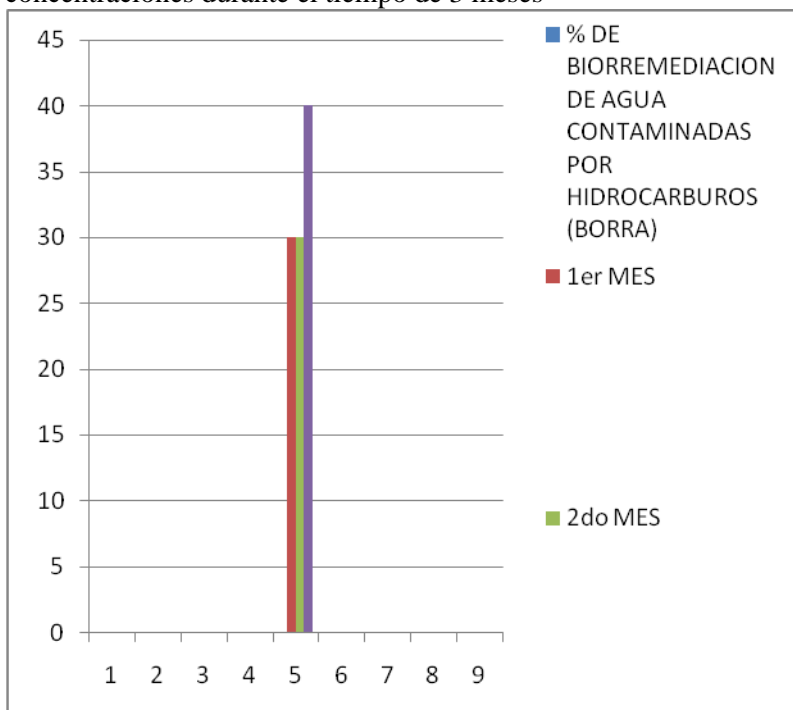
Numero de Muestras de agua Contaminadas por hidrocarburos a diferentes concentraciones durante el tiempo de 3 meses.

Muestras/ repeticiones	Muestras de agua contaminadas por hidrocarburos (borra)															Total
	1er MES					2do MES					3er MES					En 3 meses
	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
1	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	Porcentaje de biorremediación de las muestra de agua
2	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
3	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
4	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
5	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
6	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
7	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
8	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
9	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
10	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
% de biorremediación	30					30					40					100%

En la tabla N° 4 se muestra el porcentaje promedio de biorremediación de las muestras de agua contaminada por residuos de hidrocarburos, de los 5 grupos de muestras durante el 1^{er} mes, 2^{do} mes y 3^{er} mes de trabajo de biorremediación, en el que se aprecia que la biorremediación es diferente en cada uno de los meses, alcanzando el mayor porcentaje de biorremediación en el último mes, lo que indica que los microorganismos se han adaptado mas a al medio contaminado y también ha existido menor contaminación por hidrocarburos, lo que demuestra que es una técnica efectiva para ser usada en la biorremediación, en ambientes contaminados por hidrocarburos.

Gráfico N° 3

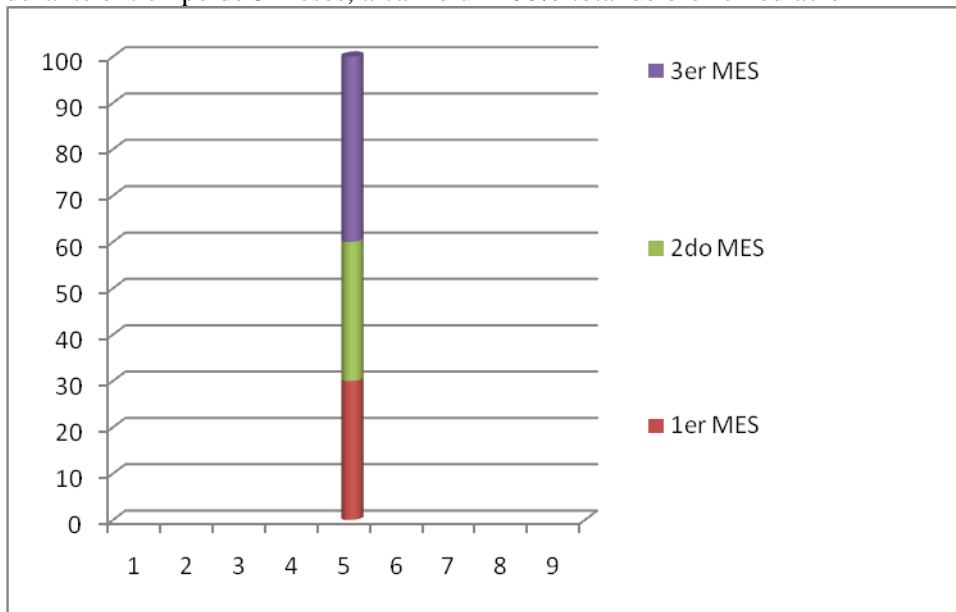
% de Biorremediación de Muestras de agua contaminadas por hidrocarburos a diferentes concentraciones durante el tiempo de 3 meses



En la gráfica N° 3, se muestra el porcentaje promedio de biorremediación de agua contaminado por hidrocarburos en cuanto a aceites y grasas, durante el 1^{er}, 2^{do} y 3^{er} mes, observándose que en el % de biorremediación mas alto en el 3^{er} mes, debido a que la contaminación es menor y los microorganismos están mejor adaptados al medio adverso.

Gráfico N° 4

Biorremediación de Muestras de suelo Contaminadas por hidrocarburos a diferentes concentraciones durante el tiempo de 3 meses, alcanzo un 100% total de biorremediación



En la gráfica N° 4, se muestra que el porcentaje de biorremediación durante el tiempo de tres meses alcanzo el 100% de biorremediación, alcanzando el límite permitido para ambientes biorremediados, lo que demuestra que el nutriente usado, el tiempo y la aireación forzada y la especie de microorganismos usados son efectivos para ser usados en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

La tasa de biodegradación se calculo según la siguiente expresión:

Concentración Inicial – Concentración Final

Biorremediacion de suelos contaminados por hidrocarburos

Se llevo a determinar:

- La biodegradación del 30% de los residuos del hidrocarburo con respecto a aceites y grasas durante el 1er mes,
- La biodegradación del 25% de los residuos de hidrocarburos con respecto a aceites y grasas durante el 2do mes y
- La biodegradación del 43 % de los residuos de hidrocarburos con respecto a aceites y grasas durante el 3er mes.

Haciendo un total de biorremediación de 98% en 3 meses de tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos, determinado por el tiempo de biorremediación y los microorganismos identificados son *Pseudomonas* sp, lo que demuestra que tienen la capacidad catabólica para crecer bajo condiciones físico – químicas y de estrés a las que están sometidas, y por tanto, tienen un mejor desempeño en el desarrollo la técnica.

Biorremediación de aguas contaminadas por hidrocarburos

Se llevo a determinar:

- La biodegradación del 30% de los residuos de hidrocarburos con respecto a aceites y grasas durante el 1er mes,
- La biodegradación del 30% de los residuos de hidrocarburos con respecto a aceites y grasas durante el 2do mes y
- La biodegradación del 40 % de los residuos de hidrocarburos con respecto a aceites y grasas durante el 3er mes.

Haciendo un total de biorremediación de 100%, determinado por el tiempo de biorremediación y los microorganismos identificados son *Pseudomonas* sp, lo que demuestra que tienen la capacidad catabólica para crecer bajo condiciones físico – químicas y de estrés a las que están sometidas, y por tanto, tienen un mejor desempeño en el desarrollo la técnica.

CONCLUSIONES

Se determinó que el tratamiento de Biorremediación aplicando las técnicas de Landfarming e Inyección de aire forzado por bioestimulación y bioaumentación a las muestras de suelo y agua contaminadas por hidrocarburos resultó efectivo, observándose una disminución en la concentración de hidrocarburos en cuanto a aceites y grasas hasta obtener valores 98% de reducción de contaminación en tierra y agua.

Se determinó que mediante la adición de nutrientes compost para el desarrollo de los microorganismos existentes, aireación y humectación periódica del área tratada, se logró recuperar el suelo impactado en un 98% y así se logró recuperar el agua impactada en un 100% en un periodo de tres meses.

Se determinó que el porcentaje de biodegradación de hidrocarburos producidos por la inoculación de una sola cepa bacteriana oleofílica *Pseudomonas* sp es de 98% en suelos y 100% en agua a los tres

meses y también Altamirano en 1998, encontraron un cultivo mixto de *Pseudomonas* sp nativas que tuvieron una mayor capacidad para utilizar residuos de petróleo.

Se desarrollo un esquema tecnológico para aplicar el proceso de Biorremediación en muestras de agua y suelo contaminado por HC, aunque debe señalarse que no existe un tratamiento de Biorremediación único para los suelos contaminados ya que todos difieren entre si y como tal se deben tratar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABASOLO, F. y MORANTE, L. 2020. Bacterias degradadoras de hidrocarburos a partir de suelos contaminados con hidrocarburos. Biblioteca Colloquium.

<http://colloquiumbiblioteca.com/index.php/web/article/view/33>.

ARAUJO, I. 2002. Biorremediación de aguas contaminadas con derivados de hidrocarburos utilizando cepas bacterianas autóctonas. Universidad de Zulia. Venezuela.

CNR-Coordinadora Nacional de Radio. 2009. Derrame de Petróleo Barrio Florido. Iquitos-Loreto.

DIARIO GESTION. 2022. Redacción de Diario Gestión informa Mayores derrames de Petróleo en el Mundo. Redacciongestion@diariogestion.com.pe. Lima.

ESCALANTE, R. 2006. Biodegradación de Crudo de Petróleo en Terrarios. UNMSM. Lima.

HEREDIA, J. 2022. Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. Ecuador.

HIDALGO et al., 2020. Metagenomic Insights Into the Mechanisms for **Biodegradation** of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Oil Supply Chain *Front Microbiol*, **11**, 561506. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.561506>.

INDECI- Instituto Nacional de Defensa Civil. 2022, Derrame de hidrocarburos Cuninico, Urarinas, San Pedro y Nueva Esperanza, distrito de Urarinas, provincia de Loreto.

LA REPUBLICA. 2011. Informa que Gobierno Regional de Loreto suscribió el Acta del Pastaza con la Federación de Indígenas Quechuas del Pastaza. Loreto.

LA REPUBLICA. 2012. Informa derrame de petróleo en la comunidad de Chambira. Loreto.

LA REPÚBLICA 2022, Informa derrame de petróleo en la Refinería La Pampilla-Repsol.Perú.

LA VOZ DE LA SELVA. 2012. Informa Derrame de Petróleo en Urarinas. Loreto.

LEDEZMA, A. 2016. Estudio de la Población Microbiana en un Sistema de Biorremediación in situ

- de un suelo impactado con Hidrocarburos de Petróleo. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN. México.
- LÓPEZ, J. et al. 2006. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. Nova. Colombia.
- MAROTO, M. y ROGEL, J. 2007. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. GEOCISA. Div. Protección Ambiental de Suelos. México.
- MESSARCH, M. B. and NIES, L., 1997. Modification of Heterothropic plate counts for assessing the bioremediation potential of petroleum-contaminated soils. Environ. Technol. USA.
- OCAMPO, C. 2021. El potencial de la biorremediación. Universidad Autónoma de Hidalgo. **México.**
- OXFAM y CNDDHH, 2020. La sombra del petróleo. Informe de los derrames petroleros en la Amazonía peruana entre el 2000 y el 2019, <https://peru.oxfam.org/latest/policy-paper/la-sombra-del-petroleo>.
- PATEL, A. et al 2020. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches. Front Microbiol, 11, 1-23. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.562813>.
- PERU REGIONAL. 2011. Derrames de petróleo en la Región Loreto. Loreto.
- PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A., 2023. Refinería Iquitos-Loreto
- PETROPERÚ 2014, Derrame de Petróleo cerca de la quebrada de Cuninico. Loreto.
- PRO Y CONTRA. 2006. Comunidad de Barrio Florido denuncian ser víctimas de los embates de la contaminación petrolera. Loreto.
- Petróleos del Perú - Petroperú S.A. 2023. Refinería Iquitos.
- RODRÍGUEZ, A. et al. 2022. Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. Revista de Ciencias Ambientales. Open Access: www.revistas.una.ac.cr/ambientales.
- ROJAS, M. y RENGIFO, N. 2021. Biodegradación de petróleo por Pseudomonas aeruginosa en aguas de derrame de la actividad petrolera, Ucayali-2020. UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI. Ucayali.
- RPP. RADIO PROGRAMAS DEL PERÚ 2010. Derrame de petróleo en el río Marañón, en la zona de

Saramuro. Radio Programas del Perú. Perú.

SERVINDI. 2010. Últimos de derrames de petróleo. Loreto.

SIRVINS, A. y TRAMIER, B.1993. La biodegradación de los hidrocarburos. Mundo Científico. 54(6): 46-54.

SHIGUANGO, N. 2012. Técnica de Landfarming. Slides Share Inc. Ecuador.

SUTHERLAND, J. B. 1992. Detoxification of polycyclic aromatic hydrocarbons by fungi. J. Ind Microbiol.USA.

UNESCO WWAP 2022. Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. WWW.UNESCO.ORG.

VARGAS, P. et al. 2004. Biorremediación de Residuos de Petróleo. Uniandinos. Colombia.