

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN Y SU APLICACIÓN
EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Kevin Anthony Ramirez Silva
Valeria Amalia Yarleque Villacrez

Asesor:

Ing. Wilberto Effio Quezada

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

El siguiente trabajo está dedicado especialmente a Diana Silva Sánchez y Leonardo Ramírez Mendes, mis padres, que gracias a sus esfuerzos estoy culminando este trabajo y a todas las personas que me acompañaron y me brindaron su apoyo.

Ramírez Silva, Kevin Anthony

La presente tesis está dedicada a mi madre, ya que gracias a ella he logrado concluir este trabajo con su apoyo y la paciencia que me brindo durante el desarrollo de la misma, por otro lado a mi padre que del mismo modo me brindó la oportunidad de la carrera que desarrollo actualmente, a mis tíos y primos que me alentaron en el proceso y principalmente a mi primo Favio que a pesar que no cuento con su presencia física sé que desde el cielo me cuida y me da los ánimos necesarios para culminar cada faceta importante en mi vida como es en esta oportunidad.

Yarlequé Villacrez, Valeria Amalia

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad que nos brindó los materiales necesarios para la guía de la revisión en cada punto y la facilidad de contar con las plataformas de búsqueda.

Igualmente, a los compañeros egresados que brindaron su apoyo con la experiencia y conocimiento sobre el desarrollo y procedimiento en ciertos puntos de este trabajo.

Yarlequé Villacrez, Valeria Amalia

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
Realidad Problemática.....	8
Antecedentes	12
Bases Teóricas.....	15
Justificación.....	22
Objetivos.....	23
CAPÍTULO II. MÉTODO	25
2.1. Tipo de investigación.....	25
2.1.1. Diseño de Investigación	25
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	26
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	27
2.3.1. Técnica.....	27
2.3.2. Instrumentos.....	27
2.4. Procedimiento	28
CAPÍTULO III. RESULTADOS	31
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS	47
ANEXOS	56
PROPUESTA AMBIENTAL	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:**30**

*Concentración inicial y final de suelos contaminados con hidrocarburos (mg/kg) para
tratamiento con lodos.*

Tabla 2:**31**

*Concentración inicial y final de suelos contaminados con hidrocarburos (mg/kg) para
tratamiento con el proceso de bioestimulación.*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	32
<i>Porcentajes de remoción de hidrocarburos de los tratamientos con lodos</i>	
Figura 2:	33
<i>Porcentajes de remoción de hidrocarburos de los tratamientos con bioestimulación</i>	
Figura 3:	34
<i>Todos los porcentajes de remoción</i>	
Figura 4:	35
<i>Gráfico de comparación de todos los resultados según su concentración inicial y final de hidrocarburos en mg/kg</i>	
Figura 5:	36
<i>Comparación de los resultados de biorremediación final con el porcentaje de remoción de hidrocarburos para ambas técnicas de tratamiento</i>	
Figura 6:	37
<i>Comparación del pH con la densidad de bacterias autótrofas y heterótrofas</i>	
Figura 7:	38
<i>Ventajas y desventajas de las técnicas de biorremediación</i>	
Figura 8:	39
<i>Síntesis de la propuesta de biorremediación con lodos</i>	

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el porcentaje de remoción de aplicación de lodos con la bioestimulación en suelos contaminados por hidrocarburos, con base a los resultados de las investigaciones. En los últimos años, se presentó la principal fuente de contaminación por derrame de petróleo en la región de Loreto a cargo de PETROPERÚ; no obstante, se buscó una alternativa sostenible para hacerle frente al deterioro de este recurso. Se realizó un diseño no experimental, mediante la técnica de análisis documental a través de la recopilación de información de diversos documentos que facilitarán la aplicación. Se encontró que en el trabajo de Martínez obtuvo una remoción con tratamiento de lodos de un 93% en un periodo de 4 meses siendo la más alta, por otro lado, Sandoval tuvo una remoción de hidrocarburos por bioestimulación de un 98.7% en un periodo de 125 días. Se demostró que el pH tiene una relación directa con la densidad de bacterias heterótrofas, el cual se encontró que con un rango de 6.4 a 8.64, la cantidad de bacterias heterótrofas fue de 30000 a 96000 UFC.

Palabras clave: Lodos, Bioestimulación, Biorremediación, Hidrocarburos, Suelos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo, se encuentra una serie de recursos finitos que poco a poco debido a su mal uso se han ido agotando y deteriorando, tal como es el caso del suelo. Una de las causas más predominantes son las actividades económicas que desarrolla nuestro país, tales como las industriales, mineras y del mismo modo las actividades agrícolas. (Martínez P.; Pérez L.; Pinto E.; Gurrola N. y Osorio R. 2011). Es por ello que, el uso correcto de este recurso evitaría principalmente su presunta pérdida y degradación, así como la contaminación del mismo y evitar una reacción en cadena alterando la biodiversidad (FAO, 1996). Así mismo, el efecto sobre la salud y el ecosistema que producen la presencia de estos agentes químicos en un ambiente contaminado es estimado como la sumatoria de riesgos individuales, siendo la concentración de hidrocarburos un dato relevante. (Álvaro C.; Arocena L.; Martínez M; Nudelma N. 2016).

La contaminación del suelo se produce principalmente por el manejo inadecuado de residuos de metales pesados producto de diversas actividades mineras, (Covarrubias S.; García J.; Peña J. 2015) que son sustancias de composición química muy diversa, insoluble en agua, que resultan tóxicas para el ser humano y el suelo. (Gutiérrez L. 2010). Otro ejemplo de contaminación son las prácticas agrícolas que repercuten no solo en la erosión del mismo, sino que, debido al uso excesivo de pesticidas, este recurso se vuelve infértil o imposible de recuperar. Existen además de ellos contaminantes emergentes como lo son los productos químicos de diferentes industrias, principalmente de aquellas dedicadas a la extracción de hidrocarburos (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019).

Un claro ejemplo de esta contaminación la podemos encontrar en México, en su caso, como consecuencia de varios siglos de actividad minera, la industria de la petroquímica y de refinación del petróleo se han producido grandes cantidades de residuos peligrosos difíciles de cuantificar. INECC (2007). Por otro lado, según Parques Nacionales Naturales de Colombia, al menos en el interior de cinco parques nacionales naturales y un santuario de flora y fauna se están explotando de manera ilegal recursos mineros terminando con todos los hábitats restantes (Güiza L. 2011). Así mismo, la minera San Antonio perteneciente al grupo Gold Corp. México ubicada en el municipio de San Dimas, en Tayoltita - Durango, en 1995, ingresó al programa de Auditoría Ambiental y como resultado de la misma se detectó suelo natural contaminado con hidrocarburos, cerca de 800 toneladas, el cual fue confinado en un almacén (Martínez et al. 2011).

Por otro lado, en la Provincia del Neuquén, Argentina, la labor productiva en regalías, genera empleo y actividades comerciales subsecuentes a las etapas de exploración y explotación que determinan la producción de petróleo y gas por provincia, lo cual genera actividades inherentes a la explotación hidrocarburífera ocasionando cambios adversos en el ambiente con riesgos para la salud y la propia industria (Silvana, Arocena y Martínez, 2016), por tal motivo, la remediación de suelos contaminados con petróleo crudo, lodos de perforación y solventes derivados de la explotación es un tema de intensa investigación actualmente, tanto es el caso que la biodegradación de hidrocarburos puede verse afectada por las condiciones ambientales que se presenten en el sitio contaminado (Vallejo V.; Salgado L.; Roldan F. 2005).

Por último, encontramos que Ecuador tiene como problema principal la gestión de los aceites lubricantes, siendo estos considerados residuos peligrosos, los cuales se pueden gestionar de distintas maneras, y, entre la más conocida vendría a ser su regeneración para su posterior uso. (Mosquera S.; Serrano J.; Cárdenas G. 2009). Las plantas que se encargan de regenerar aceites lubricantes usados generalmente producen lodos con altos contenidos de TPH, así mismo los lodos contaminados con residuos de aceites lubricantes usados generan gran impacto ambiental negativo al no ser manejados adecuadamente. Por ello, la biorremediación con plantas es la mejor opción para disminuir la concentración de dichos contaminantes (Vásquez M.; Guerrero J.; Quintero A. 2010).

En relación a esto, otro de los países que se desarrolla en este rubro es el Perú, que ocupa el 7mo lugar en reservas y producción de crudo en América Latina (Osinermin, 2015). Pero, tras el hallazgo de crudo de petróleo en la Amazonía, en 1967, se convirtió en un Estado petrolero. Desde entonces se han promovido actividades de exploración, explotación y transporte, sin embargo, las consecuencias negativas, ambientales, sociales, culturales y en la salud de las personas han sido impactadas significativamente (Cuvi N.; Bejarano M. 2013).

Por otro lado, en el 2015 se identificaron cerca de 4 353 pasivos ambientales de alto riesgo, de los cuales 72 eran generados por el sector hidrocarburos. Las actividades extractivas de petróleo formal e informal continúan generando estragos en la Amazonía. En nuestro ámbito de estudio, Loreto y Madre de Dios, son los departamentos que más impacto ha sufrido como producto de la extracción de petróleo (Calcina L.; Hidalgo B. 2011).

En los últimos 7 años se han atendido más de 20 emergencias ambientales debido a estos derrames, asimismo, se han generado una amenaza a los ecosistemas debido a la contaminación de suelos y la destrucción de hábitats. Tan grande fue el impacto que en el 2013 se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, donde se incluyeron parámetros para distintos tipos de hidrocarburos, siendo actualizados hasta la versión vigente aprobada en 2017 (D.S. 011-2017-MINAM), junto con los criterios para la Gestión de Sitios Contaminados (D.S. 012-2017- MINAM) (Villena J. 2019).

En los últimos años, se presentó la principal fuente de contaminación en la región de Loreto a cargo de PETROPERÚ; en el año 2016 y 2017 por medio de su mayor obra el Oleoducto Norperuano se generó malas prácticas en sus relaciones comunitarias, poca supervisión en el cuidado del ducto, así como, una inexistente presencia del estado (Ángeles O. 2018). Por otro lado, la sociedad civil y varias organizaciones de grupos indígenas, ambientalistas y de derechos humanos han demandado la necesidad de conocer los impactos de los derrames en la salud de los pueblos afectados (Parra F.; Manrique L.; Martínez V. 2019). Resultando lógico que, los estudios realizados por monitoreos ambientales en la selva demuestren resultados desfavorables, en donde poblaciones relegadas sufren consecuencias de la mala planificación y aun centralización del estado en las principales ciudades del país, así como, de la mala práctica de algunos operadores de los lotes actuales y pasados que han dado como consecuencia la situación actual de contaminación en la zona de Loreto (Ángeles O. 2018).

Debido a la existencia de toda esta problemática se tiene la necesidad de buscar una alternativa sostenible para hacerle frente al deterioro de este recurso.

Es por ello que se propone un análisis teórico de la biorremediación como alternativa para mitigar el problema de los hidrocarburos en el suelo y lograr con ello una progresiva recuperación de la calidad del medio, que genera una amenaza a la salud de la población, así como su deterioro progresivo que involucra además a otros recursos como son el agua y evitar de este modo que se llegue a la pérdida de especies vegetales y los animales (Trujillo y Ramírez, 2012).

De la investigación más resaltante, Villena (2019), encontró que el problema de contaminación de suelos con hidrocarburos representaba un problema de riesgo para la población, con esto, el objetivo fue determinar el efecto de la adición de lodos de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD) para estimular el proceso de biorremediación aerobia del suelo contaminado. Los resultados obtenidos mostraron que en la primera mitad del ensayo el T2(lodos al 50%) presentó mayor remediación de suelos del 53%, seguido del T1(lodos al 25%) con una remoción de 41% y el control (libre de lodos) una disminución solo del 12%. Permitiendo que se concluya que la eficiencia en el proceso de biorremediación del suelo contaminado con un derivado de hidrocarburo (diésel) aumenta gracias a la adición de lodos que sirvió como fuente de nutrientes y masa microbiana.

Otro de los trabajos con el que se cuenta es de Melo (2017), en el cual realizó un análisis de manejo de biosólidos y su posible aplicación en suelos de Colombia y Uruguay. Identificó todas las alternativas que existían para estabilizar los lodos frecuentes en la remediación de suelos. Uno de los resultados obtenidos en Colombia arroja que la aplicación de biosólidos deshidratados aumentó en 150% el peso de la planta de rábano, sin embargo, tiene efectos adversos por lo que se necesitaría prácticas de higienización antes de su uso.

Por otro lado, en Uruguay resulta que los cultivos de lechugas y el uso de lodos frescos como materia orgánica es posible pero no de manera excesiva por la concentración de fósforo. Se concluye que, Colombia en comparación de Uruguay, tiene más estudios relacionados en cuanto al saneamiento de sus lodos, con la finalidad de recuperar los suelos degradados por las actividades antrópicas que se desarrollaron a lo largo de los años en su país.

Por otra parte, el estudio de Rodríguez (2013) trata sobre la efectividad de las diversas técnicas de biorremediación, una comparación entre el Landfarming y la Fitorremediación cuando son utilizadas en suelos con proporciones áridas y adicional a ello, el alto contenido de hidrocarburos provenientes de lodos de refinería, así como la gran utilidad de la adición de ellos en los suelos para incrementar la eficacia de los procesos de biorremediación. Como conclusión, se obtuvo que, la adición de biosólidos mejora el resultado de ambas técnicas usadas en simultáneo, puesto que, estos aditivos sirvieron como fuente de nutrientes para incentivar el desarrollo de las poblaciones microbianas durante las técnicas y/o procesos.

Cabe mencionar que Ferreira (2012), evaluó la biorremediación de un suelo tropical en su trabajo dentro de la cual fueron ensayadas tres concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) iniciales: 15.3, 19.0 y 29.2 g/kg de suelo, teniendo como objetivo la biodegradación de HTP, propuesto para tratamiento de los suelos impactados con altas concentraciones de residuos aceitosos intemperizados en un periodo de 30 a 60 días. Obteniendo que la biodegradación de los HTP del suelo de 15.3 o 19 g/, disminuyó con el aumento de los niveles de contaminación en un 55 %, sin embargo, para 29 g/kg de suelo alcanzó 45 % de remoción siendo 10% menos que el anterior, concluyendo que los suelos

con las dos concentraciones menores ensayadas de HTP inicial fueron considerados tratados, de acuerdo con la Legislación Brasileña ($HTP < 5 \text{ g/kg}$).

Existen otro estudio, en el cuál evalúan la importancia de los microorganismos en el proceso de biorremediación, caso representativo que encontramos con Covarrubias (2015), donde afirma que los metales pesados en suelos están asociados con la fracción asimilada por los seres vivos, analizando las técnicas de remediación de suelos basándose en métodos fisicoquímicos y biológicos; estas últimas llamadas biorremediación, ya que aprovecha el potencial metabólico de organismos vivos (bacterias y hongos) para la descontaminación de dicho suelo, concluyendo que métodos fisicoquímicos, a pesar de ser eficientes, representan un costo económico y ambiental, pero por otro lado, los métodos biológicos basados en el uso de las propiedades metabólicas de bacterias y hongos para la descontaminación de metales pesados son una opción complementaria a los métodos tradicionales.

Así mismo, la adición de lodos obtenida en las plantas de tratamiento de aguas tiene un potencial medio de rehabilitación, ya que su alto contenido de nutrientes y materia orgánica ejercen un efecto positivo en muchas características del suelo, generando el aprovechamiento de este recurso que en su generalidad no son usados, sin embargo actúa como la mejor alternativa de biorremediación, incrementando los niveles naturales de degradación a niveles significativamente más altos, además de la descontaminación más económicos y seguros, ya que ocasiona una mínima afectación del terreno, y que ofrece un tiempo de remediación aceptable para suelos contaminados con hidrocarburos (Villena, 2019).

Los diversos procesos que se necesitan para la extracción y explotación de hidrocarburos ocasionan cambios muy adversos en el medio ambiente, lo cual ocasiona riesgo no solo para la salud sino para la misma industria que lo genera (Singh R. y Celin S. 2010). Este es sin duda uno de los principales problemas por el que atraviesan los suelos, pero en la actualidad existen una gran cantidad de actividades que generan, lamentablemente que, este recurso sea contaminado ya sea por motivos de costo para su correcto tratamiento o la simple acción residual como es el caso de los DDT que es conocido como el insecticida predilecto para la lucha contra diversas plagas en la agricultura, pero, que trae consigo las mismas consecuencias de los hidrocarburos adicionando la contaminación de los alimentos llevando a estos a puntos mutagénicos y peligrosos para el consumo humano (Betancur B.; Pino N.; Peñuela G. y Cardona S. 2013).

Para el sustento de esta investigación se cuenta con las siguientes bases teóricas para dar a conocer de manera conceptual el desarrollo de este trabajo:

Suelos:

Es considerado un material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad. Mientras que la disposición o definición de un suelo ya contaminado es aquel cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el ECA para suelo (D.S. N.º 002-2013-MINAM.)

Estándares de Calidad Ambiental para suelo:

Los ECA (Estándares de Calidad Ambiental) para Suelo son indispensables para el diseño y ejecución de los IGA (Instrumentos de gestión ambiental), además es un indicador (medida) que define el rango de parámetros (físicos - químicos - biológicos) encontradas en el suelo sin perjudicar la salud de las personas y el ambiente. (DS N.º 011-2017-MINAM).

Gestión Ambiental:

Es definida como un proceso permanente y continuo, orientado a administrar los intereses y recursos relacionados con los objetivos de la Política Nacional Ambiental a fin de alcanzar, así una mejor calidad de vida para la población, el desarrollo de las actividades económicas, el mejoramiento del ambiente urbano y rural, así como la conservación del patrimonio natural del país, entre otros objetivos. (Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, Título 1 – Art. 7; MINAM)

Desarrollo Sostenible:

Aquel que responde a las necesidades del desarrollo de forma igualitaria, pero sin comprometer las posibilidades de sobrevivencia y prosperidad de las generaciones futuras. Establece que la pobreza, la igualdad y la degradación ambiental no pueden analizarse de manera aislada, el documento coloca a la pobreza como una de las causas y consecuencias de los problemas ambientales. (Castillo 2017)

Hidrocarburos:

Existen tres niveles de clasificación para los hidrocarburos según el MINAM (Ministerio del Ambiente), el primero de ellos son los hidrocarburos de fracción ligera que se define como mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono (C5 a C10). Los hidrocarburos fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos contaminantes. (Mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasavión, gasolvente, gasolinas, gas nafta). La segunda fracción de hidrocarburos son de nivel medio que son aquellos que entre diez y veintiocho átomos de carbono (C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos contaminantes. (Mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasavión, gasolvente, gasolinas, gas nafta). Y, por último, están los hidrocarburos de fracción pesada que cuentan con moléculas de entre veintiocho y cuarenta átomos de carbono (C28 a C40). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos contaminantes. (Mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, combustóleo, parafinas, petrolatos, aceites derivados del petróleo) (ERSA – MINAM, 2015)

Biorremediación:

La Biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas (Suarez M. 2013).

Tipos de Biorremediación:

- **Biosorción:** Es la remoción de metales pesados contenidos en soluciones acuosas mediante la unión a biomasa. Se conoce una variedad de biomateriales que pueden unirse a estos contaminantes, como bacterias, hongos, algas y residuos industriales y agrícola (Yagnentkovsky N. 2011).
- **Bioprecipitación:** Se utilizan microorganismos capaces de generar metabolitos que precipitan con muchos de los metales pesados. Un grupo importante de estos microorganismos son las bacterias sulfato reductoras. Estas bacterias anaeróbicas son capaces de formar sulfuros a partir de la reducción de sulfatos, lo que permite, debido a la habitual baja solubilidad de los primeros, separarlos del medio líquido (Yagnentkovsky N. 2011).
- **Bioaugmentación:** Esta técnica funciona en condiciones de laboratorio o biorreactor, pero en ambientes externos (suelo o agua) su implantación depende de una serie de factores. Presencia de toxinas, nutrientes y condiciones ambientales, movilidad y/o distribución de los microorganismos y la presencia de abundante materia orgánica. Los microorganismos añadidos deben sobrevivir a los depredadores y competir con éxito con la población autóctona antes de ocupar los nichos potenciales. En general, los ambientes más selectivos y la utilización de consorcios microbianos favorecen la bioaugmentación (Suarez M. 2013).

- **Biodisponibilidad:** La tasa de degradación depende tanto de la capacidad de transporte y del metabolismo microbiano, como de la transferencia de masas del compuesto. La relación entre estos factores se conoce como biodisponibilidad. En los suelos uno de los factores limitantes para la biodegradación es la transferencia de masas, ya que los microorganismos de los suelos contaminados, suelen tener amplias capacidades biodegradativas al estar expuestos a una gran variedad de compuestos orgánicos diferentes. Por lo tanto, la adsorción, la absorción, la desadsorción, disolución y la difusión son fenómenos, propios de la transferencia de masas, que condicionan la biodisponibilidad de los contaminantes (Suarez M. 2013).

Factores microbiológicos:

El factor microbiológico más importante en la Biorremediación es la transformación biológica de compuestos orgánicos, catalizada por acción de las enzimas. La biodegradación de un compuesto específico es frecuentemente un proceso que se realiza paso a paso en el cual se involucran muchas enzimas y muchos organismos. Las enzimas son específicas en términos de los compuestos que atacan y las reacciones que catalizan. Más de una enzima es normalmente requerida para romper una sustancia orgánica. Frecuentemente, los organismos que tienen las enzimas para degradar están presentes en el suelo (Suarez M. 2013).

Necesidad de nutrientes inorgánicos:

El metabolismo microbiano está orientado a la reproducción de los organismos y éstos requieren constituyentes químicos disponibles para su asimilación y sinterización.

Los nutrientes requeridos son el N y P, por tanto, las concentraciones asimilables de dichos elementos presentes en el suelo suelen ser limitantes para un incremento y activación de la población microbiana. La adición de fuentes de N y P inorgánicas generalmente tiene un efecto positivo incrementando las poblaciones microbianas y las tasas de biodegradación de hidrocarburos en suelos contaminados (SuarezM. 2013).

Lodos Activados:

Los lodos activados permiten convertir un residuo potencialmente peligroso en un recurso reaprovechable. El tratamiento de lodos consta de tres procesos principales: estabilización, higienización y deshidratación. La estabilización de lodos es un proceso en el cual se reduce su parte orgánica, permitiendo así controlar la degradación biológica, la generación de olores, la aparición de vectores y la patogenicidad de lodos (Yagnentkovsky N. 2018).

Lodos primarios:

Se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal (Vargas G.; Vásquez J. 2018).

Lodos Secundarios:

Se originan de tratamiento biológicos que convierten residuos o substratos solubles en biomasa.

También incluyen la materia particulada que permanece en el agua luego de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. La cantidad producida depende de: la eficiencia del tratamiento primario, relación SST a DBO, cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento (Vargas et al. 2018).

Biosólidos:

Son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados (Vargas et al. 2018).

Digestión de lodos:

La digestión de lodos es producida en las plantas de tratamiento de aguas residuales, durante su proceso, en las fases primaria, secundaria y terciaria, donde se involucra una combinación de procesos físico, químico y biológico. En la fase primaria, se pueden separar del agua servida componentes fluctuantes, basura arrastrada por el flujo del agua servida y arena. Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de planta de tratamiento y de la operación de ésta. En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario (Vargas et al. 2018).

La contaminación del suelo con hidrocarburos es un problema debido a que éste pierde su capacidad agrícola, además genera enfermedades para los seres que están en contacto con ellos siendo una de las principales causas de la contaminación o degradación de los suelos, sin embargo, son considerados residuos peligrosos y deben disponerse de acuerdo al reglamento de residuos sólidos. Así mismo cumplir con las políticas ambientales actuales que establecen el uso apropiado de recurso natural que marcan la tendencia a la protección y recuperación de los ambientes degradados (Gutiérrez, 2010).

Pero, gracias a los diversos avances tecnológicos y las diversas técnicas biológicas con el fin de proporcionar alternativas de descontaminación de zonas impactadas como el suelo, además del aire y el agua, surge el proceso de la biorremediación que emplea una serie de reacciones bioquímicas por medio de un consorcio de microorganismos en la zona contaminada (Vásquez et al. 2010). Este proceso busca resolver el problema o mitigarlo en cierto porcentaje para lo cual, a pesar de ser un método convencional, siempre busca obtener los mejores resultados, por tal motivo, el uso de lodos de manera de adición o reemplazo de nutrientes para el desarrollo óptimo de estos microorganismos ha sido estudiado de forma amplia para así mejorar el suelo y permitir que este recupere sus características (Díaz I.; Muy R.; Rubio C. y Armendáriz A. 2010).

En los últimos 50 años, Loreto, ha sido golpeado por estas actividades de extracción de hidrocarburos sin solución alguna hasta el momento, generando así accidentes e impactos muy significativos para los ecosistemas de esta zona, por ello, se quiere indagar sobre la biorremediación y su ecoeficiencia, debido a que estos múltiples procesos pueden ser utilizados para la contaminación por hidrocarburos.

Por otra parte, la adición de lodos activados para este proceso ayudaría como bioaumentador, por su accesibilidad y la capacidad de nutrientes sirviendo como biorremediador, dando resultados beneficiosos para la zona afectada.

Como resultado daríamos a conocer, si el proceso de lodos a diferencia de otros sería la mejor opción para los suelos contaminados de Loreto. Generando una idea a la población, que dichos procesos servirían como una solución. Las consecuencias de no hacer hincapié a las investigaciones dirigidas a este rubro en particular, ocasionaría la mala toma de decisiones para optar por las medidas adecuadas de la problemática en Loreto, el cual ocasionaría un deterioro de los hábitats o peor aún, la extinción de su flora y fauna, que además, es muy rica en diversidad, por otro lado, la contaminación de los cuerpos de aguas tanto superficial como subterránea serían las más afectadas como segunda línea, generando un impacto directo a las tribus que se encuentran en esa zona, así como a su civilización, no obstante, la falta de información y la corrupción por sus entidades, motiva a que las empresas y las microempresas, no tomen las medidas adecuadas, ocasionando su irresponsabilidad, así como se ha visto en estos últimos años. Es por ello que, a modo de darle solución en parte a todo este grupo de temas arraigados a la región por dicha actividad, nos planteamos la siguiente pregunta ¿Cuáles son las técnicas de biorremediación más eficientes para su aplicación en suelos con hidrocarburos?

A tal interrogante, finalmente, se plantea los siguientes objetivos para la presente investigación, de forma general analizar teóricamente las técnicas de biorremediación con lodos con bioestimulación y su posible aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos.

Con ello, a modo de alcanzarla se plantea los siguientes objetivos específicos, tales como: comparar el porcentaje de remoción de aplicación de lodos con bioestimulación en suelos contaminados por hidrocarburos, con base a los resultados de las investigaciones; del mismo modo describir la relación del pH con la densidad de las bacterias y su influencia en la remoción de hidrocarburos en suelos contaminados; describir las ventajas y desventajas de la técnica de biorremediación con lodos y bioestimulación para suelos contaminados por hidrocarburos, y por último, formular una propuesta ambiental de biorremediación con lodos activados para mejorar la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en el departamento de Loreto.

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1. Tipo de investigación

Investigación Descriptiva

En la actualidad, existen 2 tipos muy marcados de investigación, la tesis experimental y, por el otro, la tesis descriptiva, aquella que se basa en información recolectada permitiendo dar solución a un problema como el caso del presente trabajo, definición similar a la que nos brinda Tamayo M. (2002), que la describe como aquella que trabaja sobre ciertas realidades ya sea un hecho, característica o fundamento que permita presentar una interpretación correcta de lo que estamos investigando. De tal modo que, para desarrollarla como lo explica Bernal (2006) nos guiamos de la pregunta planteada por el investigador mediante el uso de diversas técnicas como el desarrollo de encuestas o entrevistas, así como el método de la observación o la revisión documental, siendo esto último lo que se desarrolla en el presente trabajo.

2.1.1. Diseño de Investigación

Este trabajo de investigación será de diseño no experimental, puesto que, tal y como lo afirma Tamayo M. (2002) este tipo de diseño te permite determinar el grado en que las variaciones de uno o más factores de un trabajo son concomitantes en la variación o diferencia del otro u otros, lo que indica la importancia que radica al relacionar estas variables. Pero si bien no es apta para aplicaciones experimentales, este tipo de diseño te permite relacionar múltiples variables en situaciones como, por ejemplo, la observación.

En el caso de este proyecto de investigación, la relación que existirá y se expresará de manera teórica serán con las variables de Biorremediación y Lodos, lo que se podría expresar como que al variar los indicadores de una variable (Ver ANEXO 3) el desarrollo de otra podría ser afectado de manera positiva o negativa.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Base de datos conformada por 30 investigaciones, entre trabajos descriptivos y experimentales que cuenten y brinden la información necesaria sobre el tema de tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos y otros elementos, además, que sean aplicadas las dos técnicas evaluadas o afines en la presente investigación.

2.2.2. Muestra

Registro de los resultados y conclusiones de un total de 15 documentos de trabajos experimentales de suelos contaminados específicamente con hidrocarburos o sus derivados, luego de realizar un filtro detallado que muestren los indicadores expuestos en la matriz de operación de variables (VER ANEXO 3), además, que se apliquen las técnicas de biorremediación con lodos y la bioestimulación a modo de comparación y; que sean trabajos desarrollados durante los últimos 15 años partir de la fecha de la presente investigación tanto en Perú como en otros países para lograr el manejo de su data numérica y obtener el desarrollo deseado.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnica

El presente trabajo será desarrollado a partir del análisis documental a través de la recopilación de información de diversos documentos que facilitarán la aplicación y uso de estos para la extensión sobre el tema, teniendo como base la metodología PRISMA, ya que, el metaanálisis a realizar nos permitirá responder de manera concreta los objetivos planteados por medio de la valoración de los datos que lleguemos a obtener.

2.3.2. Instrumentos

Según la técnica que se empleará en el desarrollo de esta investigación, el principal instrumento será una matriz creada por los autores, el cual permitirá evidenciar la base de datos en su totalidad, esto quiere decir que los elementos principales serán los resultados que obtuvieron los autores con respecto a los parámetros y porcentajes de remoción del contaminante, que en este caso serían los hidrocarburos, además, se presenta un cuadro con el título de Matriz de Instrumentos, el cual, muestra los diferentes ítems en relación a las variables de forma general para evidenciar que tanto se encuentran estos indicadores de la matriz de operación y variables en nuestros documentos. Esto, con la finalidad de obtener los parámetros que forman parte de los resultados de los trabajos experimentales de diversos autores, que enriquecerán el contenido y nos llevará al mismo tiempo, luego de desglosar esta información, a lograr los objetivos planteados en la investigación.

2.4. Procedimiento

Si bien se encuentra establecida una técnica e instrumento que serán utilizados para el desarrollo de la presente investigación, Análisis documental y Base de Datos respectivamente, para ello se requiere que la información recolectada atraviese un filtro preestablecido por los autores de dicha investigación.

Criterios de Selección

Criterios de inclusión

En primer lugar, los documentos recolectados para los resultados deben ser de tipo experimentales, ya sea de tesis doctorales, tesis de pregrado o, en última instancia, artículos científicos completos. Además, las fuentes utilizadas para la búsqueda detallada de los documentos deben ser especializadas o tituladas como fuente de información confiable, como es el caso de Scielo, Redalyc, Dialnet, entre otros, lugar de donde fueron extraídos los documentos de la presente investigación.

Por otro lado, de manera primordial deberán contar con la información de una de nuestras variables establecidas en la matriz operacional de variables, “Biorremediación” y “Lodos”. Y, finalmente, de manera adicional a lo mencionado en el primer criterio, aquellos documentos que sean de la clasificación de “artículos” deberán contar con la metodología de investigación completa y mostrar la capacidad de evaluación y desarrollo del tema por parte de los autores, del cual nos basaremos para el desarrollo del trabajo.

Criterios de exclusión

Con respecto al primer criterio de inclusión, los documentos deben ser del tipo que se menciona, de modo que, si no cumple con esto el investigador se verá en la obligación de descartarlo de la base de datos. Otro de los criterios de exclusión se relaciona a la antigüedad, es decir, el año de publicación del documento debe encontrarse en un rango no mayor de 15 años al año de estudio, en este caso del 2005 al 2020.

Procedimiento de análisis de datos

Técnicas de Biorremediación

Una vez separadas las investigaciones se pretende cerca del 50% sean trabajos desarrollados con la técnica de biorremediación aplicando lodos y el restante de ellos sean documentos referidos a investigaciones de esta misma técnica, pero con una rama diferente, correspondiente a la bioestimulación.

Gráficas

Una vez terminado el procedimiento anterior, se pasará a extraer los datos numéricos en la ficha correspondiente (ver Anexo 5), analizarlos y con ello crear los gráficos necesarios para ver cuál de los proyectos e investigaciones tuvo resultados más resaltantes tanto para aquellos que pertenecían a la técnica de lodos como la de bioestimulación, que, a pesar de no ser las mismas variables en su totalidad, permitirá a los investigadores a generar una idea más concisa del procedimiento adecuado y los valores cuantitativos para la remediación de suelos contaminados específicamente con hidrocarburos en el departamento de Loreto, de modo que, todo esto en conjunto facilite obtener una discusión concisa y bien argumentada para cumplir con los

objetivos planteados de la investigación y desarrollar la propuesta para la aplicación en el suelo de nuestro sitio de estudio.

El siguiente estudio de investigación tiene como aspecto ético respetar la autenticidad de la información adquirida, así mismo, seguir el procedimiento de referenciado y citado según la norma APA, no obstante, esta información adquirida fue fundamental para poder culminar con los resultados de dicha investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En la presente investigación, han sido planteados un total de 4 tablas y 6 figuras para el desarrollo de los respectivos objetivos propuestos, a manera que, con todo ello se evalué las técnicas de biorremediación con lodos con bioestimulación y su posible aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos. Para ello, se realizó el análisis de 15 documentos experimentales sobre el tema, obteniendo los siguientes resultados.

3.1. Comparación de los porcentajes de remoción de aplicación de lodos con bioestimulación en suelos contaminados con hidrocarburos

Tabla 1: *Concentración inicial y final de suelos contaminados con hidrocarburos (mg/kg) para tratamiento con lodos.*

CATEGORÍA	AUTORES	AÑO	TIEMPO	Compuesto Orgánico Hidrocarburos		
				INICIAL	FINAL	
	1	Araujo	2006	5 meses	38650	3865
	2	Ramírez	2006	1 mes	14000	3971
	3	Gutiérrez	2010	4 meses	2597	1038
Lodos	4	Martínez	2011	4 meses	25550	1789
	5	Silvana	2016	4 meses	8714	941.1
	6	Gerónimo	2017	3 meses	9354	4690
	7	Villena	2019	3 meses	10468.67	1075

Nota: Cada fila corresponde a los datos extraídos por los documentos con tratamiento de biorremediación por lodos, algunos de los resultados de cada autor tenían una unidad diferente al de la mayoría, pero, decidió trabajarse en mg/kg realizando las conversiones necesarias para no alterar los datos numéricos que nos brindaban en un inicio.

Tabla 2: *Concentración inicial y final de suelos contaminados con hidrocarburos (mg/kg) para tratamiento con el proceso de bioestimulación.*

CATEGORÍA	AUTORES	AÑO	TIEMPO	Compuesto Orgánico		
				Hidrocarburos		
				INICIAL	FINAL	
	8	Cabanillas	2015	120 horas	21200	5300
	9	Gómez	2009	3 meses	2148.74	999.13
	10	Mosquera	2009	12 semanas	75882.9	3504.6
	11	Betancur	2013	30 días	6250	501.6
Bioestimulación	12	Salgado	2005	125 días	21344	278.2
	13	Vallejo	2015	60 días	12000	8640
	14	Saucedo	2015	49 días	45000	21000
	15	Meza	2016	49 días	44000	2400

Nota: Cada fila corresponde a los datos extraídos por los documentos con tratamiento de biorremediación por bioestimulación, algunos de los resultados de cada autor tenían una unidad diferente al de la mayoría, pero, decidió trabajarse en mg/kg realizando las conversiones necesarias para no alterar los datos numéricos que nos brindaban en un inicio.

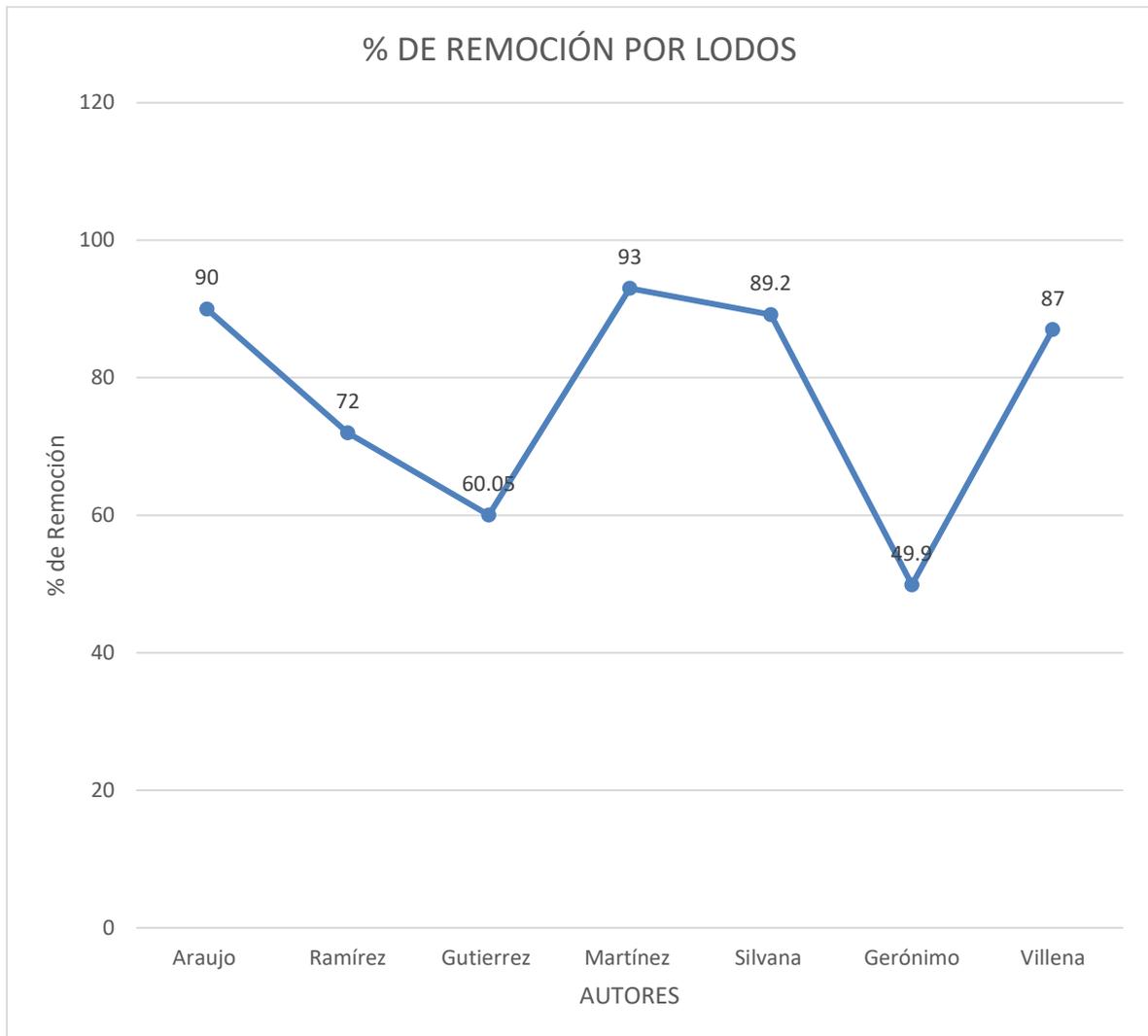


Figura 1: Porcentajes de remoción de hidrocarburos de los tratamientos con lodos

Nota: El resultado más alto fue correspondiente al trabajo de Martínez con un 93% de remoción de hidrocarburos y este se logró durante 4 meses de tratamiento. Mientras que el más bajo fue el de Gerónimo con 49.9% de remoción de hidrocarburos y este duró solo 3 meses.



Figura 2: Porcentajes de remoción de hidrocarburos de los tratamientos con bioestimulación

Nota: El resultado más alto fue correspondiente al trabajo de Sandoval con un 98.7% de remoción de hidrocarburos, este se logró durante 125 días de tratamiento. Mientras que el más bajo fue el de Vallejo con 28% de remoción de hidrocarburos, este duró solo 60 días.

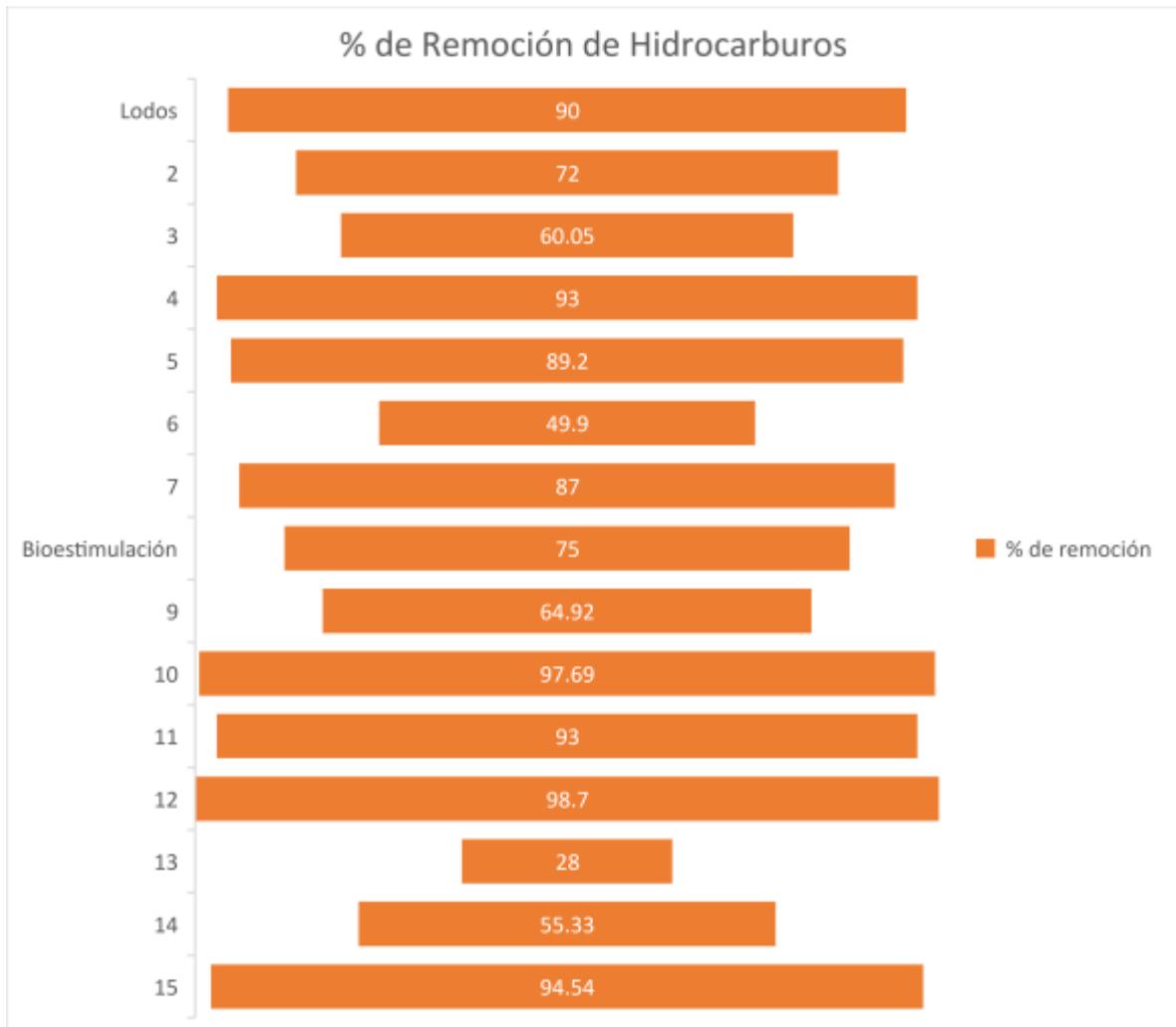


Figura 3: Todos los porcentajes de remoción

Nota: Se muestra todos los porcentajes de remoción que nos dan valores máximos cercanos a 99% y valores muy bajos que oscilan entre 28 y 50% sin referencia a sus autores o tiempo de biorremediación, solo diferenciando el tipo de tratamiento en el que fue adquirido este porcentaje.

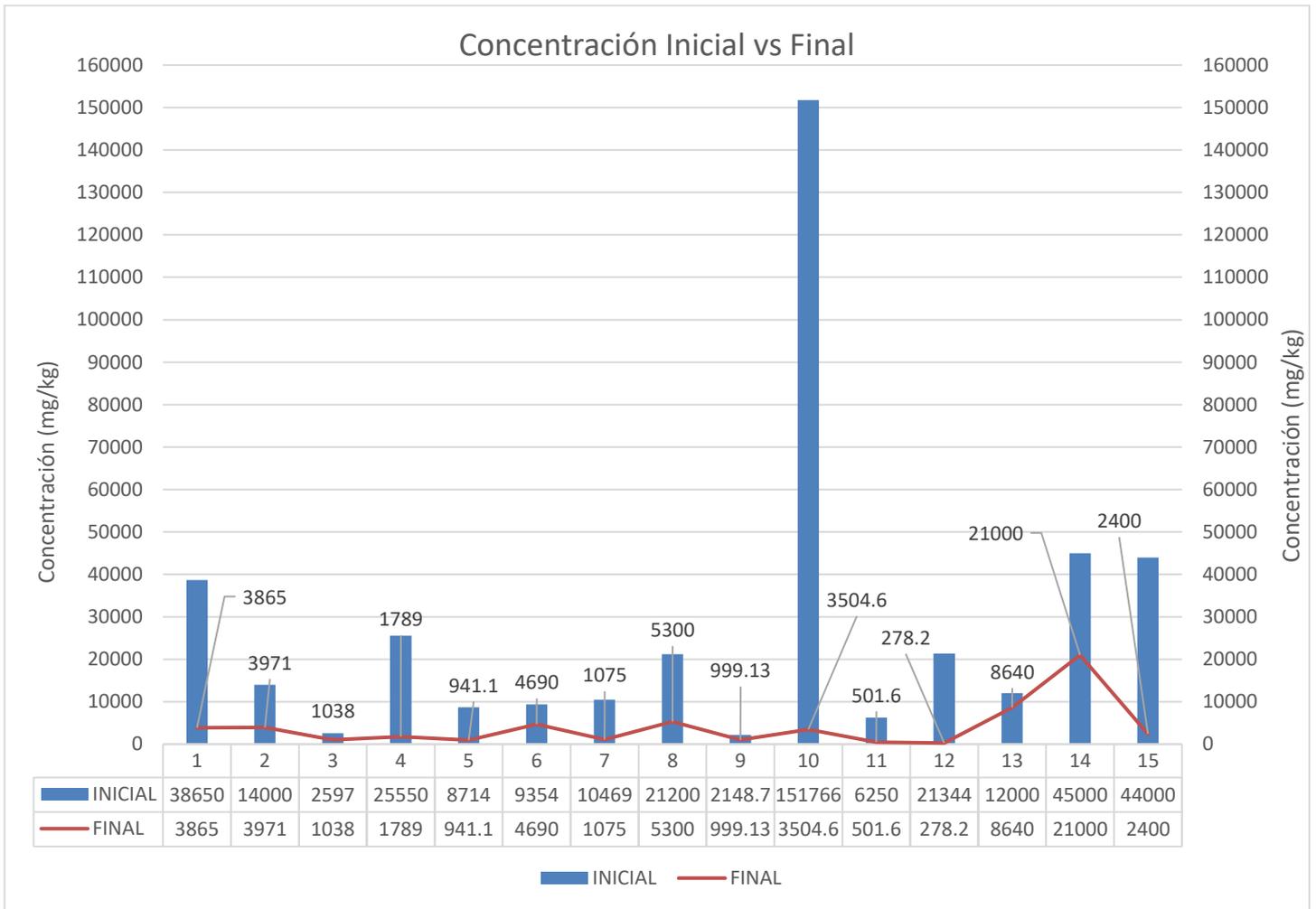


Figura 4: Gráfico de comparación de todos los resultados según su concentración inicial y final de hidrocarburos en mg/kg

Nota: La concentración más alta de todos los trabajos fue de 151 765.8 (mg/kg) y la más baja es de 2 597 (mg/kg), de tratamiento mediante aplicación de lodos y de la técnica de bioestimulación respectivamente.

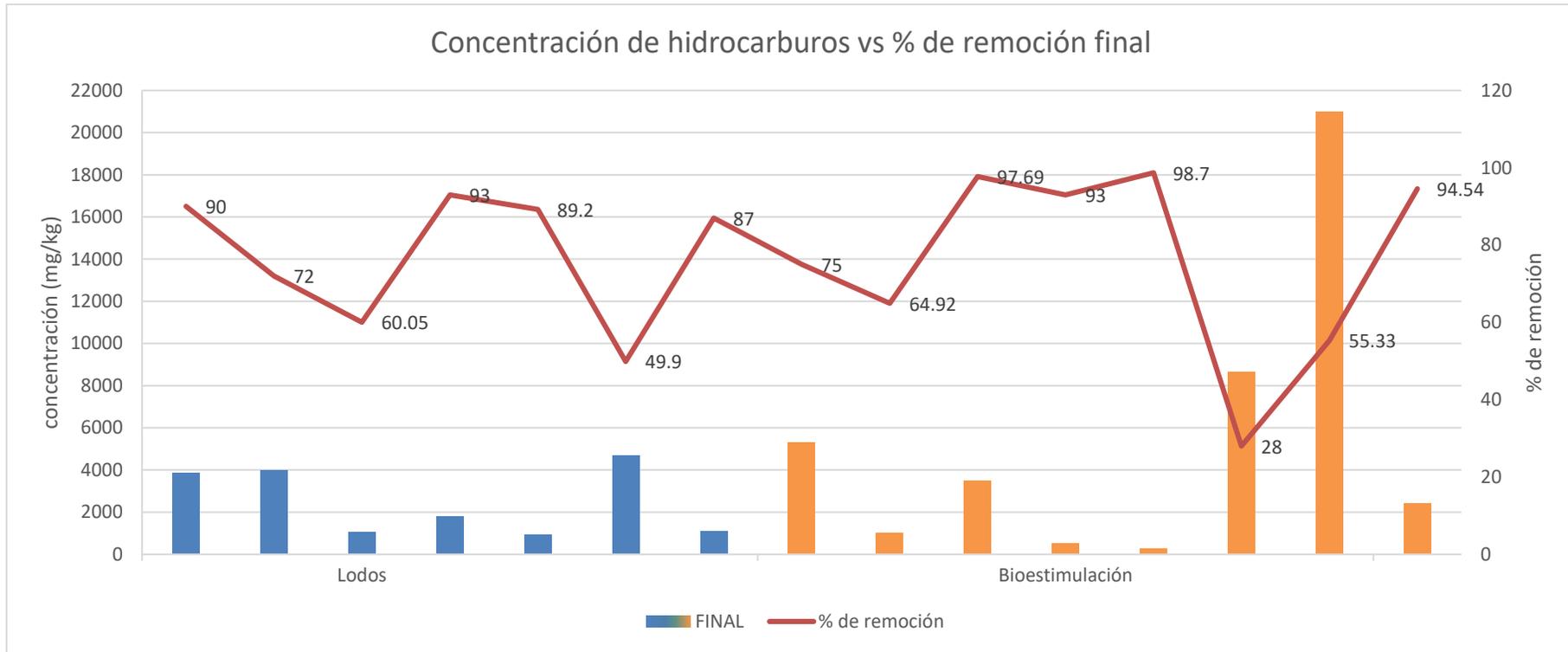


Figura 5: Comparación de los resultados de biorremediación final con el porcentaje de remoción de hidrocarburos para ambas técnicas de tratamiento

Nota: Se muestran los resultados completos de remoción de hidrocarburos en cada uno de los trabajos analizados diferenciando aquellos que pertenecen a la técnica de biorremediación con la de bioestimulación con un código de colores.

3.2. Relación del pH con la densidad de las bacterias y su influencia en la remoción de hidrocarburos en suelos contaminados

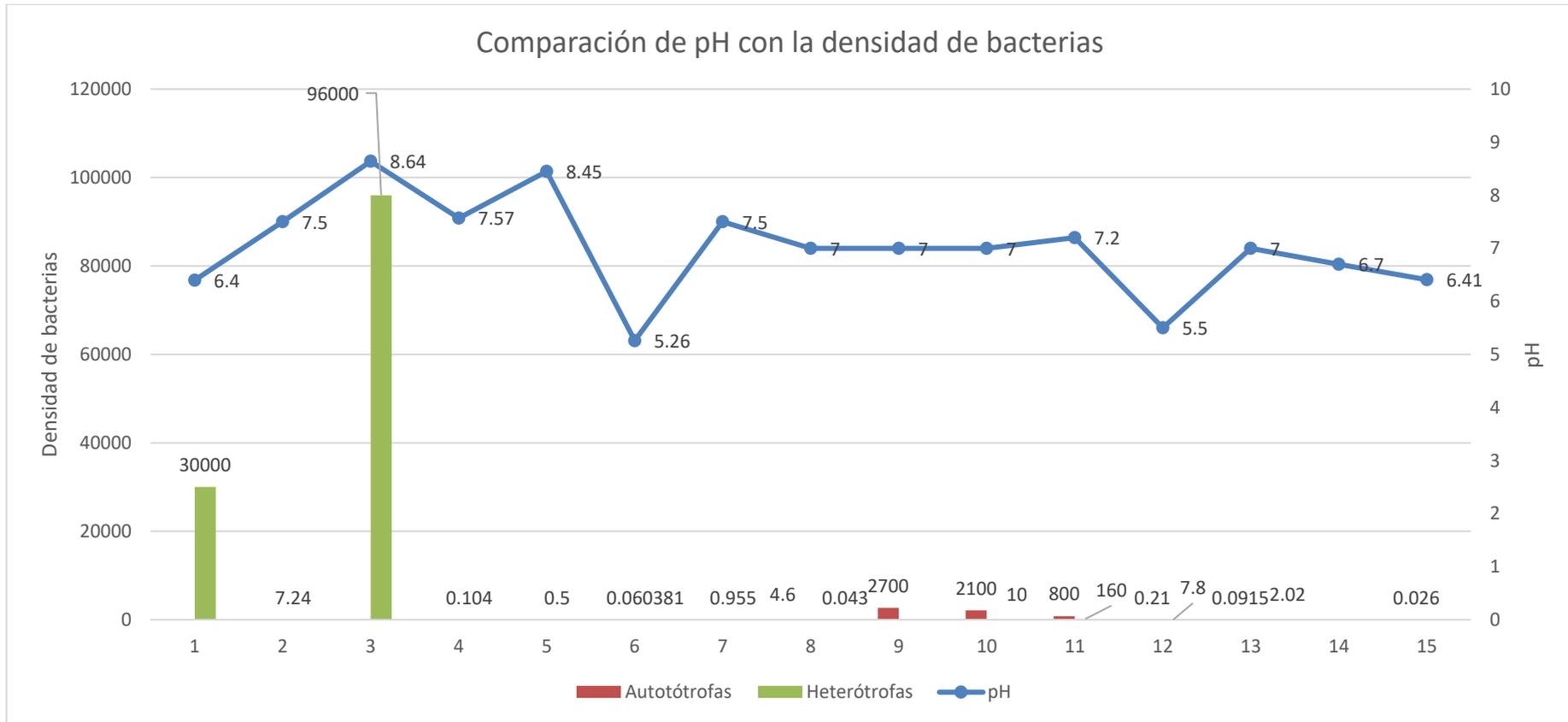


Figura 6: Comparación del pH con la densidad de bacterias autótrofas y heterótrofas

Nota: Para una mejor visualización de este gráfico todas las unidades de densidad de bacterias tanto autótrofas como heterótrofas fueron elevadas a la 6 (10^6).

3.3. Ventajas y desventajas de la técnica de biorremediación con lodos y bioestimulación para suelos contaminados por hidrocarburos

Ventajas	Desventajas
<p>La aplicación de la técnica de biorremediación es una alternativa muy viable para la recuperación de suelos que han sido contaminados o impactados con petróleo u otros contaminantes (Araujo, 2006)</p>	<p>La disminución de los TPH puede influenciar de manera negativa en otros componentes del suelo, teniendo que realizar un nuevo procedimiento para mejorar este desbalance (Ferreira, 2012)</p>
<p>Realizar este procedimiento en una escala laboratorio te permite acercarte a los resultados maximizados en campo, que si bien requieren de otros protocolos y un monitoreo más minucioso es posible llegar a reutilizar los lodos y mejorar la calidad del suelo (Villena, 2019)</p>	<p>Utilizar un procedimiento de remoción de hidrocarburos mediante la aplicación de lodos provenientes de plantas de tratamientos es muy favorable; sin embargo, un desbalance entre el C: N puede ser perjudicial para el crecimiento bacteriano (Silvana, 2016)</p>
<p>Si incluimos un proceso de fitorremediación a la de bioestimulación se encuentra resultados mucho más favorables que aplicándolos por separados, para la recuperación y fertilidad de un suelo como el caso de Meza (2016).</p>	<p>El cambio de valor de pH durante el proceso puede ser un factor limitante o negativo para alcanzar que el tratamiento aplicado de bioestimulación pudiera conseguir la degradación del contaminante (TPH) evitando que la especie utilizada se reproduzca (Vallejo, 2005).</p>
<p>Como ventaja la remediación, así como, es una tecnología de aplicación insitu/exitu también es uno de los procesos con resultados más favorables con respecto a la remoción de hidrocarburos que considera, además, el costo económico que esta requiere. (Cabanillas, 2015)</p>	<p>Como desventaja se tiene que para su efectividad se deben evaluar muchos parámetros ya sea biológico, físicos y microbiológicos constantemente, por tal motivo genera un costo elevado para su análisis, por otro lado, este método es solo para suelos contaminados con hidrocarburos. (Gómez, 2009)</p>

Figura 7: Ventajas y desventajas de las técnicas de biorremediación

3.4. Propuesta de un proceso de biorremediación con lodos para mejorar la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en el departamento de Loreto

TITULO: Propuesta tecnológica empleando lodos como aditivo bioestimulante en suelos afectados por contaminación por hidrocarburo en la zona de Loreto.				
RUBRO	LUGAR	OBJETIVO	ALCANCE	PLAN DE ACCIÓN
Contaminación por hidrocarburos	Perú- Loreto- lote 1- AB	Aplicar lodos como proceso de bioestimulación para la recuperación del área de estudio.	Recuperación de los suelos contaminados de Loreto mediante la tecnología de bioestimulación utilizando lodos activados. Generando un resultado favorable para devolver el suelo a su estado natural en cierta magnitud.	Bioestimulación con lodos activados
Antecedente	En la actualidad la situación de la amazonia peruana (Loreto), se presentan los casos del Lote 1-AB y Oleoducto Norperuano (ONP), con mayor contaminación por hidrocarburo, sin embargo, las actividades comenzaron en el año 1975, donde no existía legislación ambiental generando consecuencias irremediables. El último acontecimiento más llamativo fueron los derrames ocurridos en el año 2016 y 2017 en el oleoducto Norperuano a cargo de PETROPERÚ. Por otro lado, estos son los impactos reportados, ya que clandestinamente estudios afirman que hay muchas más zonas.			
Plan de trabajo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación del área de estudios. 2. Identificación del tipo de contaminantes. 3. Identificación del tipo de biorremediación. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Evaluación de parámetros físicos químicos y biológicos, del lodo residual que actuara como bioestimulante. 3.2. Utilizar el método de bioestimulación. 3.3. Monitorear el procedimiento durante 104 días los siguientes parámetros: ph, Ce, concentración microbiana y HTP. 			
Resultados	Según normativa vigente de ECA suelo N° 011 – 2017 - MINAM, se espera que, con la aplicación de las técnicas de biorremediación en nuestro estudio a nivel experimental, se reduzca el nivel de concentración de los diversos tipos de hidrocarburos existentes en el suelo de Loreto. El ECA para suelo agrícola indica que debe ser menor de 200 mg/kg para fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10), 1200 mg/kg para fracción de hidrocarburos F2 (>C10 – C28) y 3000 mg/kg para fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40), y su índice debe encontrarse por debajo o en la línea permisiva que este decreto nos indica.			

Figura 8: Síntesis de la propuesta de biorremediación con lodos

Nota: Visualizar el anexo 7 para para visualizar la propuesta ambiental completa

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Sin duda la biorremediación es una de las técnicas más eficaces para el medio ambiente, así mismo, una de las más económicas para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos, por ello en los resultados de la figura 1, se observa que el mayor porcentaje de remoción por el método de biorremediación por lodos es de un 93 % durante un periodo de evaluación de 4 meses en donde Martínez, et al. (2011) recalca que el tratamiento más eficaz fue el que contenía lodos residuales (biosólidos) como una fuente alterna de nutrientes, así mismo, tanto la madurez de los lodos como la densidad del material son factores influyentes para aumentar el porcentaje de degradación de hidrocarburos. Por otro lado, la menor remoción de hidrocarburos es de 49.9% (Gerónimo et al. 2017), donde a mayor concentración de lodo activado en suelo mayor es el porcentaje de remoción, en la cual se evidencia un porcentaje bajo debido a que las concentraciones del contaminante son elevadas y eso no permite la degradación adecuada de los hidrocarburos.

No obstante, la mayor remoción para la técnica de bioestimulación según la figura 2 es de 98.7% que según Vallejo et al. (2005), se debe a que los primeros 28 días, se adicionaron nutrientes de N y P en forma de sales inorgánicas simples (SIS) y un fertilizante inorgánico compuesto (FIC) que estimuló la degradación de TPHs, así mismo, que el pH inhibe el crecimiento de heterótrofos y degradadores, que puede reducir la tasa de degradación de TPHs, cabe resaltar que, la adición de estos mismos nutrientes fue la más efectiva debido a su mayor solubilidad y disponibilidad para los degradadores nativos encargados de llevar a cabo el proceso de biorremediación.

Ahora, el menor porcentaje de remoción de hidrocarburos fue de un 28% según Vallejo, et al. (2016), que obtuvo en un periodo de 2 meses, demostrando que independientemente del fertilizante, la adición de nutrientes inorgánicos a la concentración seleccionada (C: N: P 100:10:1) y bajo condiciones óptimas (pH, temperatura, humedad y aireación) se logra estimular la densidad de microorganismos degradadores de TPH's.

Para los resultados de la figura 4 se evaluaron la concentración inicial vs la concentración final, donde se puede apreciar que la mayor disminución de hidrocarburos fue para el tratamiento de bioestimulación de 151765.8 a 3504.6 (mg/kg), donde Mosquera, et al. (2009) utiliza la técnica biológica de Landfarming, que luego de ser aplicada se reintegra los aspectos ambientales obteniendo un suelo con niveles por debajo de los permisibles, generando una cantidad mínima de lixiviados. Además, enfatiza que la población autóctona puede llevar a cabo un proceso de biorremediación por bioestimulación sin implantar colonias adicionales, siempre y cuando se considere una temperatura en rangos óptimos (18°C - 30°C) y en constante riego para mantener la humedad adecuada. Por otro lado, la menor disminución de hidrocarburos fue para el tratamiento de lodos donde tuvo una concentración inicial y final de 2597 a 1038 (mg/kg) para Gutiérrez et al. (2010) donde recalca que los lodos en una muestra remueve los hidrocarburos con mayor éxito de las que no, dado que los nutrientes que contienen incrementa la población y/o actividad microbiana, además, menciona que a mayor tiempo menor presencia de hidrocarburos y en este caso la temperatura no conto como una variable determinante para obtener resultados favorables como este.

Por otro lado, en la figura 6, la relación del pH con la densidad de bacterias autótrofas y heterótrofas, el mejor tratamiento fue el para lodos a un pH de 8.64 y un crecimiento bacteriano de 96000 (UFC/ml (10^6)) de bacterias heterótrofas en donde Gutiérrez, et al. (2010) recalca que el crecimiento de las mismas se debe al tiempo en el cual se permite un ciclo de crecimiento completo de las poblaciones bacterianas y a la presencia de lodos, ya que, a mayor presencia de estos mayor es el crecimiento de bacterias heterótrofas y proporcionalmente el TPH disminuye en las muestras analizadas, por el contrario, el pH no es factor o un buen indicador del proceso de biodegradación ya que se sobresale del rango establecido entre 6 y 8. Opuesto a ello, la menor cantidad de bacterias heterótrofas fue a un pH de 5.26 con una cantidad de 0.0603 (UFC/ml (10^6)) donde Gerónimo, et al. (2017), afirma que esto se debe a que el pH de 5.0 representa una importante disminución de crecimiento microbiano, así mismo, al inicio del tratamiento el crecimiento se vio afectado por la adición del lodo, ya que, este posee su propio conjunto de consorcios microbiano que en cierta forma compiten con la flora nativa del suelo contaminado y, además, influyo la ausencia de nutrientes, como el nitrógeno que sirve como su alimento principal limitando así el crecimiento de las bacterias.

Según la figura 7 estos procesos de biorremediación por lodos y bioestimulación tienen ciertas ventajas y desventajas; una de las grandes ventajas según Araujo (2006) esta técnica es una alternativa muy viable para la recuperación de suelos que han sido contaminados o impactados con petróleo u otros contaminantes; sin embargo; podremos encontrarnos con el caso de que ocurra un desbalance de porcentajes de C:N llegando a ser perjudicial para el crecimiento bacteriano requerido según lo indica Silvana (2016),

asimismo, debemos prestar atención al valor del pH durante el proceso ya que puede llegar a ser un factor limitante al tratar de alcanzar la degradación del contaminante tal y como lo indica Vallejo (2005). Y, por último, según Cabanillas (2015) otra de las ventajas de la remediación, es que, nos permite obtener resultados muy favorables para la remoción de hidrocarburos que considera un aspecto económico bajo para su aplicación.

Las implicancias de esta investigación se basa en que estos procesos de biorremediación, tanto la aplicación de lodos con bioestimulación y este último de manera individual, van a disminuir la cantidad de hidrocarburos en suelos permitiendo así llegar a los estándares de calidad ambiental para el mismo, establecidos en el ECA, recuperando así sus propiedades, esto se debe a que los microorganismos que se desarrollan durante todo el proceso utilizando estos lodos como estimulantes para su proceso de degradación del contaminante, lo cual lo planteado concuerda con Villena (2019). Es por ello que, según la figura 8, la propuesta ambiental de biorremediación con lodos que se plantea es viable a nivel de campo en la aplicación de un área contaminada determinada, como la zona de Loreto la cual se encuentra contaminada con hidrocarburos, dado que lo planteado con Villena (2019), en su estudio semejante a nuestra propuesta ambiental, que a partir de los resultados obtenidos demuestra que puede minimizar los componentes contaminantes en el suelo, que en este caso vendría a ser los hidrocarburos, donde la carga microbiana de los lodos tuvo influencia en el aumento del número de bacterias en las muestras generando mayor velocidades de degradación del hidrocarburo por otro lado, la reducción de concentración de

hidrocarburos debido a las distintas composiciones de las muestras (mezcla con lodos) influyó en la remoción total del contaminante.

Finalmente, las limitaciones de este estudio fue la ausencia de los trabajos que se inclinen a la evaluación de los suelos ubicados en Loreto donde daten la realidad cuantitativa de los contaminantes y aplicación de la biorremediación de estos en conjunto a sus resultados para ver qué tan efectivo fue la aplicación de este tipo de tecnologías. Es por ello que, se recomienda hacer un estudio en la zona contaminada de Loreto en la cual se evidencie cuáles son las concentraciones de hidrocarburos presentes en el suelo para obtener un mayor conocimiento sobre el grado de daños producidos y estimar de esa forma un resultado más realista con datos reales y aplicar una propuesta que se adapte a la zona y a sus necesidades y/o objetivos de las investigaciones que la apliquen.

4.2. Conclusiones

Se analizó las diversas investigaciones sobre las técnicas de biorremediación, en la cual el proceso de bioestimulación con lodos es más efectiva para reducir la concentración de hidrocarburos en suelos contaminados, por lo cual, la combinación de técnicas obtuvo un resultado formidable no solo para la reutilización de lodos sino para la recuperación del suelo y permitir a este mantener los estándares correspondientes a sus orígenes de estudio.

Con respecto a la comparación de los valores de remoción de hidrocarburos mediante el uso de lodos se obtuvo que, el mayor porcentaje de remoción fue de 93% de remoción de hidrocarburos y, con respecto al valor más bajo fue de 49.9%. Ahora bien, para la

biorremediación mediante la bioestimulación, el valor más alto fue de 94.54% mientras que el más bajo fue de 28%.

La relación encontrada entre pH y crecimiento microbiano, evidencia que están directamente proporcional y oscilaron en un valor de 5.2 a 8.7 lo que se consideraría óptimo para el crecimiento de las bacterias tanto autótrofas como heterótrofas, favoreciendo así una remoción entre el 66 y 93%, sin embargo, el factor de pH es muy determinante ya que mejora el recuento de heterótrofos obteniendo una remoción de casi del 99%.

Se evidencia que los procesos de biorremediación con lodos presentan varias ventajas los cuáles hacen factible su aplicación en campo, y también se encuentran ciertas dificultades como depender del tipo de contaminante que se encuentre en el suelo estudiado y entre ello la concentración del mismo sumado al tiempo que este conllevaría a ser remediado.

Por último, se realizó una propuesta ambiental para poder aplicar este análisis a un nivel de campo o en futuros estudios, debido a su factibilidad para ser aplicados en suelos contaminados por hidrocarburos de la región de Loreto, la cual mejorará la calidad de sus suelos y estilo de vida, ya que gracias a estudios similares aplicados a suelos contaminados con hidrocarburos, tuvieron un excelente resultado, logrando una biorremediación aplicable y viable para dicha zona contaminada, mejorando la calidad de suelos que pueden ser utilizados para ciertas actividades como la agricultura.

REFERENCIAS

- Álvaro C.; Arocena L.; Martínez M. y Nudelma N. (2016) *Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina*. SCIELO. Revista: Internacional de Contaminación Ambiental. Doi: <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.06>
- Alaña Castillo, T. P., Capa Benítez, L. B., & Sotomayor Pereira, J. G. (2017). *Desarrollo sostenible y evolución de la legislación ambiental en las MIPYMES del Ecuador*. Universidad y Sociedad. Recuperado de: <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Ángeles, O. (2018) *Situación actual de la contaminación por actividades de hidrocarburos en la selva peruana*. Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. Recuperado de: <https://1library.co/document/qvj9r2gq-situacion-actual-contaminacion-actividades-hidrocarburos-selva-peruana.html>
- Araujo I.; Montilla M.; Cárdenas C.; Herrera L.; Angulo N. y Morillo G. (2006) *Lodos Estabilizados y cepas bacterianas en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. REDALYC. Venezuela. Revista de Ciencia y Tecnología de las Américas. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911506>
- Bernal, C. (2006) *Metodología de la Investigación*. Colombia. 3er Edición. Editorial: PEARSON. Recuperado de: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%c3%b3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>

Betancur B.; Pino N.; Peñuela G. y Cardona S. (2013) *Biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: caso DDT*. REDALYC. Colombia. Revista: Gestión y Ambiente. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169429726008>

Cabanilla J. y Pissani V. (2015) *Efecto de la bioaumentación y bioestimulación en la eficiencia de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo*. Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/456>

Calcina L. y Hidalgo B. (2011) *Conectividad y acceso a las tecnologías de información y comunicación en la Amazonía rural peruana: caso de la cuenca del Río Napo*. Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Doi: [10.24841/fa.v23i2.23](https://doi.org/10.24841/fa.v23i2.23)

Covarrubias S.; García B. J. y Peña C. (2015) *El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados*. REDALYC. México. Revista: Manghinos, Río de Janeiro. Doi: [10.15174/au.2015.907](https://doi.org/10.15174/au.2015.907)

Cuvi N. y Bejarano M. (2014) *Los halos de inhibición en la remediación de suelos amazónicos contaminados con petróleo*. SCIELO. Ecuador. Revista: ACT Universitaria. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702015000500009>

Decreto Supremo N° 008-2005-MINAM (28 de enero del 2005) Reglamento de la ley N°28245 - Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Diario Oficial El

Peruano (2005) <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-ley-ndeg-28245-ley-marco-sistema-nacional-gestion-ambiental>

Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM (23 de marzo del 2013) *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. Diario Oficial El Peruano (2013)

https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_002-2013-minam-fe-erratas.pdf

Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM (2 de diciembre del 2017) *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. Diario Oficial El Peruano (2017)

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>

Díaz I.; Muy R.; Rubio C. y Armendáriz A. (2010) *Aplicación de lodos de procesos de potabilización como mitigantes de la sodicidad en suelos agrícolas*. Recuperado de REDALYC. México. Revista: Ingeniería. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46715068002>

FAO (1996) *Ecología y Enseñanza Rural*. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Recuperado de: <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s10.htm>

Ferreira N.; Santos O. y Pessoa F. (2012) *Biorremediación de un suelo tropical contaminado con residuos aceitosos intemperizados*. SCIELO. Brasil. Revista: Internacional de Contaminación Ambiental. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n1/v29n1a2.pdf>

Gerónimo A.y Vasquez C. (2017) *Determinación de la eficiencia de biorremediación con lodos activados en suelo contaminado por hidrocarburos*. Perú. Universidad Nacional del Callao. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3255>

Güiza Suárez Leonardo (2011). *Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia*. Opinión Política. SCIELO. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ojum/v10nspe/v10nspea08.pdf>

Gómez W.; Gaviria J. y Cardona S. (2009) *Evaluación de la Bioestimulación frente a la atenuación natural y la bioaumentación en un suelo contaminado con una mezcla de gasolina – diesel*. REDALYC. Colombia. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49612068032>

Gutiérrez L. (2010) *Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos usando lodos residuales estabilizados y fertilización*. Perú. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7733>

INECC (2007) *Fuentes de Contaminación en México*. Recuperado de: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/fuentes.html>

INEI (s.f.) *Gestión Ambiental*. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/cap08.pdf

Osinergmin (2015) *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país*. Perú. Recuperado de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios Economicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidos-Peru.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidos-Peru.pdf)

Martínez P.; Pérez L.; Pinto E.; Gurrola N. y Osorio R. (2011) *Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes*. SCIELO. México. Revista: Internacional de Contaminación Ambiental. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000300009&lng=es&tlng=es

Melo, A.; Rodríguez A.; González J. (2017) *Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay*. Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.1851>

Meza, J.; Rico, J.; Ruiz, E.; Sánchez, J. (2016) *Bioestimulación de suelo contaminado con 40000 ppm de aceite residual automotriz y fitorremediación con Cicer arietinum y Burkholderia cepacia*. SCIELO. México. Recuperado: http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v7n2/v7n2_a05.pdf

MINAM (2015). Guía para la elaboración de Estudios de evaluación de riesgos a la salud y el Ambiente (ERSA) en sitios Contaminados. Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/GUIA-ERSA-ALTA.compressed.pdf>

Mosquera S.; Serrano J.; Cárdenas G. (2009) *Biorremediación de lodos de una planta regeneradora de Aceites Lubricantes Usados, recuperando el suelo para uso industrial*. Ecuador. Revista: Ecuador. Recuperado de: <https://acortar.link/JjreME>

Parra F.; Manrique L.; Martínez V. (2019) *Derrames de petróleo y afectación a la salud materno infantil en pueblos indígenas de la Amazonía peruana: un análisis exploratorio desde los determinantes de la salud*. Universidad del Pacífico. CIES. Recuperado de: https://www.cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/derrames_de_petroleo_-_parra_manrique_martinez.pdf

Ramírez A.; Bautista G. e Iturbe R. (2006) *Rehabilitación de Suelo contaminado con Hidrocarburos mediante la aplicación de lodos*. México. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n3/v27n3a9.pdf>

Rodríguez I. (2013) *Reciclado en suelos de lodos de refinería: Nuevas aproximaciones para la biodegradación de Hidrocarburos mediante el manejo de enmiendas Orgánicas*. España. Universidad de Murcia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10803/128510>

Rodríguez N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019) *La contaminación del Suelo: una Realidad Oculta*. Roma, FAO. Recuperado de:
<http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

Saucedo, B.; Márquez, L; Sánchez, M. (2016) *Biostimulation of a soil impacted by waste car oil and phytoremediation with Zea Mays*. SCIELO. México. Recuperado de
<https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a3>.

Singh R. y Celin S. (2010) *Biodegradation of BTEX compounds by bacterial strain under aerobic conditions*. *Revista de Ecobiotecnología*. Recuperado de:
<https://updatepublishing.com/journal/index.php/jebt/article/view/57/56>

Silvana A.; Arocena L. y Martínez M. (2016) *Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina*. REDALYC. Revista: Internacional de Contaminación Ambiental. Doi: <https://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.06>

Suarez; M. (2013) *Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Colombia. Recuperado de:
<https://hdl.handle.net/10901/10607>

Tamayo M. (2002) *El Proceso de la Investigación Científica*. Editorial Limusa. México.
Recuperado de:

<https://cucjonline.com/biblioteca/files/original/874e481a4235e3e6a8e3e4380d7adb1c.pdf>

Trujillo T. y Ramírez Q. (2012) *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia*. DIALNET. Colombia. Revista: Investigación Agraria y Ambiental. Doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.952>

Vallejo V.; Salgado L.; Roldan F. 2005). *Evaluación de la bioestimulación en la biodegradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo*. Colombia. REDALYC. Revista colombiana de biotecnología. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77670209>

Vargas, G.; Vasquez, J. (2018) *Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo*. Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10983/16425>

Vásquez M.; Guerrero J.; Quintero A. (2010) *Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados*. Colombia. REDALYC. Revista: Colombiana de Biotecnología. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77617786014>

Villena, J. (2019) *Efecto de la aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de biorremediación de un suelo contaminado por combustible diésel*. Perú. Universidad Científica del Sur. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12805/827>

Yagnentkovsky; N. (2011) *Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados*. Argentina. Doi: <https://doi.org/10.35537/10915/2706>

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Instrumentos

MATRIZ DE INSTRUMENTO

TITULO: Biorremediación con adición de lodos en la contaminación de suelos en el departamento de Loreto, 2020.

Variable	Dimensión	Indicador	Ítems	Opción de Respuesta				
				Nunca	Casi Nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
BIORREMEDIACIÓN	Aplicación	Concentración Tipo de contaminante Tiempo de efectividad	¿La concentración tiene relación directa con la primera variable?					X
	Contaminante		¿El tipo de contaminante se encuentra relacionado a la capacidad de la primera variable?				X	
	Efectividad		¿El tiempo de efectividad influye de manera directa con la variable de biorremediación?					X
LODOS	Lodos 1º(primario)	pH Bacterias patógenas	¿La información recopilada cuenta con los datos del indicador de pH?				X	
	Lodos 2º(secundario)		¿La información recopilada permite establecer una conexión del pH con la segunda variable?				X	
	Lodos 3º(terciario)		¿Las bacterias patógenas son un indicador de la concentración para la segunda variable?				X	
	Lodos activados		¿Los indicadores son complementarios entres sí a modo que complemente las definiciones de las variables?			X		

ANEXO 2: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

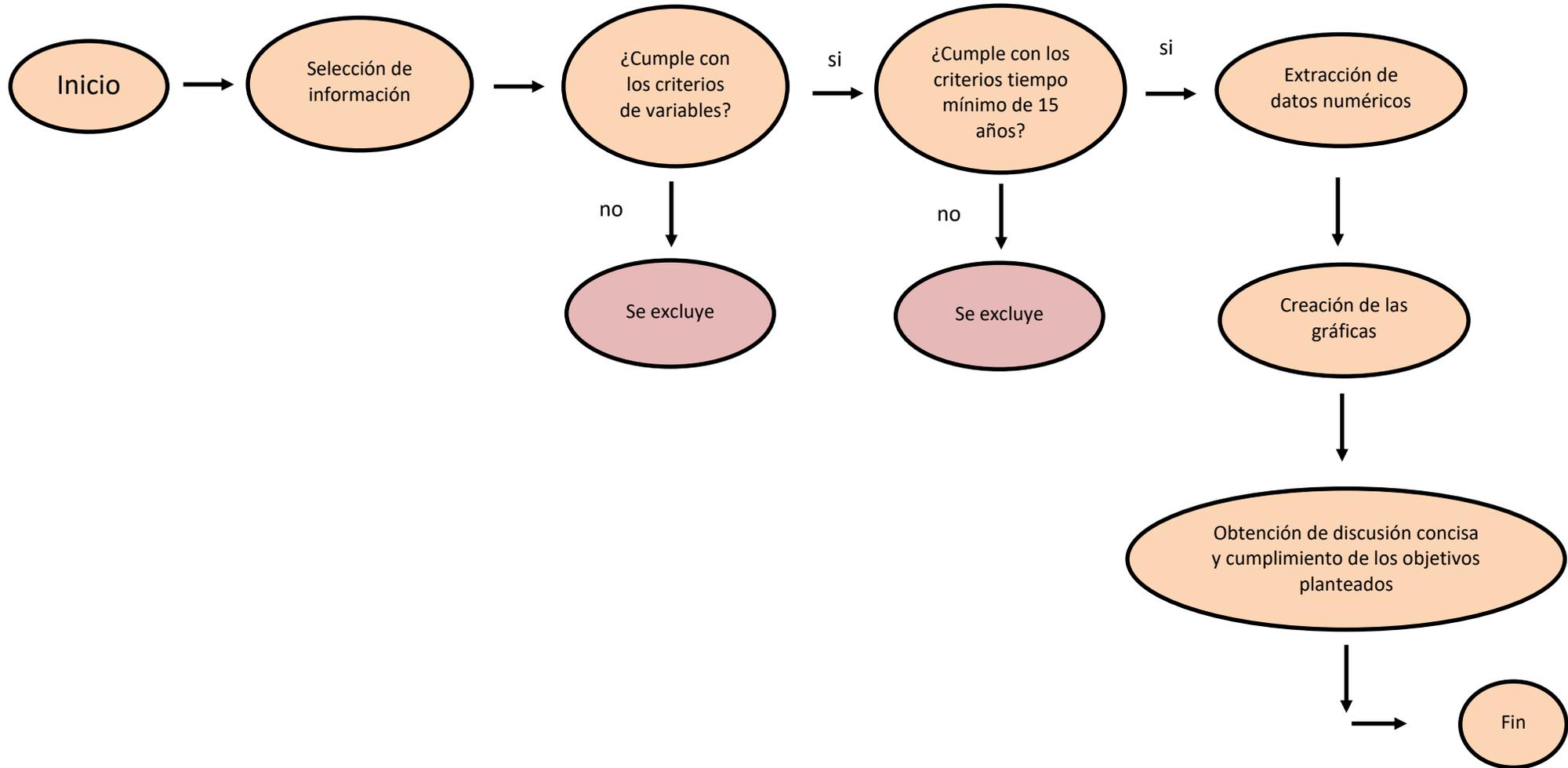
ESTUDIANTES:	Ramírez Silva Kevin	Yarlequé Villacrez Valeria			
TITULO	Biorremediación con adición de lodos en la contaminación de suelos en el departamento de Loreto, 2020.				
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cuáles son las técnicas de biorremediación más eficientes para su aplicación en suelos con hidrocarburos?	Implícita	<p>General: Analizar teóricamente las técnicas de biorremediación con lodos con bioestimulación y su posible aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos.</p>	Biorremediación	<p>Tipo de investigación: Descriptiva</p>	Suelos contaminados en el Perú
		<p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comparar el porcentaje de remoción de aplicación de lodos con bioestimulación en suelos contaminados por hidrocarburos. - Describir la relación del pH con la densidad de las bacterias y su influencia en la remoción de hidrocarburos en suelos contaminados - Describir las ventajas y desventajas de dos técnicas de biorremediación para suelos contaminados con hidrocarburos. - Formular una propuesta ambiental de biorremediación con lodos activados para mejorar la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en el departamento de Loreto. 	Lodos activados	<p>Diseño: No experimental</p> <p>Técnica: Análisis Documental</p> <p>Instrumento: Base de Datos</p> <p>Método de Análisis de Datos: Análisis cualitativos de las bases de datos</p>	Suelos contaminados por hidrocarburos en Loreto

ANEXO 3: Matriz Operacional de Variables

MATRIZ OPERACIONAL DE VARIABLES

ESTUDIANTES:	Ramírez Silva Kevin	Yarlequé Villacrez Valeria			
TITULO	Biorremediación con adición de lodos en la contaminación de suelos en el departamento de Loreto, 2020.				
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
BIORREMEDIACIÓN	Proviene del concepto de remediación que hace referencia a la aplicación de estrategias físico - químicas y biológicas para evitar el daño y la contaminación del suelo. (Rodríguez, 2017)	La operabilidad de la biorremediación se da de forma físicas, química y biológica, en donde se aplica diferentes formas ya sea in situ, ex situ, bioventing y airparging, bioslurry, landfarming. (Rodríguez, 2017)	Aplicación Contaminante Efectividad	Concentración Tipo de contaminante Tiempo de efectividad	Ordinal
LODOS	Los lodos o biosólidos son el subproducto resultante del tratamiento biológico de las aguas domésticas, que pueden llegar a causar un gran impacto en el ambiente y a la salud de la población. (SEMARNAT 2005)	La operacionalidad de los lodos radica en que cuando estos no contienen sustancias tóxicas, pueden ser compostados y usados para mejorar la calidad de los suelos y estimular sobre todo a la población microbiana, por ello es utilizado comúnmente en los procesos de biodegradación y bioestimulación de los suelos. (Martínez et al. 2011)	Lodos 1º(primario) Lodos 2º(secundario) Lodos 3º(terciario) Lodos activados	pH Bacterias	Ordinal

ANEXO 4: Diagrama de Bloques



ANEXO 6: Ficha de la preselección de documentos de investigación por año

N°	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
.			
.			
n°			

ANEXO 7: PROPUESTA AMBIENTAL

I. Título

Propuesta tecnológica empleando lodos como aditivo bioestimulante en suelos afectados por contaminación por hidrocarburo en la zona de Loreto.

II. Objetivos

a. General

Aplicar lodos como proceso de bioestimulación para la recuperación del área de estudio.

b. Específicas

- i. Realizar un monitoreo del suelo antes y después del proceso de biorremediación
- ii. Compara los resultados con la norma de calidad de suelos

III. Introducción

La contaminación de suelos con hidrocarburos es un problema debido a que este pierde su capacidad agrícola, además genera enfermedad para los seres que están en contacto con ellos, sin embargo, en la actualidad la situación de la amazonia peruana (Loreto), se presentan los casos del Lote 1-AB y Oleoducto Norperuano (ONP), con mayor contaminación por hidrocarburo, sin embargo, las actividades comenzaron en el año 1975, donde no existía legislación ambiental generando consecuencias irremediables. El ultimo acontecimiento más llamativo fueron los derrames ocurridos en el año 2016 y 2017 en el oleoducto Norperuano a cargo de PETROPERÚ. Por otro lado, estos son los impactos reportados, ya que clandestinamente estudios afirman que hay muchas más zonas.

No obstante, siendo esto el motivo para presentar la bioestimulación con lodos activados como tecnología ambiental, ya que por gran variedad de microorganismos degradadores generara una degradación natural en los suelos contaminados por hidrocarburos, siendo la mejor propuesta ante la problemática que hay en loreto y sus zonas más afectadas.

IV. Alcance

El alcance de esta propuesta es la recuperación de los suelos contaminados de Loreto mediante la tecnología de bioestimulación utilizando lodos activados. Generando un resultado favorable para devolver el suelo a su estado natural en cierta magnitud.

V. Localización de Estudio

Departamento del Perú situado en el noreste del país, en la Amazonía peruana, tiene como capital a la ciudad Iquitos. Limita al norte con Ecuador y Colombia, al este con Brasil, al sur con Ucayali y al oeste con San Martín y Amazonas. Con 368 852 km² de superficie y representa el 28% del territorio de Perú.

VI. Periodo de Ejecución

El periodo de ejecución tiene una duración de 3 meses y 2 semanas, gracias al promedio de tiempo de los estudios encontrados.

VII. Plan de Actividades

a. Identificar el área de estudio

El área de estudio son las zonas más afectadas del departamento de Loreto por el impacto antropogénico de hidrocarburos, como la zona de lote 1- AB y el área que traza el Oleoducto Norperuano en la zona de Loreto.

b. Identificación del tipo de contaminante

Se estudiará la Concentración de HIDROCARBUROS en los suelos de la zona de Loreto como lote 1- AB y el área que traza el Oleoducto Norperuano en la zona de Loreto.

c. Identificación del tipo de biorremediante

Los lodos residuales (biosólidos) empleados fueron recolectados de la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de Loreto, como ejemplo tenemos a la planta de tratamiento de Iquitos construida por la empresa transnacional China International Water & Electric Corp (CWE).

VIII. Análisis Realizados

La biorremediación, es producto de la actividad aeróbica bacteriana y para ello es necesario establecer sus requerimientos nutricionales y físicos.

Lodos residuales, Coliformes fecales (CF), materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT), contenido de carbono, humedad y densidad (ρ), sin embargo, los lodos son residuos peligrosos, por su alto contenido de coliformes.

Suelo a remediar, pH, conductividad eléctrica (CE), concentración de hidrocarburos (como hidrocarburos totales de petróleo, [HTP]), materia orgánica. La concentración de hidrocarburos del petróleo se determinó empleando la cromatografía de gases por un laboratorio certificado por INACAL, el cual cuantifica la concentración de hidrocarburos totales del petróleo mediante un muestreo estratificado en los lugares afectados por hidrocarburos.

Para determinar el pH y la CE, se pesaron 10 g de muestra y se mezclaron con 90 ml. de agua purificada; la muestra se agitó constantemente durante 1 h y posteriormente se realizó la medición con el multiparámetro.

Relación carbono-nitrógeno, para que los microorganismos trabajen de manera adecuada deben tener a su disposición una buena cantidad y relación de nutrientes (macro y micro). La más importante es la de carbono: nitrógeno, por ser macronutrientes, la cual para procesos de biorremediación va de 10:1 a 30:1

IX. Procedimiento de Biorremediación

Etapa 1

Se evaluar los parámetros físicos químicos y biológicos de los lodos residuales, el cual actuaran como fuente de nutrientes estimulando la degradación de los HTP, sin embargo, los microorganismos presentes en los lodos y en el suelo en la degradación, se deberá tener 2 tipos de muestra, esterilizada (en una autoclave a 120 °C y una atmósfera de presión, por 15 minutos) y otra sin esterilizar.

Etapa 2

De acuerdo a lo anterior se estableció el tratamiento de bioestimulación junto con la muestra blanco (por triplicado), Los tratamientos se evaluaron en matrices de 1 kg en frascos limpios de vidrio de 2 L, se taparon con torundas de algodón envueltas en gasa para permitir el paso del aire y todos a capacidad de campo. Por otro lado, la humedad que tiene cada muestra mejorara el metabolismo del microorganismo.

Etapa 3

Por último, cada tres días, por un periodo de 104 días, se monitoreó pH, CE, contenido microbiano y concentración de HTP, fosforo y nitrógeno a cada una de las muestras, comparándola con los estándares de calidad de suelo, para corroborar su eficiencia.

X. Propuesta Económica

RESUMEN DE ACTIVIDADES Y COSTOS						INVERSION
A. COSTOS DIRECTOS						S/.34,840.00
GASTOS PARA LA GESTIÓN DEL PROYECTO						S/.56,330.00
COMPONENTES		1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	S/.34,840.00
Componente 1: monitoreo del proceso de biorremediación		S/.2,580.00	S/.2,580.00	S/.2,580.00	S/.2,580.00	S/.10,320.00
Componente 2: personal a cargo del proyecto		S/.4,880.00	S/.4,880.00	S/.4,880.00	S/.4,880.00	S/.19,520.00
Componente 3: costo del lodo residual		S/.1,250.00	S/.1,250.00	S/.1,250.00	S/.1,250.00	S/.5,000.00
B. COSTOS INDIRECTOS		S/.13,020.00				
GASTOS DE RECURSOS						S/.12,500.00
TRANSPORTE DE LA MUESTRA DIRECTAMENTE DE LORETO						S/.520.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO: A + B + C (Nuevos Soles)						S/.47,860.00

Personal requerido	Número de personal	Primer informe del mes		Segundo informe del segundo mes		Tercer informe del tercer mes		Cuarto informe del cuarto mes		Quinto año de producción de Cedro Rojo (x20ha)	
		Costo unitario	Costo Total	Costo unitario	Costo Total	Costo unitario	Costo Total	Costo unitario	Costo Total	Costo unitario	Costo Total
Ingeniero ambiental	1	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Biólogo	1	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Practicantes de universidad para el monitoreo	2	500	1000	500	1000	500	1000	500	1000	500	1000
Personal para el arado	2	850	1700	850	1700	850	1700	850	1700	850	1700
Muestras de laboratorio	Número de muestra por mes										
Monitoreo de hidrocarburo	12	90	1080	90	1080	90	1080	90	1080	90	1080
Monitoreo de parámetros físicos	12	25	300	25	300	25	300	25	300	25	300

(Continuación de la tabla)

Personal requerido	Número de personal	Primer informe del mes		Segundo informe del segundo mes		Tercer informe del tercer mes		cuarto informe del cuarto mes		Quinto año de producción de Cedro Rojo (x20ha)	
		Costo unitario	Costo Total	Costo unitario	Costo Total						
Monitoreo de parámetros químicos	12	50	600	50	600	50	600	50	600	50	600
Monitoreo de parámetros biológicos	12	50	600	50	600	50	600	50	600	50	600
Costo de recursos	recurso por mes										
Agua (L)	1000	2.5	2500	2.5	2500	2.5	2500	2.5	2500	2.5	2500
Lodos (Kg)	5000	0.25	1250	0.25	1250	0.25	1250	0.25	1250	0.25	1250
Transporte de tierra contaminada de ida y vuelta	2	60	120	50	100	50	100	50	100	50	100
		Total, costo directo por unidad producida	S/ 11,330.00	Total, costo directo por unidad producida	S/ 11,310.00	Total, costo directo por unidad producida	S/ 11,310.00	Total, costo directo por unidad producida	S/ 11,310.00	Total, costo directo por unidad producida	S/ 11,310.00

XI. Cronograma

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Planteamiento del problema	■	■																		
Recopilación de información		■	■	■																
Elaboración del título y objetivos			■	■																
Elaboración del alcance					■															
Redacción de la introducción del proyecto						■	■													
Desarrollo del periodo de ejecución							■	■	■											
Redacción de los análisis realizados									■	■	■									
Redacción del método, técnica y procedimiento para el desarrollo del proyecto													■	■	■					
Elaboración de la parte económica																				■