






Bioremediation of soils contaminated by hydrocarbons using animal manure, a systematic review during the years 2017-2022

Campos-Romero, Felix Moises¹, Bachiller, Li-Villacorta, Marina Jimena¹, Bachiller, Llaque-Fernández Grant Ilich¹, Magister, Valderrama-Puscan Marlon Walter¹, Magister y Calvanapón-Alva Flor Alicia, Doctora¹
¹Universidad Privada del Norte, Perú, n00189791@upn.pe, n00191299@upn.pe, grant.llaque@upn.edu.pe, marlon.valderrama@upn.edu.pe y flor.calvanapon@upn.pe

Abstract– Currently, due to the great worldwide demand for the use of hydrocarbons, serious impacts are caused on fertility, properties and land use, as well as people, flora and fauna. This systematic review aims to analyze studies on the bioremediation of soils contaminated by hydrocarbons using animal manure through the use of the PRISMA methodology in order to collect information that describes the effectiveness of animal manure in the bioremediation of soils contaminated by hydrocarbons. According to the results obtained, cow and bird manure are the most used, presenting 21-99% and 80-96%, respectively, of the percentage of degradation of hydrocarbons in soils. Likewise, the African continent was the one that had the greatest number of studies because it is an area rich in oil. It is concluded that the use of animal manure is an effective, efficient and reliable technique for the removal of hydrocarbons in different types of soils and its percentage of degradation would improve by adding bacterial amendments or plant species.

Keywords- Animal manure, bioremediation, contaminated soils, hydrocarbons, soil recovery

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos utilizando estiércol animal, una revisión sistemática durante los años 2017-2022

Campos-Romero, Felix Moises¹, Bachiller, Li-Villacorta, Marina Jimena¹, Bachiller, Llaque-Fernández Grant Ilich¹, Magister, Valderrama-Puscan Marlon Walter¹, Magister y Calvanapón-Alva Flor Alicia, Doctora¹
¹Universidad Privada del Norte, Perú, n00189791@upn.pe, n00191299@upn.pe, grant.llaque@upn.edu.pe, marlon.valderrama@upn.edu.pe y flor.calvanapon@upn.pe

Resumen– Actualmente, debido a la gran demanda a nivel mundial por el uso de hidrocarburos se ocasionan graves impactos en la fertilidad, propiedades y uso del suelo, así como también a las personas, flora y fauna. Esta revisión sistemática tiene como objetivo analizar estudios sobre la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos utilizando estiércol animal a través del uso de la metodología PRISMA con el fin de recopilar información que describa la efectividad del estiércol animal en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Según los resultados arrojados, el estiércol de vaca y ave son los más empleados, presentando 21-99% y 80-96% respectivamente de porcentaje de degradación de hidrocarburos en suelos. Asimismo, el continente africano fue el que mayor cantidad de estudios tuvo debido a que es una zona rica en petróleo. Se concluye que, el uso de estiércol animal es una técnica eficaz, eficiente y fiable para la remoción de hidrocarburos en distintos tipos de suelos y su porcentaje de degradación mejoraría añadiendo enmiendas bacterianas o especies vegetales.

Palabras Clave- Estiércol animal, biorremediación, suelos contaminados, hidrocarburos, recuperación de suelos.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos, agua y aire a nivel global surge por el impacto antropogénico, particularmente a causa de la explotación de recursos naturales para la obtención de hidrocarburos [1]. El suelo se ve afectado por la degradación química, debido a la acumulación de sustancias tóxicas en concentraciones excedentes al poder amortiguador natural del suelo y modificando sus propiedades negativamente, produciendo la disminución o pérdida la total de la fertilidad del suelo, además de generar impacto negativo social, económico, ambiental y en la salud [2]. La demanda por el uso del petróleo y sus derivados es cada vez mayor, además del proceso de la explotación, las fuentes más contaminantes de vertidos de hidrocarburos son la industria y el transporte, el uso indebido de estos puede llegar a generar riesgos irreversibles ya que poseen alta persistencia a largo plazo en los suelos [3].

El nivel de remoción de un contaminante va a depender de diferentes factores como la presencia de sustrato, micro y macro nutrientes, microorganismos degradadores, condiciones ambientales, grado de contaminación, tipo de contaminante, características del suelo, entre otros [4]. Ante ello, la biorremediación es una técnica de remediación económica, sencilla y eficaz que se basa en la capacidad que tienen los organismos para oxidar y transformar contaminantes, como los hidrocarburos, en productos metabólicos inocuos como dióxido de carbono, agua y/o biomasa, a través de reacciones bioquímicas. Dependiendo del tipo de organismo el contaminante será transformado como fuente de alimento y energía. Por tal motivo, esta es una técnica que no genera daños al entorno como ocurre cuando se usan otros métodos físicos o químicos [5]. Entonces, la biorremediación de suelos contaminados surge de la necesidad de disminuir el impacto ambiental negativo de los derrames de hidrocarburos de manera estratégica con el fin de restaurar el suelo y su calidad ambiental, productiva y económica [6].

Una forma de restaurar la capacidad productiva del suelo, es a través de la incorporación de la materia orgánica, ya sea en forma de estiércol, abono o composta, debido a que proporcionan y mejoran las condiciones de fertilidad, pH, capacidad de retención de nutrientes y agua [7]. El estiércol animal es un recurso valioso que ayuda a completar el ciclo de nutrientes y permite que la mayor parte del nitrógeno fijado por las leguminosas y cosechado en forma de forraje pueda regresar al suelo, disponible para próximos cultivos. Este abono mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, siendo una fuente importante de nutrientes y energía para el ecosistema edáfico [8]. Por lo que, el abono animal disminuye la necesidad de la dependencia de productos químicos artificiales en los diversos cultivos al ser una alternativa fiable y sostenible, contando actualmente con una gran importancia en la agricultura [9].

El motivo de esta revisión sistemática surgió por la preocupación de remediar los suelos contaminados por hidrocarburos o sus derivados, ya que estos además de generar graves impactos en la fertilidad, propiedades y uso del suelo, también llegan a afectar a las personas, flora y fauna. Para ello, la biorremediación de estos suelos contaminados se realizó haciendo uso de estiércol animal como estiércol de aves, vaca, ovejas, llamas, alpacas, caballos, entre otros. Además, estos se pueden

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

LACCEI).

reforzar con aditivos o con otras fuentes nutricionales como cócteles bacterianos, aserrín, paja, etc., incrementando así los parámetros de fertilidad, valor nutricional, rendimiento y eficacia [10]. Sin embargo, en nuestro país una pequeña minoría utiliza el estiércol animal como enmienda para mejorar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo [11]. Es por ello, que se deberían realizar estudios e investigaciones sobre este tema ya que podría ser una opción favorable y económica para la recuperación de suelos.

La presente investigación, tuvo como principal objetivo analizar estudios sobre la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos utilizando estiércol animal durante los años 2017-2022, para ello se llevó a cabo una búsqueda y análisis exhaustivo de información confiable en diversas bases de datos.

II. METODOLOGÍA

La presente revisión sistemática de literatura científica empleó la METODOLOGÍA DE ESTUDIO PRISMA (Preferred Reporting of Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis), la cual sirve como soporte para las presentaciones de revisiones sistemáticas, identificando artículos relevantes en base a los términos de búsqueda seleccionados, considerando criterios adecuados para comprender a profundidad el conocimiento de un determinado tema, al igual que sustentar la base para otros tipos de revisiones y ser utilizada para la evaluación crítica de revisiones sistemáticas publicadas [12].

La búsqueda, selección e identificación de artículos científicos se realizó con el objetivo de responder las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los tipos de estiércol animal frecuentemente utilizados para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos? ¿Cuáles son los porcentajes de degradación haciendo uso de estiércol animal para minimizar el impacto del hidrocarburo en el suelo? ¿Qué especie animal da origen a un estiércol eficiente en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos? ¿Qué tipos de suelo son mayormente afectados por los hidrocarburos? ¿Qué países están realizando investigaciones sobre la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos utilizando estiércol animal? A raíz de las presentes interrogantes formuladas, se pretende analizar el efecto del estiércol animal en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

El desarrollo inicial de la presente revisión sistemática se establece a partir de la búsqueda de las variables y el tema a investigar. Las palabras clave utilizadas fueron: “biorremediación”, “suelos contaminados”, “hidrocarburos” y “estiércol animal”; y como conjugación de operadores booleanos se estableció el siguiente: [(“biorremediación” OR “suelos contaminados” OR “hidrocarburos” AND “estiércol animal”)].

El escenario de estudio estuvo basado en artículos científicos que sustenten las bases teóricas, datos estadísticos, información requerida del tema a investigar y el área de estudio en las que se aplican la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y elegibilidad de artículos.

TABLA I
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y ELEGIBILIDAD DE ARTÍCULOS

| Criterios de inclusión | Elegibilidad |
|-------------------------------------|---|
| Idioma | Inglés – Español |
| Área de estudio | Efecto del estiércol animal en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. |
| Periodo de tiempo de la publicación | 2017 – 2022 |

Se desarrolló la recolección de artículos científicos a nivel nacional e internacional en las siguientes bases de datos: Scopus, Redalyc, ResearchGate, ProQuest, Science Direct, DOAJ y SciELO. Como un criterio importante para la selección de artículos fue la estructura I-M-R-D (Introducción – Metodología - Resultados - Discusión), variable importante de la metodología PRISMA. Así mismo, se emplearon otros criterios de búsqueda de información como: búsquedas de campos alternativos en las referencias de artículos citados, combinación de términos establecidos, exclusión de operadores lógicos (“&/O”, “AND/OR”) en referencia a las variables y uso de exactitud de las comillas (“”).

TABLA II
PALABRAS CLAVE UTILIZADAS EN LAS BASES DE DATOS CONSULTADAS

| Bases de datos | Palabras clave |
|----------------|--|
| Scopus | “biorremediación de suelos”, “biodegradación”, “estiércol animal”, “suelos contaminados”, “hidrocarburos” |
| Redalyc | “biorremediación”, “suelos contaminados con hidrocarburos”, “estiércol animal”, “recuperación de suelos”, “bioestimulante” |
| ResearchGate | “suelos contaminados”, “biorremediación”, “degradación de hidrocarburos”, “compost de estiércol animal”, “microorganismos” |
| ProQuest | “contaminación por hidrocarburos”, “biorremediación”, “abono orgánico”, “estiércol de corral”, “bacterias remediadoras” |
| ScienceDirect | “biorremediación”, “composta”, “hidrocarburos totales”, “diversidad bacteriana”, “contaminación del suelo” |
| DOAJ | “biodegradación”, “contaminación por hidrocarburos de petróleo”, “suelos contaminados”, “bacterias degradadoras”, “estiércol animal” |
| SciELO | “degradación de hidrocarburos”, “recuperación de suelos”, “actividad microbiana”, “estiércol de animales” |

TABLA III
ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

| Bases de datos | Resultado Inicial | Intervalo de tiempo (2017-2022) | Tipo de literatura (Artículo) | Resumen (Variable y Rubro) | Resultado Final |
|----------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Scopus | 4320 | 1253 | 763 | 18 | 2 |
| Redalyc | 9279 | 4379 | 319 | 16 | 0 |
| ResearchGate | 100 | 41 | 41 | 15 | 1 |
| ProQuest | 6 711 | 3 005 | 551 | 71 | 7 |
| ScienceDirect | 703 | 483 | 123 | 34 | 7 |
| DOAJ | 496 | 186 | 49 | 39 | 6 |
| SciELO | 103 | 64 | 25 | 7 | 0 |
| TOTAL | 21712 | 9411 | 1871 | 200 | 23 |

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la fig. 1 se apreció la Metodología PRISMA empleada para la identificación de artículos a través de una extensa revisión sistemática en las bases de datos: Scopus, Redalyc, ResearchGate, ProQuest, Science Direct, DOAJ y SciELO.

Luego de haber utilizado los criterios de inclusión y exclusión según la metodología PRISMA se obtuvo un resultado final de 23 artículos que serán incluidos en la revisión sistemática.

Fig. 2 Número de artículos en relación al año de publicación según su base de datos.

En la fig. 2 se puede observar que dentro de la revisión sistemática comprendida entre los años 2017 – 2020, en los años 2018 y 2020 fue donde se publicaron la mayor cantidad de artículos en comparación a los demás. En el año 2017, solamente se encontró una publicación relacionada al objetivo de este estudio. Por lo tanto, esto evidencia que existió mayor interés sobre las investigaciones acerca de este tema en los años más actuales debido a que ahora los suelos contaminados con hidrocarburos se consideran una preocupación ambiental importante [35]. Además, de las bases de datos consultadas las que mayor cantidad de artículos referidos al tema de investigación fueron ProQuest, ScienceDirect y DOAJ con 8, 7 y 6 artículos científicos respectivamente en cada una, por otro lado, en ResearchGate solo una.

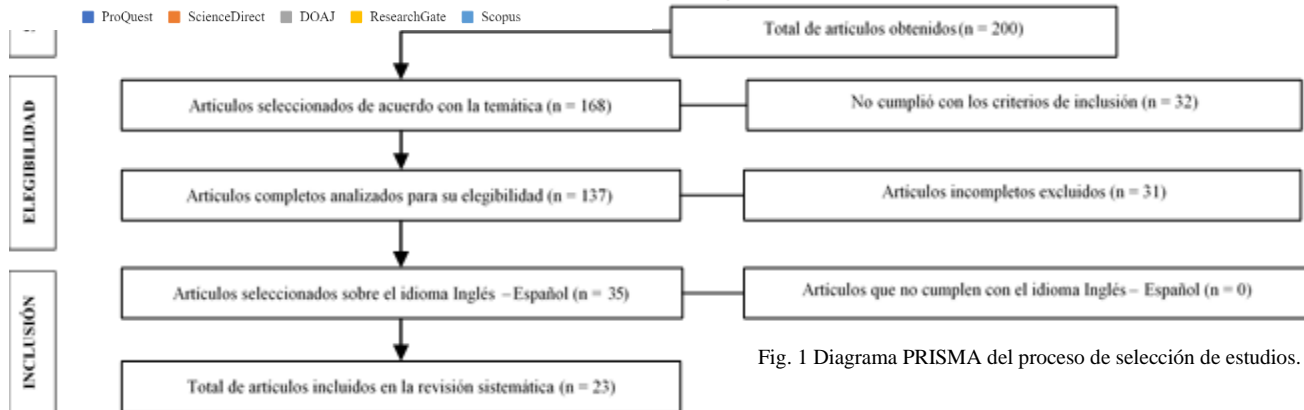
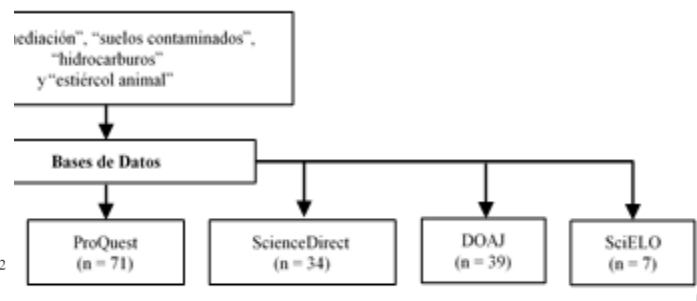
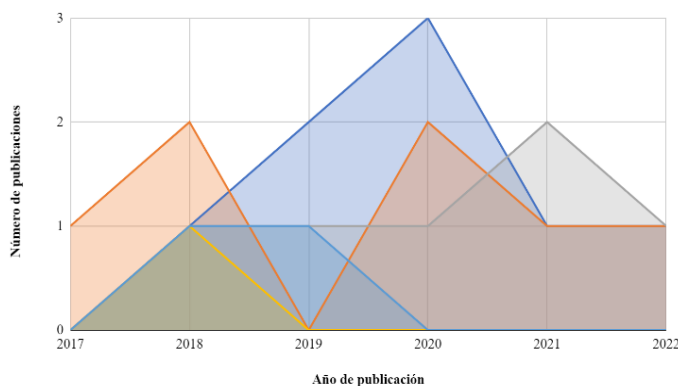
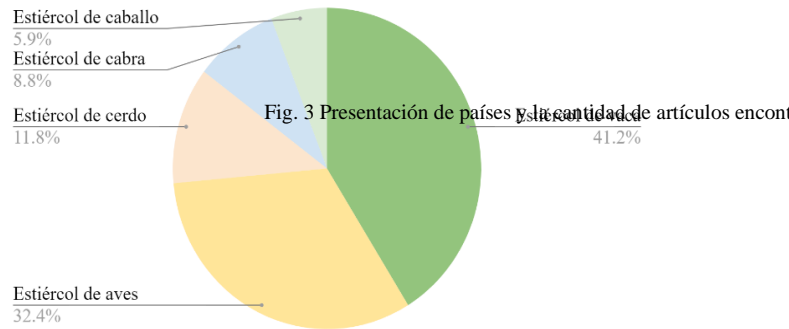
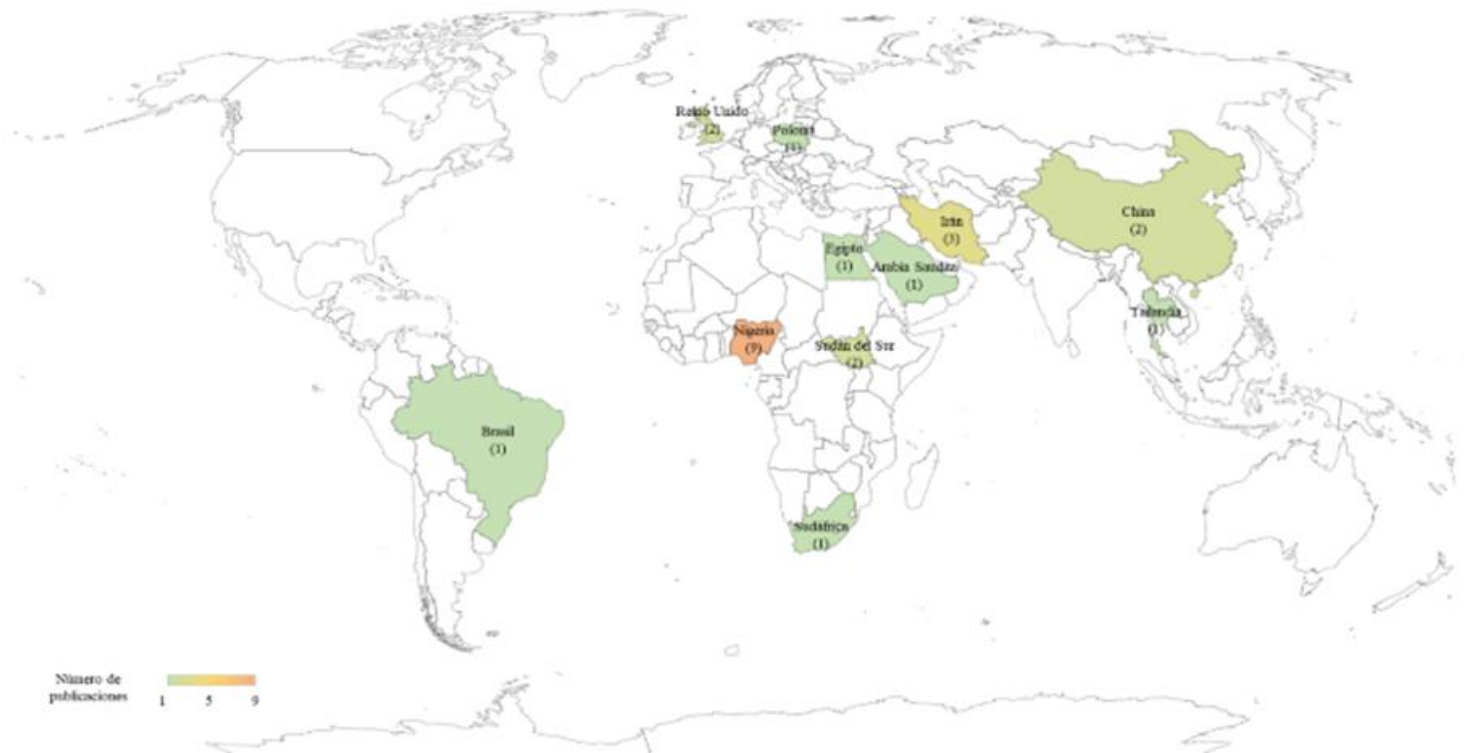


Fig. 1 Diagrama PRISMA del proceso de selección de estudios.



Se investigaron y analizaron diversos estudios con el fin de recopilar información sobre la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos haciendo uso del estiércol animal. Los resultados obtenidos en la fig. 3, demuestran que el continente africano fue el que mayor cantidad de estudios obtuvo con un total de 13. Siendo Nigeria el país más representativo con una cantidad de 9 artículos representan el 37.5% del total de artículos seleccionados. Esto se debe a que este país es una zona rica en petróleo altamente poblada y sus ecosistemas han sido impactados gravemente por los efectos del petróleo e hidrocarburos [15], lo que conlleva a la degradación de tierra agrícolas, vegetación y acuicultura [24]. Por otro lado, Brasil, Sudáfrica, Polonia, Egipto, Arabia Saudita y Tailandia representan cada uno el 4.16% ya que solo cuentan con un artículo seleccionado. Por lo tanto, en el continente americano solamente se encontró un estudio relacionado, a diferencia de Europa con 3 y Asia con 7 publicaciones.

Fig. 4 Porcentaje del tipo de estiércol de acuerdo a su aparición en el total de artículos seleccionados.

En la figura 4 se hizo notorio que el estiércol de vaca es comúnmente el estiércol más usado para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con un porcentaje de uso del 41.2% apareciendo en 9 de los artículos consultados, seguido del estiércol de aves con 32.4% representando a 7 investigaciones. El estiércol menos usado fue el de caballo con 5.9% que representa a solo un artículo del total de las publicaciones analizadas.

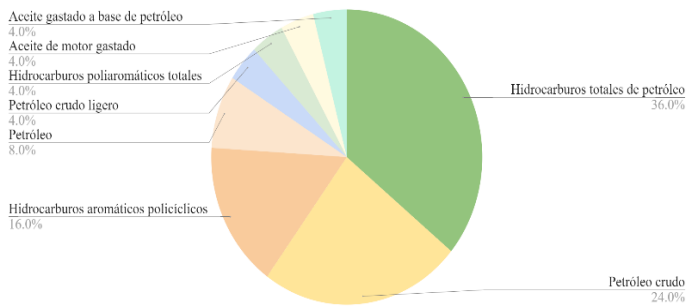


Fig. 5 Tipo de hidrocarburo contaminante de los suelos y el porcentaje que representa de acuerdo al total de artículos seleccionados

De acuerdo a la figura 5, se pudo interpretar que los hidrocarburos totales de petróleo (HTP) se encontraron en un mayor número presentes en los suelos de los artículos estudiados con un porcentaje de 36%, seguido del petróleo crudo con 24% y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) con 16%. Los derrames de HTP son fenómenos comunes y de gran preocupación en países productores de petróleo ya que los efectos de este en el suelo incluyen la improductividad del suelo, contaminación de aguas subterráneas y toxicidad afectando la salud de los seres vivos [22]. Asimismo, el petróleo crudo es un contaminante común debido a que la exploración, producción, transporte y procesamiento de este es más común [24]. Por otra parte, los demás hidrocarburos aparecieron con menos frecuencia fueron el petróleo con 8% y con un 4% equivalentes a un estudio de los demás hidrocarburos restantes.



Fig. 6 Relación entre el número de publicaciones y el tipo de suelo estudiado

En la figura 6, se observó que el suelo arenoso fue el más común mencionado en 4 artículos científicos de los 23 estudiados, esto se debe a que los contaminantes derivados del petróleo pueden permanecer durante mucho tiempo y acumularse gradualmente ya que este suelo se caracteriza por ser más poroso que los demás y permite a adsorción de los hidrocarburos [23]. Por otro lado, el suelo natural no contaminado con hidrocarburos fue estudiado en 3 publicaciones. El suelo cercano a una fuente contaminante, suelo de jardín botánico y suelo arcilloso no

contaminado fueron analizados en 2 estudios. Los demás suelos solo fueron mencionados en un artículo, cabe destacar que en un artículo podrían mencionar varios tipos de suelos utilizados para el estudio de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con estiércol animal.

TABLA IV
PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS DE ACUERDO AL IMPACTO DEL ESTIÉRCOL ANIMAL UTILIZADO.

| Autor/es | Tipo de Hidrocarburo | Estiércol / Enmienda | Degradación % |
|----------|---|--|---------------|
| [13] | Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | Estiércol de vaca + paja de trigo | 85% |
| [14] | Petróleo | Estiércol de vaca + estiércol de ave + cóctel bacteriano | 96.80% |
| [15] | Petróleo crudo ligero | Estiércol de vaca | 21% |
| | | Estiércol de vaca + <i>H. Rufa</i> | 91% |
| | | Estiércol de vaca + <i>O. Longistaminata</i> | 84% |
| | | Estiércol de vaca + <i>T. Diversifolia</i> | 84% |
| | | Estiércol de vaca + <i>S. Arundinaceum</i> | 71% |
| [16] | Petróleo crudo | Estiércol de vaca | 82.10% |
| | | Estiércol de ave | 89.40% |
| | | Desechos de palma | 82.02% |
| [17] | Petróleo | Estiércol de vaca + Bacterias (<i>Acinetobacter</i> , <i>Pseudomonas</i> y <i>Achromobacter</i>) | 76.9% ± 2.2% |
| [18] | Aceite usado a base de petróleo | Estiércol de vaca + Especies bacterianas (<i>Arthrobacter</i> , <i>Mycobacteria</i> , <i>Pseudomonas</i> y <i>Corynebacterium</i>) | 79% |
| [19] | Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | Estiércol de vaca | 99.85% |
| | | Estiércol de ave | 96.17% |
| | | Estiércol de cerdo | 99.90% |
| | | Estiércol de caballo | 99.61% |
| [20] | Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | Estiércol de cerdo | 18.20% |
| [21] | Petróleo crudo | Estiércol de cabra | 70% - 75% |
| [22] | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | Estiércol de cabra + Desechos de palma | 67.10% |
| [23] | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | Compostaje (estiércol de cerdo y paja de trigo) + Ramnolípidos (<i>Pseudomona</i>) | 73.52% |

| | | | |
|------|---|---|--------|
| [24] | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | Estiércol de ave + Polvo de granito + Ceniza de manojó de palma | 96.74% |
| [25] | Petróleo crudo | Estiércol de ave | 80% |
| | | Cáscara de arroz | 88% |
| [26] | Petróleo crudo | Estiércol de cabra | 83.3% |
| | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | | 75.8% |
| [27] | Hidrocarburos poliaromáticos totales | Estiércol de (vaca + ave + cerdo + caballo) + cóctel bacteriano | 99% |
| [28] | Petróleo crudo | Estiércol de (vaca + ave) + aserrín | 80% |
| [29] | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | Estiércol de ave | 78.18% |
| [30] | Aceite de motor gastado | Estiércol de ave + bacterias heterotróficas totales | 83% |
| [31] | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | Estiércol de ave + paja carbonizada | 62% |
| [32] | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | Estiércol de vaca | 80% |
| [33] | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | Estiércol de vaca | 66% |
| [34] | Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | Estiércol de vaca + <i>eisenia foetida</i> | 99% |
| [35] | Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) | Estiércol de ave + biocarbón | 77% |

En la tabla 4 se describe el tipo de suelo, hidrocarburo y estiércol/enmiendas empleadas en los artículos experimentales analizados; asimismo, enfatizó en el porcentaje de degradación del hidrocarburo de acuerdo al impacto del estiércol de animal utilizado; permitiendo conocer las características y principales datos para el análisis cuantitativo y cualitativo de sus resultados, con el fin de dar a conocer información valiosa sobre el tema de investigación. En ese sentido, se pudo observar que el suelo arenoso es el más utilizado en las prácticas de biorremediación de hidrocarburos y que el hidrocarburo total de petróleo (HTP) fue el contaminante con más frecuencia en los suelos.

De acuerdo a los resultados de degradación se obtuvo que el estiércol de vaca es el más empleado y su porcentaje de degradación oscila entre 21% - 99% dependiendo de la enmienda complementaria utilizada para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Sin embargo, al ser el estiércol de especies más utilizada, no acredita que sean los más eficientes, ya que trabajando bajo las mismas características el

estiércol de cerdo y de caballo resultaron tener un porcentaje mayor de degradación que el de aves y vaca con 99.90 – 99.61% y 99.17 – 99.85%, respectivamente [19]. En un estudio más reciente, se comprobó que la mezcla de esos cuatro estiércoles más la adición de un cóctel bacteriano logró la degradación del 99% de los HAP presentes [27].

El resultado con mayor porcentaje de degradación del hidrocarburo fue de 99% en el cual se emplearon la combinación de estiércol (vaca + ave + cerdo + caballo) y cóctel bacteriano donde el contaminante del suelo fueron los Hidrocarburos poliaromáticos totales en un suelo enmendado con astillas de madera (proporción de 1:2) [27]. De igual manera, el estiércol de vaca + *eisenia foetida*, al emplear vermicompostaje en un suelo contaminado con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) se obtuvo un porcentaje de degradación del 99% [34]. Por otro lado, al emplear sólo estiércol de una especie animal (vaca) en un suelo contaminado con petróleo crudo ligero que contenía (HTP) el porcentaje de degradación fue 21% [15]. Es por ello, que sugiere combinar una comunidad bacteriana intrínsecamente diversa o especies vegetales como fitorremediador eficiente, ya que al combinar cualquiera de las dos enmiendas mencionadas, aportarían una aceleración al proceso de degradación del hidrocarburo, por lo cual aumentaría el porcentaje de degradación y la biorremediación del suelo.

IV. CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática surgió con la finalidad de conocer una forma de subsanar la problemática de los suelos contaminados por hidrocarburos o sus derivados, ya que estos además de generar graves impactos en el suelo también pueden llegar a afectar a las personas, flora y fauna. Por consiguiente, se planteó la búsqueda de investigaciones relacionadas al tema a través de la metodología PRISMA, encontrándose un total de 23 artículos para su respectivo análisis. Como resultado de ello se observó que los estiércoles de vaca, ave, cerdo, caballo y cabra fueron utilizados en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de acuerdo a los artículos de investigación seleccionados, evidenciando que los años 2018 y 2020 fueron donde se realizaron mayor número de publicaciones, en consecuencia, existió un interés sobre las investigaciones de este tema en la actualidad siendo el continente africano el de mayor interés por remediar esta problemática, ya que es una zona rica en hidrocarburos y sus suelos han sido impactados gravemente por esto.

Finalmente, tras comparar las diversas investigaciones, el estiércol de vaca resultó ser el más común y el que mayor porcentaje de degradación de hidrocarburos presentes en el suelo, degradando hasta un 99%. De igual manera la combinación de varios estiércoles (vaca + ave + cerdo + caballo) más la adición de un cóctel bacteriano obtuvo el 99%

de degradación de hidrocarburos. Por lo que se puede deducir que añadir enmiendas al estiércol lo hace más eficaz.

V. RECOMENDACIONES

A través del análisis de los diversos artículos encontrados, se recomienda que los países latinoamericanos investiguen más acerca del tema tratado, asimismo puedan emplear el uso de esta técnica biorremediadora y a su vez hacer uso de enmiendas bacterianas o especie vegetal como complemento al estiércol animal, ya que estas actúan como bioestimulantes o fitorremediadoras para mejorar los resultados de la biorremediación del suelo contaminado. En el mismo sentido, la combinación de los distintos tipos de estiércol mejoraría ampliamente los resultados del porcentaje de degradación. Además, que la técnica de biorremediación empleando estiércol animal y diversas enmiendas es una técnica económica, eficaz y fácil de implementar.

Además, se recomienda para el Perú, estudiar e investigar sobre el estiércol de *Cavia Porcellus* (Cuy), ya que dicha especie tiene una alta densidad poblacional y por ende la producción de estiércol es elevada, además de ser la más alta en calidad y cantidad [10] por lo que se debería aprovechar este recurso, lo que podría dar como resultado una opción favorable y económica para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Privada del Norte por darnos todas las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación. Asimismo, a todas las personas que nos apoyaron en este arduo proceso.

REFERENCIAS

[1] Benavides López, M., Ordoñez, L. C., Guerrero Luna, N. F., & Huertas Delgado, J. L. Suelo contaminado por hidrocarburos. *Boletín Informativo CEI*, 8(3), 228-231. 2022. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2908>.

[2] Peña Murillo, S. E., Zambrano Nevárez, E., Baquerizo Figueroa, J., Antón Llor, A., & Solórzano Aldaz, K. Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (21), 226-236. 2019. https://www.researchgate.net/publication/341699843_Nuevos_sistemas_de_tratamientos_de_suelo_contaminado_por_hidrocarburos.

[3] Rodríguez Gonzales, A., Zárate Villarroe, S. G., & Bastida Codina, A. Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 178-208. 2022. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.9>.

[4] Martínez Prado, M. A., & Soto Álvarez, C. E. Remoción de hidrocarburos de petróleo de un suelo de baja permeabilidad: biorremediación y electroremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(3), 955-970. 2017. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62053304022>.

[5] Rivera Ortiz, P., Rivera Lárraga, J. E., Andrade Limas, E. C., Heyer Rodríguez, L., Garza Requena, F. R., & Castro Meza, B. I. Bioestimulación y

biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 249-262. 2018. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.06>.

[6] Herrera, M. A., Cruz, E. J., & Paternina, D. A. Biorremediación de suelos contaminados por petróleo. *Uniagraria*, (1). 2018. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13968.66566>.

[7] De Luna Vega, A., García Sahagún, M. L., Pimienta Barrios, E., & Rodríguez Guzmán, E. Evaluación, Física, Química y Biológica de compostas tipo bocashi elaboradas con estiércol de bovino, ovino, cerdo y conejo más una vermicomposta. *Revista de Energía Química y Física*, 6(20), 33-40. 2019. <http://dx.doi.org/10.35429/JCPE.2019.20.6.33.40>.

[8] Cairo, P., & Álvarez, U. Efecto del estiércol en el suelo y en el cultivo de la soya. *Pastos y Forrajes*, 40(1), 37-42. 2017. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269150990005.pdf>.

[9] Rodríguez Fernández, P. A., Álvarez Arcaya, M. V., Bastida Enamorado, I. Impacto del estiércol ovino y del lixiviado de humus de lombriz en indicadores del crecimiento y productividad en el cultivo del pimiento (*Capsicum annum* L.). *Ciencia en su PC*, 1, 46-59. 2020. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181363107009>.

[10] Mancilla Castro, D. A., & Pérez Román, D. Rendimiento y valor nutricional de *Azolla filiculoides* fertilizada con estiércol de cuy en abierto, Cochabamba. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(2), 7-14. 2022. <https://doi.org/10.53287/cbtn6542xa93u>.

[11] Rodríguez, L. M. G., Rojas, J. M. L., Fernández, G. I. L., & Puscan, M. W. V. Hen manure and its relationship with soil improvement in the santa maria alta sector, trujillo. *Paper presented at the Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. 2022. 10.18687/LACCEI2022.1.1.128.

[12] Serrano, C., Schreier, C., & Jumpa, M. Criterios de clasificación de la vivienda informal: una revisión sistemática PRISMA como herramienta para establecimiento y análisis de categorías. *Repositoryo Universidad de Lima*. 2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/7387>.

[13] Mohamed, E. L., & Usman, R. A. Influence of Organic Amendments and Moisture Regime on Soil CO₂-C Efflux and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Degradation. *Sustainability*, 14(7). 2022. <https://doi.org/10.3390/su14074116>.

[14] Osinowo, I., Abioye, O., Oyewole, O. & Solomon, B. The bioremediation of diesel contaminated soils using bacterial cocktail and organic nutrients. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 10(2). 2020. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.10.2.150-158>.

[15] Egbueze, F., Ayotamuno, J., Chukwujindu M., Eze, C., & Okparanma R. Effects of organic amendment on some soil physicochemical characteristics and vegetative properties of *Zea mays* in wetland soils of the Niger Delta impacted with crude oil. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, (8), 423-435. 2019. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00315-6>.

[16] Li, X., Li, J., Qu C., Yu, T., & Du M. Bioremediation of clay with high oil content and biological response after restoration. *Scientific Reports*, 11(9725). 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88033-w>.

[17] Ruley, J. A., Tumuhairwe, J. B., Amoding, A., Westengen, O. T., & Vinje, H. Rhizobacterial communities of phytoremediation plant species in petroleum hydrocarbon contaminated soils of the Sudd ecosystem, South Sudan. *International Journal of Microbiology*. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6639118>.

[18] Nwinyi, O. C., & Akinmulewo, B. A. Remediation of soil polluted with spent oil using cow dung. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 331(012058). 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/331/1/012058>.

[19] Ubani, O., & Atagana, H. I. Measuring the effect of composting Crude Oil sludge with pig, cow, horse and poultry manures on the degradation of selected Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Polish Academy of Sciences*, 44(1), 77-86. 2018. <https://doi.org/10.24425/118184>.

[20] Manli W., Xiqian G., Jialuo W., & Kaili C. Effect of compost amendment and bioaugmentation on PAH degradation and microbial community shifting in petroleum-contaminated soil. *Chemosphere*, 256. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126998>.

[21] Kingsley, A., Chidubem, C., Rabboni, G., & Ebere, O. Analysis and optimization processes of goat dung as a potential co-substrate in

- bioremediation. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4). 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.05.004>
- [22] Kingsley, A., & Ebere, O. Response surface optimization and effects of agricultural wastes on total petroleum hydrocarbon degradation. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4). 2018 <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.06.009>
- [23] Jianfeng, B., Yuanfei, L., Chenchen, L., Shuangxi, L., Zhihong, Y., Yunjiang, Y., & Liandong Z. Performance evaluation of rhamnolipids addition for the biodegradation and bioutilization of petroleum pollutants during the composting of organic wastes with waste heavy oil. *iScience*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104403>
- [24] Chioma, B. C., Chinedu, C. O., & Blaise, O. C. Biodegradation of artisanally refined diesel and the influence of organic wastes on oil-polluted soil remediation. *Scientific African*, Vol. 8. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00385>
- [25] Adams, F. V., Niyomugabo, A., & Sylvester, O. P. Bioremediation of Crude Oil Contaminated Soil Using Agricultural Wastes. *Procedia Manufacturing*, Vol. 4. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100120>
- [26] Kingsely, A., Chinedu, M., Chizoo, E., & Chukwudi, M. Investigations on the characterizations, optimization and effectiveness of goat manure compost in crude oil biodegradation. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100120>
- [27] Ubani, O., Atagana, H., Selvarajan, R., & Ogola, H. Unravelling the genetic and functional diversity of dominant bacterial communities involved in manure co-composting bioremediation of complex crude oil waste sludge. *Heliyon*, 8(2). 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08945>
- [28] Stella, O., Nwogo, O., Ephraim, N., Benneth, E., Robert, I., & Jeff, N. (2021). Effects of organic manures bioremediation on growth performance of Maize (*Zea mays* L.) in crude oil polluted soil. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1899855.1073>
- [29] Barati, M., Bakhtiari, F., Mowla, D., & Safarzadeh, S. Comparison of the effects of poultry manure and its biochar on barley growth in petroleum-contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*, Pag. 98 - 103. 2018. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1337069>
- [30] Ezeji, E. U., & Chukwudi, P. Assessment of phytoremediation potential of cowpea (*Vigna unguiculata* L Walp) on used motor oil contaminated soil. *African Journal of Biological Sciences*. 2021. <https://doi.org/10.33472/AFJBS.3.3.2021.29-36>
- [31] Saowalak, N., & Suchat, L. Abundance and diversity of hydrocarbon utilizing bacteria in the oil-contaminated soils throughout a remedial scheme using compost amendment. *Songklanakarin Journal of Science and Technology (SJST)*, 6(4), 253 - 261. 2019. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2019.2>
- [32] Ruley, J. A., Amoding, A., Tumuhairwe, J. B., Basamba, T. A., Opolot, E., & Oryem, H. Enhancing the Phytoremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soils in the Sudd Wetlands, South Sudan, Using Organic Manure. *Applied and Environmental Soil Science*. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4614286>
- [33] Soretire, A. A., Oshiobugie, A. A., Thanni, B. M., Balogun, S. A. & Ewetola, J. M. Bioremediation of soil contaminated with crude oil using fresh and decomposed animal manure. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 34. 2018. <http://dx.doi.org/10.4314/njb.v34i1.2>
- [34] Does Silva, P. R., Cotta, A. O., Landgraf, M. D., & Rezende, M. O. The application of the vermicomposting process in the bioremediation of diesel contaminated soils. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 598-604. 2019. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1611303>
- [35] Barati, M., Bakhtiari, F., Mowla, D., & Safarzadeh, S. Comparison of the effects of poultry manure and its biochar on barley growth in petroleum-contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*, Pag. 98 - 103. 2018. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1337069>