



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON
GASOLINA DE 95 OCTANOS UTILIZANDO ESTIÉRCOL
CAPRINO”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Katia Dunié Berrios Morón (0000-0002-3476-4688)

Asesor:

Mario Carhuapoma Yance (0000-0003-4669-6384)

Lima – Perú

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 08 de junio del 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Blgo. Wilbert Eddy Cruz Hilacondo
Miembro: Mg. Ing. Haydee Miriam Ramos León
Miembro: Mg. Ing. Javier Alvarado Llerena

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON GASOLINA DE 95 OCTANOS UTILIZANDO ESTIÉRCOL CAPRINO"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Katia Dunié Berrios Morón**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Dr. Mario Carhuapoma Yance

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple () calificar a:

Tesista: Katia Dunié Berrios Morón	Nota (en letras): (18)		
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Mg. Blgo. Wilbert Eddy Cruz Hilacondo
Presidente



Mg. Ing. Haydee Miriam Ramos León
Miembro 1



Mg. Ing. Javier Alvarado Llerena
Miembro 2



Dr. Mario Carhuapoma Yance
Asesor

T // (51) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, amistades; principalmente a Diana Ricaldi y Eduardo Valladares, y todos los compañeros que me apoyaron constantemente.

Al Dr. Mario Carhuapoma por compartir sus conocimientos y guiarme en la presente investigación. Así como a todos los profesores de la Universidad que absolvieron ciertas interrogantes durante el desarrollo de mi investigación

A la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Científica del Sur, quienes me brindaron facilidades para realizar parte de mi investigación en el laboratorio.

Y a todos los que estuvieron relacionados al desarrollo de esta investigación.

Expreso mi total gratitud hacia ustedes,

Un fuerte abrazo.

INDICE GENERAL

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
II. MARCO TEÓRICO	11
2. Suelo.....	11
2.1. Definición.....	11
2.2. Hidrocarburos.....	11
2.3. Contaminación de suelos por Hidrocarburos	13
2.4. Consecuencias de la contaminación de suelos por Hidrocarburos	15
2.5. Remediación.....	16
2.6. Estiércol.....	21
2.7. Calidad de suelo.....	24
III. HIPOTESIS Y OBJETIVOS	25
3.1. Hipótesis	25
3.2. Objetivos	25
3.2.1. Objetivo General	25
3.2.2. Objetivos específicos	25
IV. MATERIALES Y METODOS.....	26
4.1. Ubicación del Experimento.....	26
4.2. Recolección de muestras	26
4.3. Desarrollo del Experimento	27
V. RESULTADOS	31
5. Análisis e Interpretación de los Resultados	31
5.1. Resultados de la biodegradación de HTP-F1	31
5.2. Resultados del comportamiento de los macronutrientes en los suelos contaminados con TPH-F1	32
VI. DISCUSIONES	38

VII. CONCLUSIONES	41
VIII. RECOMENDACIONES.....	42
IX. REFERENCIAS	43
X. ABREVIATURAS	52
XII. ANEXOS.....	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Clasificación de los Hidrocarburos	12
Figura 2.	Interacción con nutrientes, agua y microorganismos en suelo no contaminado	15
Figura 3.	Interacción con nutrientes, agua y microorganismos en suelo contaminado	15
Figura 4.	Crianza intensiva y extensiva de ganado Caprino en el Perú.....	23
Figura 5.	Ganado caprino de la Facultad de Medicina Veterinaria de UCSUR	26
Figura 6.	Distribución Completamente al Azar de los tratamientos	28
Figura 7.	Biodegradación de HTP-F1 según tratamiento	32
Figura 8.	Evaluación del Nitrogeno en los suelos del control y tratamientos	36
Figura 9.	Evaluación del Fósforo en los suelos del control y tratamientos	36
Figura 10.	Evaluación del Potasio en los suelos del control y tratamientos	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Comparación de la composición química del estiércol caprino	23
Tabla 2	ECA de suelos para HTP- F1 (MINAM,2017)	24
Tabla 3	Caracterización Físicoquímica del suelo	27
Tabla 4	Caracterización Físicoquímica del estiércol caprino	27
Tabla 5	Biodegradación de HTP-F1 en la etapa inicial y final	32
Tabla 6	Análisis de comparación de los macronutrientes en los tratamientos	35

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de Consistencia	53
Anexo 2.	Ubicación del área de estudio y ejecución de los tratamientos	54
Anexo 3.	Condiciones climatológicas del distrito de Santiago de Surco.....	55
Anexo 4.	Caracterización Físicoquímica del suelo	55
Anexo 5.	Caracterización Físicoquímica del estiércol caprino	56
Anexo 6.	Caracterización microbiológica del suelo y estiércol caprino.....	56
Anexo 7.	Prueba Post-hoc de Tukey de los tratamientos y HTP-F1.....	57
Anexo 8.	Distribución de medias de la variación de las concentraciones de Nitrógeno, (N), Fosforo (P) y Potasio (K) según tratamientos	57
Anexo 9.	Prueba Post-hoc de Tukey de los tratamientos según N.....	58
Anexo 10.	Prueba Post-hoc de Tukey de los tratamientos según P	58
Anexo 11.	Prueba Post-hoc de Tukey de los tratamientos según K	59
Anexo 12.	Comportamiento del pH en el control y tratamientos	60
Anexo 13.	Comportamiento de la C.E en el control y tratamientos.....	61
Anexo 14.	Comportamiento de la Humedad en el control y tratamientos	62
Anexo 15.	Comparativo de costos de remediación de suelos	63
Anexo 16.	Informes de análisis.....	64
Anexo 17.	Panel fotográfico.....	82

RESUMEN

A la fecha, en el Perú existen conflictos socioambientales por derrames de hidrocarburos, entre otras causas antropogénicas que generan la contaminación del suelo, y con ello un aumento del riesgo a la salud humana y de los ecosistemas. La gasolina de 95 octanos (G95) es un tipo de hidrocarburo que se combina con aditivos para mantener su octanaje y calidad, el cual lo convierte persistente en el tiempo, por lo que el presente estudio evaluó la capacidad de biorremediación del estiércol caprino (EC) en el proceso de contaminación de suelos con G95, a fin de presentar una alternativa sostenible de remediación por su contenido de nutrientes que aporta al suelo. Se diseñó un experimento con concentraciones conocidas de G95 y EC al 5% y 20% (w/w) en dichos tratamientos, con los objetivos de evaluar el contenido óptimo de EC y el comportamiento de los macronutrientes (N, P y K). Los resultados indicaron que los tratamientos redujeron significativamente la concentración inicial de G95, obteniendo mayor remoción en los tratamientos con EC 20%, que representó una remoción de $97.98 \pm 0.35\%$, Variación de Nitrógeno de $56.32 \pm 2.55 \text{ mg kg s}^{-1}$, Variación de Fosforo de $80.89 \pm 2.48 \text{ mg/kg s}^{-1}$, y Variación de Potasio de $80.99 \pm 2.40 \text{ mg/kg s}^{-1}$, Se concluyó que la aplicación de sustratos orgánicos como EC remueven hidrocarburos como la G95, siendo el tratamiento EC 20% el más recomendable de utilizar, argumentando que el EC funciona como un agente descontaminante de suelos con G95 de forma práctica y funcional.

Palabras clave: *Biorremediación, hidrocarburos, estiércol caprino, macronutrientes*

ABSTRACT

Currently, there are socio-environmental conflicts in Peru due to spills of hydrocarbons, among other anthropogenic causes that generate soil contamination, thus increasing the risk to human health and ecosystems. The 95-octane gasoline (G95) is a type of hydrocarbon that is combined with additives to maintain its octane rating and quality, which makes it persistent over time, so the present study evaluated the bioremediation capacity of goat manure (CD) in the process of soil contamination with G95, to present a sustainable remediation alternative due to its nutrient content that it contributes to the soil. An experiment was designed with known concentrations of G95 and EC at 5% and 20% (w/w) in these treatments, with the objectives of evaluating the optimum content of EC and the behavior of macronutrients (N, P, and K). The results indicated that the treatments significantly reduced the initial concentration of G95, obtaining higher removal in the treatments with EC 20%, which represented a removal of $97.98 \pm 0.35\%$, Nitrogen variation of $56.32 \pm 2.55 \text{ mg kg s}^{-1}$, Phosphorus variation of $80.89 \pm 2.48 \text{ mg/kg s}^{-1}$, and Potassium Variation of $80.99 \pm 2.40 \text{ mg/kg s}^{-1}$, It was concluded the addition of manure like EC removes hydrocarbons such as G95, being the EC 20% the most likely to execute, arguing that EC works as a decontaminating agent of soils with G95 practically and functionally.

Keywords: *bioremediation, hydrocarbons, goat manure, macronutrients.*

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gasolina es un derivado de los hidrocarburos de uso muy frecuente para la obtención de energía desde actividades industriales hasta usos comerciales y privados (ATSDR,1999). Es considerada como una sustancia peligrosa, de la cual su inadecuado manejo genera contaminación en cuerpos receptores, con un impacto ambiental negativo y pérdidas económicas (Bustamante ,2007), formando parte de las principales preocupaciones sobre el ambiente y la salud pública (Chiquiza y Ahumada, 2018). Muchos de los casos de contaminación se desarrollan en explotaciones petroleras (explotación, refinación, transporte de oleoductos, almacenamiento y tanques subterráneos en caso de fugas) (Pérez et al., 2015), de modo que en el Perú aprueban el DS 012-2017-MINAM, en donde clasifican actividades con potencial de contaminación para suelos en donde se emplean, manejan, acopian, distribuyen o elaboran materiales peligrosos.

El Ministerio del Ambiente- MINAM (2017) reportó 3 613 pasivos ambientales en el sector hidrocarburos (PASH) (2013 – 2016), localizándose la mayor cantidad en el departamento de Piura (3 479), Tumbes (97), Loreto (14), Puno (10), Pasco y Ucayali (5), Amazonas, Madre de Dios e Ica (1). De todos estos, 153 PASH son considerados de alto riesgo para la población, afectando la condición natural del medio y desarrollando conflictos socioambientales siendo éstos la mayoría de conflictos a nivel nacional, después del sector minero que se encuentra en primer lugar (León,2019).

El estiércol caprino es una fuente potencial de nutrientes para el suelo, sin embargo, no se emplea en otras actividades para su aprovechamiento (Arroyo ,2006). El MIDAGRI (2012), a través del D.S 016-2012-AG, aprueban el “Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario”, para la optimización de los residuos y reducir los riesgos sanitarios, protegiendo la calidad ambiental, salud y bienestar de las personas.

El suelo debe presentar condiciones óptimas para las diferentes actividades (agrícola, residencial, comercial, industrial, extractivo); ante un posible evento de contaminación de hidrocarburos, las instituciones involucradas deben presentar contingencias para reducir la contaminación con estudios de costo/beneficio, sostenibles y validadas en ensayos de laboratorio (DS 012-2017 MINAM). Así también, en concordancia con los principios de la Economía Circular, debe recuperarse los recursos dentro del ciclo biológico o técnico, a fin de garantizar una biorremediación sostenible (D.L N.º 1278 MINAM). Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, este estudio se enfoca en la adaptación de métodos de biorremediación para la reducción de contaminación en suelos por hidrocarburos, con un impacto positivo al ambiente, sus mecanismos son más sostenibles respecto a los métodos tradicionales. Para lograr esto, se evaluó la capacidad de biorremediación del estiércol caprino en el suelo contaminado con gasolina de 95 octanos, que sirvió como fuente principal de macronutrientes, y así, aminorar la cantidad de hidrocarburos en el suelo, aportando nuevas estrategias de remediación para futuras gestiones.

II. MARCO TEÓRICO

2. Suelo

2.1. Definición

El suelo es un sistema trifásico: i) La fase sólida, conformada por elementos inorgánicos y orgánicos, ii) La fase líquida, ocupado parcialmente por agua, que puede llevar iones y sustancias en suspensión; iii) La fase gaseosa, que constituye los gases de ciertos elementos como Nitrógeno, Oxígeno, Argón, Dióxido de Carbono, entre otros (Porta et al., 2003).

El suelo está influenciado por parámetros fisicoquímicos y biológicos como: Textura, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Temperatura, Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (C.E), Nutrientes y Organismos del suelo, que intervienen en procesos naturales del suelo como la descomposición, mineralización, fijación de nitrógeno atmosférico, entre otros. (USDA, 1993; Coyne,2000; Casas, 2012; Cárdenas, 2017).

2.2. Hidrocarburos

a. Definición

Los hidrocarburos son compuestos producidos por descomposición anaeróbica de la materia orgánica, acumulados en forma de sedimentos geológicos por millones de años. Es considerado como un recurso no renovable; es la fuente principal de energía y uso general en múltiples sectores (API,1996).

Los Hidrocarburos se clasifican como Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP), a partir del cual se desarrollan diferentes compuestos para su comercialización. Los "hidrocarburos" se denomina por su composición de carbono e hidrogeno principalmente. Varían en peso molecular, propiedades físicas y estructuras moleculares (cadenas lineales y ramificadas) y anillos. Labardini-Flores y Ramírez-Delgado (2002) clasifican a los hidrocarburos en alifáticos y aromáticos (Figura 1);

según el número de cadenas de carbono se clasifican en Fracción ligera - F1, Fracción media - F2 y Fracción pesada – F3 (MINAM, 2017).

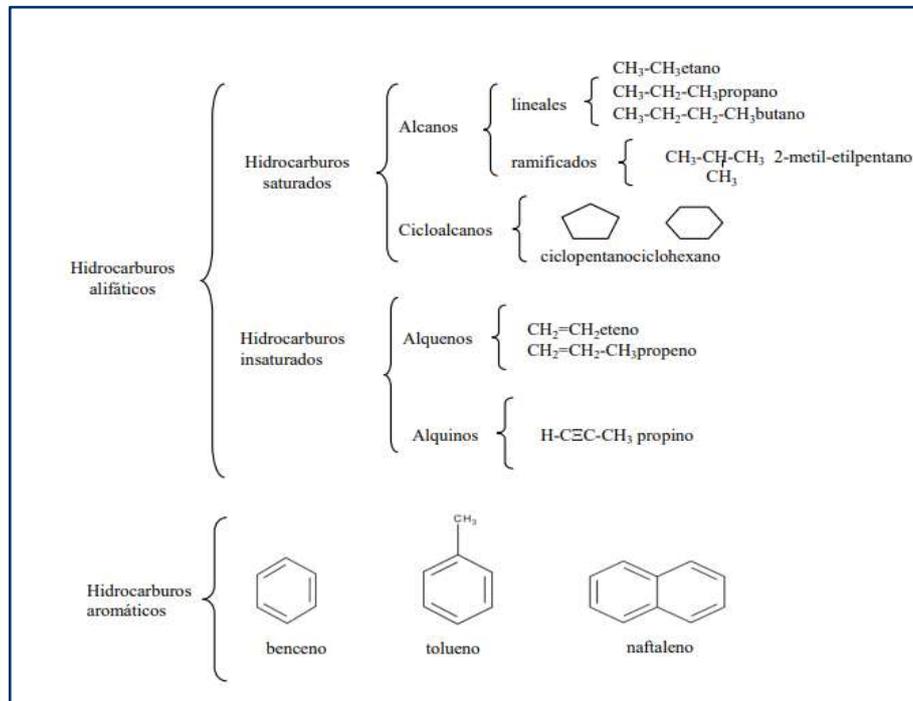


Figura 1. Clasificación de los Hidrocarburos (Labardini-Flores y Ramírez-Delgado, 2002).

b. Gasolina

Son hidrocarburos de 4 hasta 12 cadenas de Carbono (C4-C12), combustibles iniciales conseguidos del fraccionamiento del petróleo y otras mezclas complejas, de color casi incoloro, pardo pálido o rosado de bajo peso molecular (Bergendahl, 2007).

La gasolina representa el 70% de los hidrocarburos, se encuentra formado por los n-alcano (butano, pentano, entre otros) y los isoalcanos (isooctano, parafinas), luego los cicloalcanos (ciclobutano y ciclodecano), y los compuestos aromáticos (benceno, tolueno y xilenos) que comprenden alrededor de 25% de su peso. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) se encuentran en reducidas cantidades, con excepción del naftaleno, que puede encontrarse hasta 0.5% en peso. Respecto a los aditivos están los éteres oxigenados y alcoholes (Celis, 2009).

• OCTANAJE

Se le ha asociado este término al estándar que se empleó con el compuesto 2,2,4-trimetilpentano, popularmente nombrado como “isooctano” para clasificar las gasolinas, estableciendo su valor de 100 y al n-heptano de 0 (Fukusaki,2009). En ese sentido, un combustible de 95 octanos estaría compuesto de un 95% de “isooctano” y 5% de n-heptano. Esto significa que, a mayor octanaje, mayor proporción de hidrocarburos ramificados.

Las características principales de la gasolina de 95 octanos son: su composición de hidrocarburos saturados, olefinas, naftenos y aromáticos, color transparente, olor característico, punto de inflamación $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$, insoluble en agua, compatible con oxidantes fuertes, de categorización: riesgos a la salud “1”, inflamabilidad “3”, reactividad “0”, carcinógeno para el ser humano, su fracción pesada puede ser absorbida del suelo y agua disminuyendo el oxígeno, volviéndose tóxico en especies acuáticas (PetroPerú, 2013).

2.3. Contaminación de suelos por Hidrocarburos

Los hidrocarburos en el suelo afectan los procesos físico-químicos naturales como intercambio gaseoso con la atmósfera, temperatura, textura y concentración derramada, alcanzando su toxicidad (a menor peso molecular mayor toxicidad) y dificultando su tratamiento (Canasa, 2010; Adams et al., 2008).

Los hidrocarburos destilados presentan mayor movilidad en suelo debido a su bajo peso molecular, lo cual implica baja viscosidad, elevada volatilidad y solubilidad moderada en agua. En casos de derrames por gasolina, se puede determinar la presencia de hidrocarburos aromáticos de mayor solubilidad y toxicidad, en derrames antiguos, se pueden convertir en productos más viscosos, de menor volatilidad y mayor movilidad en comparación a los casos de derrames recientes. La capacidad de

autodepuración del suelo se limita por microorganismos con capacidad de degradación de hidrocarburos (Pozzo et al., 1996).

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (1999) indica la existencia de una alta probabilidad de contaminación por hidrocarburos debido a la alta frecuencia de empleo de hidrocarburos en las diferentes industrias como en el uso diario de la población, tales como la gasolina, querosén, aceite combustible, aceite mineral y asfalto, los cuales tienen un alto potencial de riesgo ambiental y alta viabilidad de su liberación al ambiente (García et al ,2006).

A la fecha, se viene incorporando aditivos para optimizar la combustión del hidrocarburo con la finalidad de incrementar el octanaje en la gasolina, estos pueden perjudicar al ser humano y desarrollar un escenario de toxicidad (Fukusaki, 2009), debido a su baja degradación e incrementar su pluma de contaminación en un tiempo menor (López et al.,2018). El metil-terbutil-éter (MTBE), el compuesto oxigenante más usado en las gasolinas, aumenta el índice de octanos y reduce la emisión de gases contaminantes al ambiente. Sin embargo, junto con el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX) han sido identificados como potencialmente carcinogénicos (Dean,1985) y junto con el etanol, el segundo oxigenante en uso, pueden migrar al subsuelo y contaminar el nivel freático (Deeb et al, 2003). Aunque estos compuestos son medianamente biodegradables, su mayor parte se mantiene en el ambiente (Stiner & Halverson, 2002). Según García et al (2006), MTBE es el más persistente, entre todos los compuestos de la gasolina.

El nivel de persistencia de los hidrocarburos en suelos aumenta con el punto de ebullición y cantidad de anillos aromáticos. En un derrame de hidrocarburos de fracción ligera se desarrolla procesos de volatilización, foto-oxidación, sedimentación y biodegradación, luego quedan los hidrocarburos residuales con mayor peso molecular e hidrofobicidad, y mientras más arcilloso sea el suelo, existirá mayor adsorción, lo cual aumenta su compactación y anulación de la interacción electrostática; con esto la

lixiviación de sales alterando la salinidad, pH y aumentando la toxicidad de cloruros, peróxidos permanganato de potasio, cromo, entre otros (Figuras 2 y 3) (Jiménez, 2018).

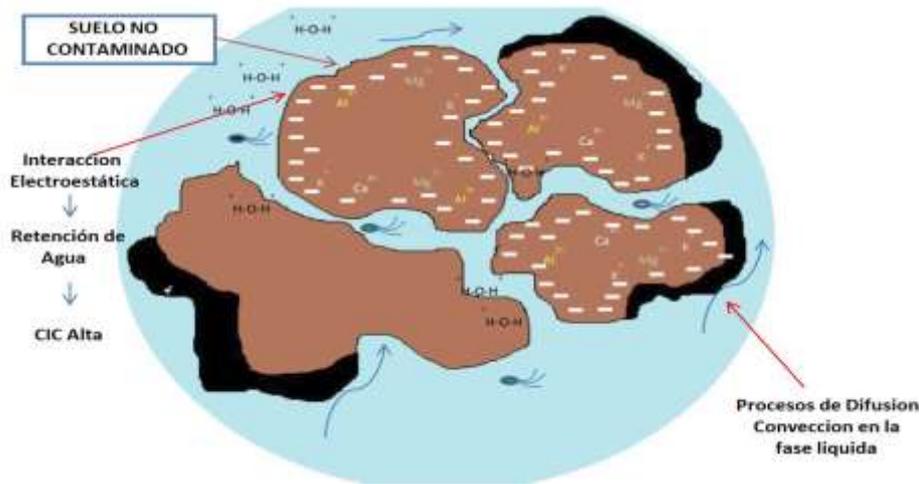


Figura 2. Interacción con nutrientes, agua y microorganismos en suelo no contaminado (Jiménez, 2018).

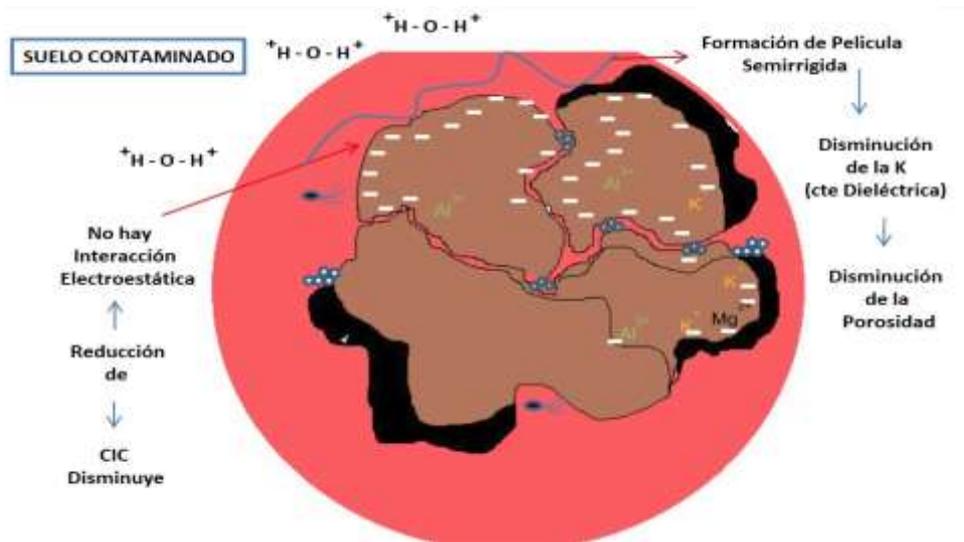


Figura 3. Interacción con nutrientes, agua y microorganismos en suelo contaminado (Jiménez, 2018).

2.4. Consecuencias de la contaminación de suelos por Hidrocarburos

Los efectos de los hidrocarburos en los suelos dependerán de la cantidad y composición del hidrocarburo específico, su frecuencia y el periodo de exposición, su dispersión, características del sitio en particular y las condiciones ambientales como

temperatura, humedad, oxígeno y la sensibilidad de la biota propia de la zona del ecosistema impactado. Cruz (2009) consideró que las propiedades físicas del suelo son las más perjudicadas principalmente a nivel de la estructura del suelo por la ruptura de agregados, superficialmente. Así también se considera a la arcilla como un indicador de persistencia de sustancias tóxicas. Con respecto a las propiedades químicas se ve afectado en la disminución del pH y en el incremento de hierro y manganeso intercambiable.

Asimismo, la gasolina se encuentra dentro de la guía de Respuesta en caso de Emergencia del departamento de Transportes de Estados Unidos, la Institución federal de Transporte de Canadá y el Centro de Información Química para Emergencias (2020), en donde resalta los peligros potenciales principales a la salud, resaltando la toxicidad al inhalar, la ingesta o absorción pudiendo generar intoxicación por inhalación, mareos y asfixia; también puede formar mezclas explosivas con el aire, incendiar por calor, chispas o llamas, incendios o explosión.

Cando (2011) reportó que los hidrocarburos pueden alterar las rutas metabólicas del cuerpo humano, por lo que la gasolina es considerada cancerígena a nivel del pulmón, así también, su ingesta provoca irritación en garganta y estómago, depresión del Sistema Nervioso Central (Belpoggi et al, 1995; IARC, 2014).

2.5. Remediación

Proceso enfocado en reducir o eliminar los niveles de contaminación en el suelo y subsuelo (Cruz, 2009), con el propósito de alcanzar niveles aceptables o reducir el contaminante, para reducir el riesgo a la salud y el ambiente en relación a la contaminación (MINAM, 2017). La remediación se clasifica según su funcionalidad, generalmente en: biológica, fisicoquímica y térmica.

a. Biorremediación

Sylvia et al. (1999) reportan que la biorremediación es un proceso que reúne las condiciones para incrementar la biodegradación de un compuesto y recupera el sitio dañado. Impulsan la degradación del contaminante por acción metabólica de los microorganismos reduciendo su impacto ambiental convirtiendo a los compuestos inocuos, en vez de trasladarse a otro lugar (Dua et al., 2002).

La biorremediación posee muchas ventajas al tener menor impacto ecológico (Pérez et al., 2008), Viladi (2001) también coincide en ello, siendo las principales: 1) Genera residuos inocuos, 2) No existe su distribución de un sitio a otro (rellenos de seguridad, etc.) porque cambia su estructura y deja de ser peligroso, 3) Las alternativas de su ejecución son de forma in situ o ex situ, y por último 4) Tiene un costo menor.

La biorremediación posee muchos beneficios como: fácil de aplicación, bajo costo de operación, mínimo riesgo a la salud y ambiente (Brutti et al., 2018), sus subproductos son útiles para otras actividades, y tiene un costo entre el 30 y 50% más bajo que otras técnicas convencionales.

• Técnicas de Biorremediación

A causa de la acción biodegradativa de los microorganismos, se han desarrollado diversas técnicas, siendo las más estudiadas: i) La bioestimulación, que adiciona nutrientes para estimular la actividad de los microorganismos nativos, ii) La bioaumentación, que adiciona bacterias al medio, iii) Bioventeo, que suministra aire para estimular la efectividad de las bacterias nativas, iv) La atenuación natural, que emplea procesos fisicoquímicos de interacción con el suelo y su biodegradación, y v) Biolabranza, que extiende una capa regular y revuelve periódicamente (Flores et al., 2004), también Benavides et al. (2006) recomiendan agregar técnicas como biopilas, compostaje, o sus combinaciones para obtener mejores resultados; "in situ", que trata el suelo en el lugar adyacente al área contaminada, lo cual no requiere excavación del

suelo para someterlo a tratamientos en instalaciones fijas, o “ex situ”, que sí necesita su extracción para adaptarlo, previo a su tratamiento respectivo.

• **Estudios a la fecha en las estrategias de Biorremediación**

Cruz (2009) y Pérez (2009) evaluaron la biorremediación a partir de estiércol vacuno y de caballo, obteniéndose una alta degradación de la gasolina bajo estos materiales, los cuales afectaron significativamente a nivel fisicoquímico y de macronutrientes.

Buendía (2012), investigó sobre la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos a través del compost de estiércoles de cerdo, vaca y aserrines de bolaina, pino y capirona. Concluyendo y recomendando el tratamiento con mayor remoción de hidrocarburos fueron los tratamientos que contenían estiércol de vaca más aserrín de bolaina, con un 25% de remoción de HTP.

Pérez et al. (2015) evaluaron biocombustibles e hidrocarburos del petróleo (gasolina y diésel) en suelos y su biorremediación, probando: 1) Un suelo con un hidrocarburo gasolina-etanol (40 000 ppm inicial) y 2) Un suelo con un hidrocarburo diésel-biodiésel (40 000 ppm inicial) adicionando fertilizantes sintéticos y obtuvieron una remoción de 99.9% y 99.8%, respectivamente; en un periodo de 60 días. Concluyendo que los aditivos que suelen agregarse a las gasolinas retrasan su degradación.

Vallejo et al (2016) evaluaron el efecto de la biorremediación de hidrocarburos en suelos contaminados con alquitrán, adicionando nutrientes como fertilizantes derivados de compuestos inorgánicos (FIC) y urea más K_2PO_4 ; y de medición de variables fisicoquímicas, HTP y microorganismos. Logrando un descenso significativo de la concentración de hidrocarburos en sus tratamientos mayores al control (28%, 24%

y 6%, respectivamente). Concluyendo que los nutrientes influyen en el aumento de microorganismos.

Arcila (2016) analizó la eficiencia en la biorremediación de suelos contaminados con diésel (UN 1202), evidenciando en todos sus tratamientos porcentajes de reducción de TPHs mayores al 70%, controlando variables fisicoquímicas en el suelo.

Muñoz y Pacheco (2017), determinaron *pseudomonas* en estiércol de gallinas en la biodegradación de petróleo en suelos contaminados, contaminaron 250 ml petróleo en muestras de 1 kg de suelo limpio, controlando variables fisicoquímicas y microbiológicas durante 180 días. Sus resultados mostraron remoción de 97.4% de HTP en hidrocarburos de fracción ligera, 92.9% en hidrocarburos de fracción mediana y 30% en hidrocarburos de fracción pesada. Concluyendo que las *pseudomonas* del estiércol de gallinas fueron responsables de la biodegradación.

Cárdenas (2017) evaluó la biodegradación de HTP por bioestimulación con Cachaza y Guano de islas en suelos de una refinería. Logrando un porcentaje de remoción de un 81% en el tratamiento con guano de islas y concluyendo que las bacterias nativas del suelo tienen potencial para degradar hidrocarburos.

Jiménez (2018) desarrolló una metodología para la biorremediación de un suelo costero contaminado con hidrocarburos controlando variables fisicoquímicas, macronutrientes y microorganismos, obtuvo como resultado principal una remoción de un 40% en el tratamiento con 40% de humedad más nutrientes, concluyendo ser una alternativa para la remediación de suelos por su viabilidad y escasa alteración del suelo.

Curasi y Luque (2019) evaluaron la efectividad del compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz, con un 80% de suelo y un 20% de estos abonos; midiendo variables fisicoquímicas. Logrando remoción de 27% en abonos verdes, 20% en lombricompost y 20% en compost.

- **Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos**

Es el aumento de la tasa de degradación natural de hidrocarburos por macronutrientes como fertilizantes, entre otros, y así suministrar energía para la elaboración de productos metabólicos, como CO₂, agua, enzimas (Gómez et al., 2008)

Los hidrocarburos con más de su 10% interrumpen la biodegradación de forma natural (Atlas y Bartha, 2001). En ese sentido, no son aplicables en escenarios con grandes cantidades de sedimentos crudos, por lo que serían tratamientos secundarios y/o complementarios.

- **Parámetros de Importancia en la Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos**

Los parámetros más estudiados y de principal importancia Son: i) La temperatura, que crea las condiciones de crecimiento y reproducción de los microorganismos (EPA ,2014). ii) El pH, puede encontrarse en rangos de entre 3 a 11 sin limitar el proceso (Bertoldi & Zucconi ,1987) iii) La humedad, no interrumpirá los procesos de degradación siempre y cuando mantengan un rango de 30-90%, sin embargo, influirá mucho la textura del suelo (Jiménez ,2018) iv) El, Oxígeno, importante en la degradación de hidrocarburos por ser un aceptor final de electrones en procesos biológicos (Pérez et al., 2015), v) Nutrientes, existen dos amplios grupos esenciales para su metabolismo y movilidad celular para mantener la fortaleza y salud del suelo: los macronutrientes y los micronutrientes. Los macronutrientes están principalmente representados por Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Potasio (K) en forma de urea, nitrato de amonio, superfosfato simple, y otros compuestos orgánicos y sintéticos (Castillo et al.,2005) que se adicionan en diferentes proporciones empíricas (Samanez, 2008).

- **Factores que limitan el Crecimiento Microbiológico del suelo en los tratamientos de Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos**

Cárdenas (2017) estableció limitantes del crecimiento y desarrollo de los microorganismos para una óptima remediación: la erosión, bajo nivel de nutrientes, pH extremos, mal drenaje, plaguicidas, textura del suelo, concentraciones elevadas de ciertos metales pesados y alta humedad. Por el contrario, Jiménez (2018) los interpreta como referentes, ya que dependerá mucho del escenario específico y grado de influencia de cada factor.

2.6. Estiércol

Producto de la digestibilidad y posterior excreción sólida de los animales, reportado ser fácilmente asimilable por las plantas; está constituido principalmente de nitrógeno y fósforo de absorción casi instantánea para las plantas después de su mineralización por actividad microbiana (Buckman y Lyon, 1977), mientras que el potasio ya se encuentra en forma móvil (Olascoaga, 2007). Por lo tanto, se transforma en nutrición directa para el suelo y esto se traduce a que tendrá una acción favorable sobre sus propiedades físicas y químicas al mantener un nivel alto de la materia orgánica, lo cual lo volverá más blando e higroscópico (Rigau, 1981).

Los principales beneficios del uso del estiércol: Fuente de macronutrientes para los microorganismos, Incremento de la calidad y productividad de cultivos (Muñoz y Pacheco, 2017). Considerado como un mejorador del suelo, ya que reduce su compactación, aumenta su porosidad, retención de agua y aire, que será positivo en los tratamientos en suelos contaminados con materiales orgánicos peligrosos como hidrocarburos (Semple & Reid, 2001). Las características del estiércol varían en relación con el tipo de animal (raza, tipo de ganado), edad, dieta y actividad (Chadwick et al., 2000).

a. Ganado Caprino

Son pequeños rumiantes cuya alimentación es a base de forrajes y pastos principalmente, son fértiles, crecen rápidamente, además de adaptarse con facilidad al cambio climático (Lozano,2012).

Sus sistemas de producción son de tipo extensivos (pastoreo) a gran escala y semi-intensivos e intensivos (estabulado) a menor escala (figura 4). Hoy en día, la crianza de ganado caprino representa una fuente de alimentos e ingresos económicos para familias en el Perú (Piura, Ayacucho, Lima, Huancavelica e Ica) cuya producción principal es para leche y carne (doble propósito). Su producción anual es de 6 600 TM de carne, 2 300 TM de menudencias, 787 000 TM de estiércol fresco y 18 800 TM de leche aproximadamente (Vargas et al., 2016). Entre las principales razas en Perú se encuentran el “Criollo”, producto de la adaptación de las razas españolas introducidas, la raza “Nubian”, la raza “Anglonubian”; y la raza “Saanen”.

Para Lozano (2012) las principales ventajas de la explotación caprina son:

- Son animales relativamente pequeños, mansos, de fácil manejo en mujeres y niños
- Poseen menores problemas de fertilidad y son más resistentes a las enfermedades
- Tienen buena capacidad de producción de leche y es altamente digestible
- Tienen cualidades para manejar y controlar vegetación invasora.
- Poseen mejor condición corporal que ovejas y bovinos al final de la época seca, siendo un factor positivo en un contexto de cambio climático e inseguridad alimentaria.

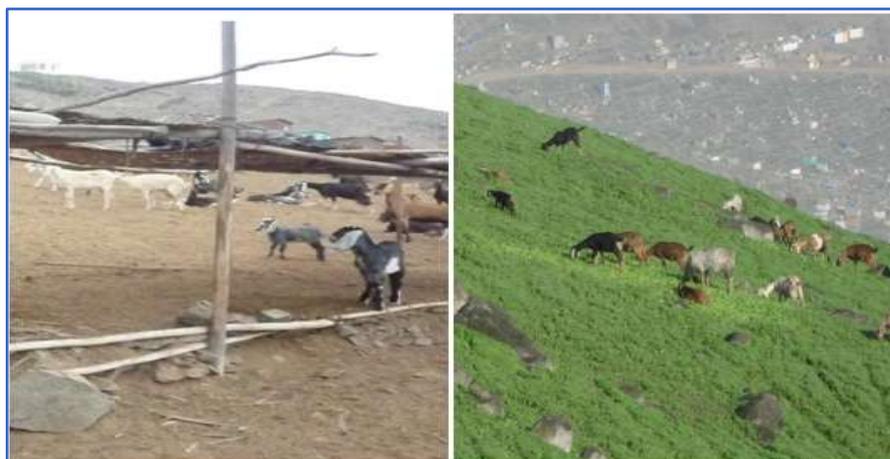


Figura 4. Crianza intensiva y extensiva de ganado Caprino en el Perú (Arroyo,2006)

b. Estiércol Caprino

Material orgánico compostable (FAO,2103) distinguido en fertilización de cultivos (Lozano, 2012). Aunque varíe su composición (Tabla 1), demuestra mejoras notorias en cultivos, biodigestores y compostajes. Además, posee una relación C/N equilibrado (Alvâsen, 2007; Iren et al., 2011; Muli & Saha, 2000; Lozano, 2012; FAO, 2013).

Tabla 1

Comparación de la composición química del estiércol caprino

Compuesto	Alvâsen (2007)	Iren et al. (2011)	Muli y Saha (2000)	FAO (2013)
Carbono (%)	28.0	27.42	21.8	-
Nitrógeno (%)	2.3	2.4	1.65	-
Relación C/N	12.1	11.19	13.2	32:1
Fosforo Total (%)	-	0.11	0.39	-
Potasio Total (%)	-	1.39	1.80	-
Calcio (%)	-	1.7	2.53	-
Magnesio (%)	-	0.9	1.22	-

2.7. Calidad de suelo

Estado del suelo para desarrollarse en aspectos ecológicos, agronómicos, económico, cultural, arqueológico y recreacional, gracias a sus óptimas características físicas, químicas y biológicas. (MINAM, 2014)

De igual forma, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, regido en el D.S N° 011-2017-MINAM, establece los parámetros según el uso del suelo; para la gasolina, correspondiente a HTP-F1 (Tabla 2), no deberían de sobrepasar la cantidad indicada para estimar la calidad del suelo aceptable. Los ECA para Suelo son obligatorios para la ejecución de instrumentos de gestión ambiental, y aplicables para actividades productivas, extractivas y de servicios (MINAM, 2017, p.13).

Tabla 2

ECA de suelos para HTP- F1 (MINAM,2017)

Parámetro en mg/kg peso seco (PS)	Usos del Suelo			Método de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial /Parques	Suelo Comercial/Industrial/ Extractivo	
Fracción de Hidrocarburos F1 (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015

III. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

- El estiércol caprino permite la remoción de gasolina de 95 octanos del suelo contaminado.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo General

- Evaluar la capacidad de biorremediación del estiércol caprino en el proceso de contaminación de suelos con gasolina de 95 octanos.

3.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el contenido óptimo de estiércol caprino para reducir la contaminación del suelo por gasolina de 95 octanos.
- Evaluar el comportamiento de macronutrientes (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) en los suelos contaminados con gasolina de 95 octanos.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Ubicación del Experimento

El experimento se desarrolló en el distrito de Santiago de Surco (Lima, Perú), Coordenadas UTM 283769.06 E, y 8657162.81 N, huso 18 franja longitudinal “L” (18 L), WGS84.

4.2. Recolección de muestras

Se recolectaron muestras de suelo provenientes de la Panamericana Sur km 40, urbanización Los Suspiros, ubicada en el distrito de Lurín (Anexo 2). Su caracterización fisicoquímica se detalla en el Anexo 4.

El estiércol caprino fue recolectado de la Unidad de Zootecnia del campus villa II de la Universidad Científica del Sur, en cuyo establo priman las razas Saanen y Anglonubian, la dieta base de estas razas fueron de alfalfa y concentrado de cereales (Figura 5).



Figura 5. Ganado caprino de la Facultad de Medicina Veterinaria de UCSUR

En relación a la recolección de la gasolina de 95 octanos, se obtuvo de la estación de combustible Primax– Surco.

4.3. Desarrollo del Experimento

El experimento se desarrolló bajo un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), donde el control y los tratamientos (02 concentraciones de estiércol caprino) presentaron tres repeticiones en macetas de 2 kg de capacidad, a los cuales se le adicionó 1 kg de suelo. Posteriormente se adicionó 78 ml de gasolina de 95 octanos (G95) y se incorporó estiércol caprino al 5% y 20% (w/w) en dichos tratamientos.

a. Caracterización de muestras

Se caracterizaron parámetros fisicoquímicos del suelo (Tabla 3) y estiércol caprino (Tabla 4) en el Laboratorio de Análisis de suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la facultad de Agronomía de la Universidad Agraria La Molina-UNALM (Anexos 4 y 5). Y su caracterización microbiológica en el laboratorio de microbiología II de la Universidad Científica del Sur (anexo 6) y de la gasolina por su MSDS.

Tabla 3

Caracterización Fisicoquímica del suelo

Parámetro	Resultado	unidades	Interpretación
P	49,70	ppm	Bajo
K	306.00	ppm	Alto

Tabla 4

Caracterización Fisicoquímica del estiércol caprino

Parámetro	Resultado	unidades	Interpretación
N	1.93	%	alto
P	1.03	%	Rango ideal
K	0.64	%	Rango ideal

b. Instalación y dosificación de los tratamientos en suelo

De acuerdo con Vallejo et al. (2005), Cruz (2009), Pérez (2009), fueron tomados 9 kg de los cuales fueron distribuidos Completamente Aleatorizado (Figura 6).

T2R2	T3R1	T2R1
T1R3	T1R2	T3R3
T3R2	T2R3	T1R1

Figura 6. Distribución Completamente al Azar de los tratamientos

c. Dosificación de los tratamientos

Conforme con la formulación realizada por Cruz (2009) y García (2009) se adicionó 78 ml de G95 al suelo limpio de todos los tratamientos y control; así como la cantidad de estiércol caprino según tratamiento. Las cantidades de estiércol se consideraron según estudios similares, como los estudios de Cárdenas (2017) y Buendía (2012). Respecto a la G95, se aplicó en la superficie de cada unidad experimental, y se dejó percolar 02 días, con relación a lo establecido por Olascoaga (2007) y la densidad del hidrocarburo de estudio. Posteriormente se adicionó agua tal como es mencionado por Arcila (2016) para mantener la humedad. Y se mantuvo el suelo oxigenado mediante volteo manual con una pala de acero inoxidable

d. Mediciones en los tratamientos

• Campo

- Se midieron de pH y C.E con un equipo multiparámetro marca HANNA HI98129 en suspensión 1:1, homogenizados por 03 minutos, de forma mensual.
- Se midió Temperatura con un termómetro punzón, tres veces por semana de acuerdo con Olascoaga (2007), a las 6 horas, 12 horas y 20 horas conforme Cárdenas (2017).
- Se controló la aireación cada 3 días con una pala de acero inoxidable.
- Se realizó mantenimiento de la humedad del suelo mediante riego tres veces por semana. Se aplicó 80 ml a cada tratamiento en proporción a lo establecido por Olascoaga (2007).

• Laboratorio

- La Humedad, se determinó por el método AS-05, el cual consiste en determinar la diferencia en pesos entre el suelo húmedo y suelo seco que fue secado a 105°C hasta obtener peso constante.
- Para las mediciones de los analitos de Nitrógeno, se realizaron mediante el método 4500-N en el laboratorio ALAB, pesando 10 mg. de muestra sometida a digestión por calentamiento con ácido sulfúrico 0.01 N, seguido de la medida a una absorbancia de 220 nm mediante un espectrofotómetro.
- Los analitos de Fósforo y Potasio se determinaron por el método EPA 3050B en el laboratorio ALAB, en donde se pesaron muestras de 2 g, que fueron sometidas a digestión con ácido

nítrico, peróxido de hidrogeno, ácido clorhídrico y finalmente fueron analizadas por un espectrómetro de emisión atómica.

- Las mediciones de las concentraciones de Hidrocarburos fracción 1 (HTP-F1) fueron colocadas previamente en un envase de vidrio, y analizadas por un cromatógrafo de gases (EPA 8015C) en el laboratorio ALAB.

e. Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico de los resultados de las concentraciones de las muestras de cada parámetro de estudio (HTP-F1, N, P y K) en el programa InfoStat/Estudiantil versión 2020e para estimar las medias, error estándar y generación de gráficos. Asimismo, se desarrolló la prueba de Normalidad de las concentraciones de cada parámetro, utilizando la prueba de Shapiro-Wilk. Se realizó la prueba de ANOVA, a fin de constatar diferencias significativas entre el control y los tratamientos. De las evaluaciones resultantes como significativas se propuso investigar que medias son distintas, para ello se realizó la prueba de Post Hoc HSD Tukey. Para evaluar las diferencias significativas entre la concentración inicial y final de cada tratamiento se usó la prueba de T- de student para muestras pareadas.

V. RESULTADOS

5. Análisis e Interpretación de los Resultados

5.1. Resultados de la biodegradación de HTP-F1

En las condiciones iniciales el control tuvo valores medianamente bajos con respecto a los tratamientos EC 5% y EC 20%, un análisis estadístico ANOVA ($p\text{-value} > 0.05$) indicó que ninguno de los tratamientos tuvo un valor significativo. En las condiciones finales, existe reducción de HTP en el control ($6.04 \pm 0.97 \text{ mg Kg s}^{-1}$), el EC 5% ($4.33 \pm 1.19 \text{ mg Kg s}^{-1}$) y el EC 20% ($1.00 \pm 0.00 \text{ mg/kg s}^{-1}$), el análisis de varianza con ANOVA ($p\text{-value} < 0.05$) indica diferencias significativas entre los tratamientos; la prueba de comparación de medias (HSD Tukey) indica que los tratamientos se agrupan en dos grupos, el control y el EC 5% en un grupo, diferenciado del EC 20% que se encuentra en otro grupo. El resultado en la remoción indica que el tratamiento con máxima remoción del HTP fue el de EC 20% ($97.98 \pm 0.35\%$), seguido de EC 5% ($91.35 \pm 0.69\%$) y del control, ($84.40 \pm 0.32\%$), la prueba ANOVA señala que existen diferencias significativas entre los tratamientos y el control ($p\text{-value} < 0.05$); según la prueba de HSD Tukey, se muestra que el control, el tratamiento EC 5% y EC 20% son significativamente diferentes. Y en la comparación de HTP inicial y HTP final en cada tratamiento (T-Pareada), indica que el control y el EC 20% son significativamente diferentes, mientras que para el EC 5% no presenta diferencias estadísticamente diferentes (Tabla 5, Figura 7)

Tabla 5

Biodegradación de HTP-F1 en la etapa inicial y final

Tratamiento	n	HTP Inicial (mg Kg s ⁻¹)	HTP Final (mg Kg s ⁻¹)	Remoción (%)	Comparación P-Value (T-Pareada)
Control	3	38.79±6.41 ^a	6.04±0.97 ^b	84.40±0.32 ^a	0.027**
EC 5%	3	52.43±17.76 ^a	4.33±1.19 ^b	91.35±0.69 ^b	0.101*
EC 20%	3	52.24±7.81 ^a	1.00±0.00 ^a	97.98±0.35 ^c	0.021**
P-Value (ANOVA)		0.663	0.008	0.000	

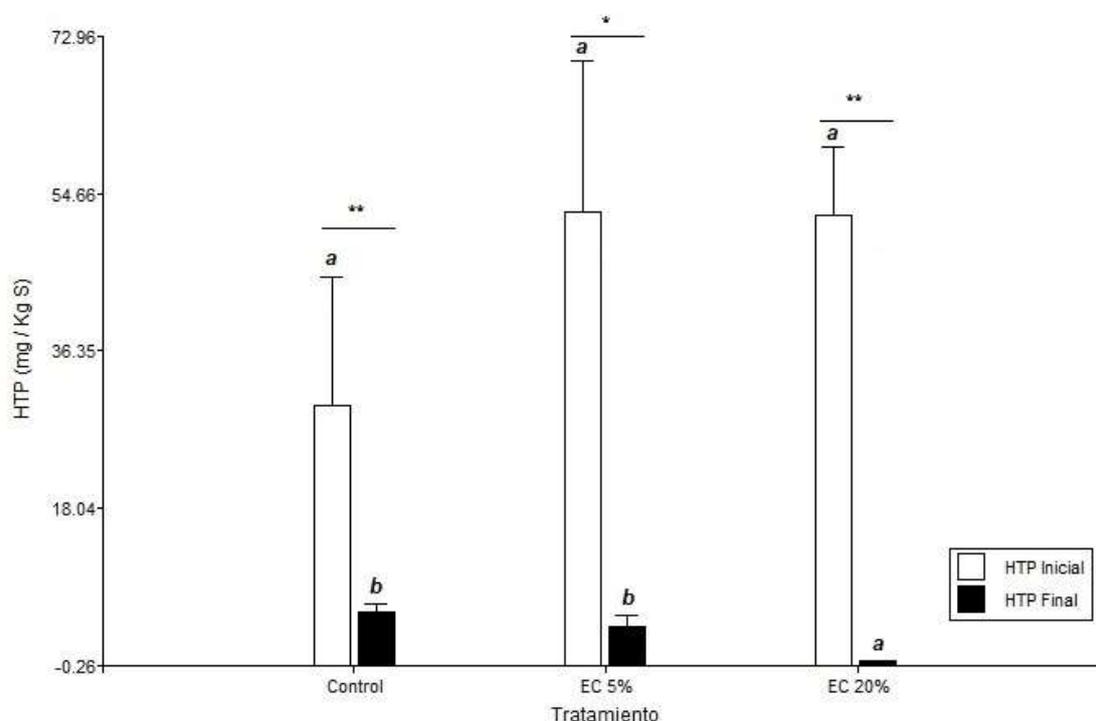


Figura 7. Biodegradación de HTP-F1 según tratamiento

5.2. Resultados del comportamiento de los macronutrientes en los suelos contaminados con TPH-F1

Respecto al Nitrógeno (N), en las condiciones iniciales el control tuvo valores medianamente bajos con respecto a los tratamientos EC 5% y EC 20%, un análisis estadístico ANOVA (p-value>0.05) indicó que ninguno de los tratamientos tuvo un valor significativo. En las condiciones finales, se presencia reducción de N en el control

($22.29 \pm 2.60 \text{ mg Kg s}^{-1}$), el EC 5% ($22.67 \pm 4.94 \text{ mg Kg s}^{-1}$) y el EC 20% ($15.90 \pm 0.91 \text{ mg/kg s}^{-1}$), el análisis de varianza con ANOVA ($p\text{-value} < 0.05$) indica diferencias significativas entre los tratamientos; la prueba de comparación de medias (HSD Tukey) indica que los tratamientos se agrupan en tres grupos diferenciados para el control, EC 5% y EC 20% respectivamente. El resultado en la variación indica que el tratamiento con mayor variación de N fue el de EC 20% ($56.32 \pm 2.55 \text{ mg Kg s}^{-1}$), seguido de el de EC 5% ($44.63 \pm 2.20 \text{ mg Kg s}^{-1}$) y del control, ($8.12 \pm 0.86 \text{ mg Kg s}^{-1}$), la prueba ANOVA señala que existen diferencias significativas entre los tratamientos y el control ($p\text{-value} < 0.05$); según la prueba de HSD Tukey, se muestra que el control y el tratamiento EC 5% se agrupan en un grupo, mientras que EC 20% es agrupado en otro grupo. Y en la comparación de las concentraciones de N inicial y N final en cada tratamiento (T-Pareada), indica que el EC 20% es significativamente diferente, mientras que para el control y EC 5% no presenta diferencias estadísticamente diferentes. (Tabla 6, Figura 8)

Respecto al Fósforo (P), en las condiciones iniciales se obtuvieron los valores esperados según metodología con respecto a los tratamientos control, EC 5% y el EC 20%, un análisis estadístico ANOVA ($p\text{-value} > 0.05$) indicó que ninguno de los tratamientos tuvo un valor significativo. En las condiciones finales, se presenta reducción de P en el control ($839.13 \pm 9.41 \text{ mg Kg s}^{-1}$), EC 5% ($575.30 \pm 9.92 \text{ mg Kg s}^{-1}$) y EC 20% ($959.23 \pm 13.41 \text{ mg/kg s}^{-1}$), el análisis de varianza con ANOVA ($p\text{-value} < 0.05$) indica diferencias significativas entre los tratamientos; la prueba de comparación de medias (HSD Tukey) indica que los tratamientos se agrupan en dos grupos, el control y EC 20% en un grupo diferenciados para el control, EC 5%, encontrándose en otro grupo. El resultado en la variación indica que el tratamiento con mayor variación de P fue el de EC 20% ($80.89 \pm 2.48 \text{ mg Kg s}^{-1}$), seguido de el de EC 5% ($41.10 \pm 2.07 \text{ mg Kg s}^{-1}$) y del control ($10.25 \pm 0.48 \text{ mg Kg s}^{-1}$), la prueba ANOVA señala que existen diferencias significativas entre los tratamientos y el control ($p\text{-value} < 0.05$); según la prueba de HSD

Tukey, se muestra el control y el tratamiento EC 5% en un grupo y EC 20% en otro grupo. Y en la comparación de las concentraciones de P inicial y P final en cada tratamiento (T-Pareada), indica que el control y los tratamientos EC 5% y EC 20% son significativamente diferentes (Tabla 6, Figura 9).

Respecto al Potasio (K), en las condiciones iniciales se obtuvieron los valores esperados según metodología con respecto a los tratamientos control, EC 5% y el EC 20%, un análisis estadístico ANOVA ($p\text{-value} > 0.05$) indicó que ninguno de los tratamientos tuvo un valor significativo. En las condiciones finales, se presenta reducción de K en el control ($1568.38 \pm 42.22 \text{ mg Kg s}^{-1}$), EC 5% ($978.51 \pm 16.01 \text{ mg Kg s}^{-1}$) y EC 20% ($1312.09 \pm 124.57 \text{ mg/kg s}^{-1}$), el análisis de varianza con ANOVA ($p\text{-value} < 0.05$) indica diferencias significativas entre los tratamientos; la prueba de comparación de medias (HSD Tukey) indica que los tratamientos se agrupan en dos grupos, el control y EC 20% en un grupo diferenciados para el EC 5%, encontrándose en otro grupo. El resultado en la variación indica que el tratamiento con mayor variación de K fue el de EC 20% ($80.89 \pm 2.40 \text{ mg Kg s}^{-1}$), seguido de el de EC 5% ($37.24 \pm 2.09 \text{ mg Kg s}^{-1}$) y del control ($6.94 \pm 0.88 \text{ mg Kg s}^{-1}$), la prueba ANOVA señala que existen diferencias significativas entre los tratamientos y el control ($p\text{-value} < 0.05$); según la prueba de HSD Tukey, se muestra el control y el tratamiento EC 5% en un grupo y EC 20% en otro grupo. Y en la comparación de las concentraciones de K inicial y K final en cada tratamiento (T-Pareada), indica que el control y los tratamientos EC 5% y EC 20% son significativamente diferentes (Tabla 6, Figura 10).

Tabla 6

Análisis de comparación de los macronutrientes en los tratamientos

TRATAMIENTO	N			
	Inicial (mg/Kg)	Final (mg/Kg)	Variación (mg/Kg)	Comparación p-value (T-pareada)
Control	24.21±2.58 ^a	22.29±2.60 ^a	8.12±0.86 ^a	0.381*
EC 5%	41.28±9.37 ^a	22.67±4.94 ^b	44.63±2.20 ^a	0.097*
EC 20%	36.70±3.36 ^a	15.90±0.91 ^c	56.32±2.55 ^b	0.023**
p-value (ANOVA)	0.583	0.000	0,008	

TRATAMIENTO	P			
	Inicial (mg/Kg)	Final (mg/Kg)	Variación (mg/Kg)	Comparación p-value (T-pareada)
Control	935.08±14.82 ^a	839.13±9.41 ^a	10.25±0.48 ^a	0.018**
EC 5%	978.12±19.94 ^a	575.30±9.92 ^b	41.10±2.07 ^a	0.005**
EC 20%	5231.10±817.13 ^a	959.23±13.41 ^a	80.89±2.48 ^b	0.34**
p-value (ANOVA)	0.768	0.001	0.001	

TRATAMIENTO	K			
	Inicial (mg/Kg)	Final (mg/Kg)	Variación (mg/Kg)	Comparación p-value (T-pareada)
Control	1685.65±45.92 ^a	1568.38±42.22 ^a	6.94±0.88 ^a	0.009**
EC 5%	1560.95±27.58 ^a	978.51±16.01 ^b	37.24±2.09 ^a	0.001**
EC 20%	6962.81±293.37 ^a	1312.09±124.57 ^a	80.99±2.40 ^b	0.005**
p-value (ANOVA)	0.404	0.000	0.000	

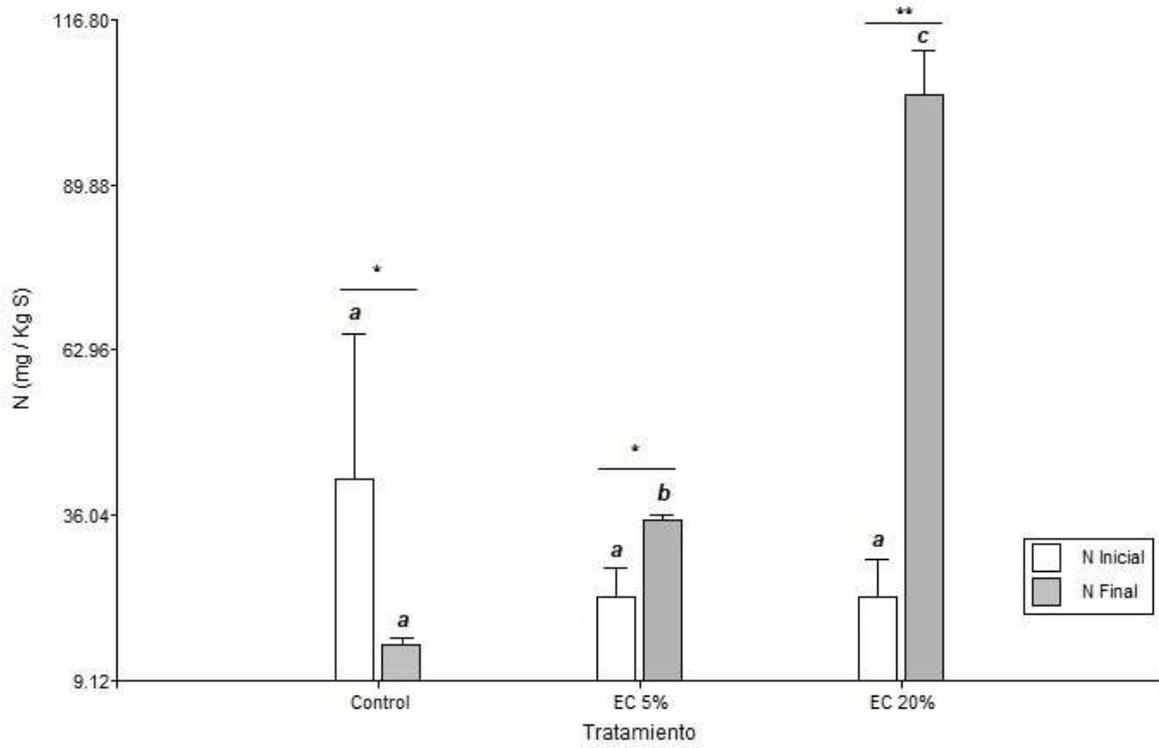


Figura 8. Evaluación del Nitrogeno en los suelos del control y tratamientos

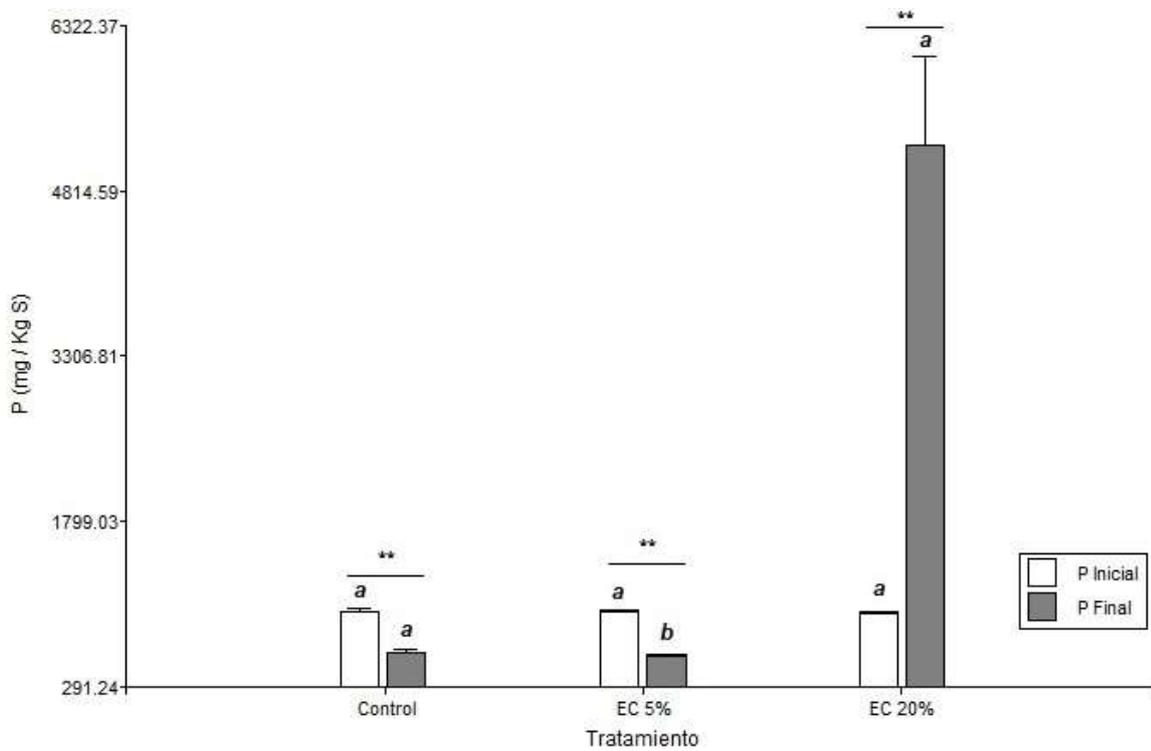


Figura 9. Evaluación del Fósforo en los suelos del control y tratamientos

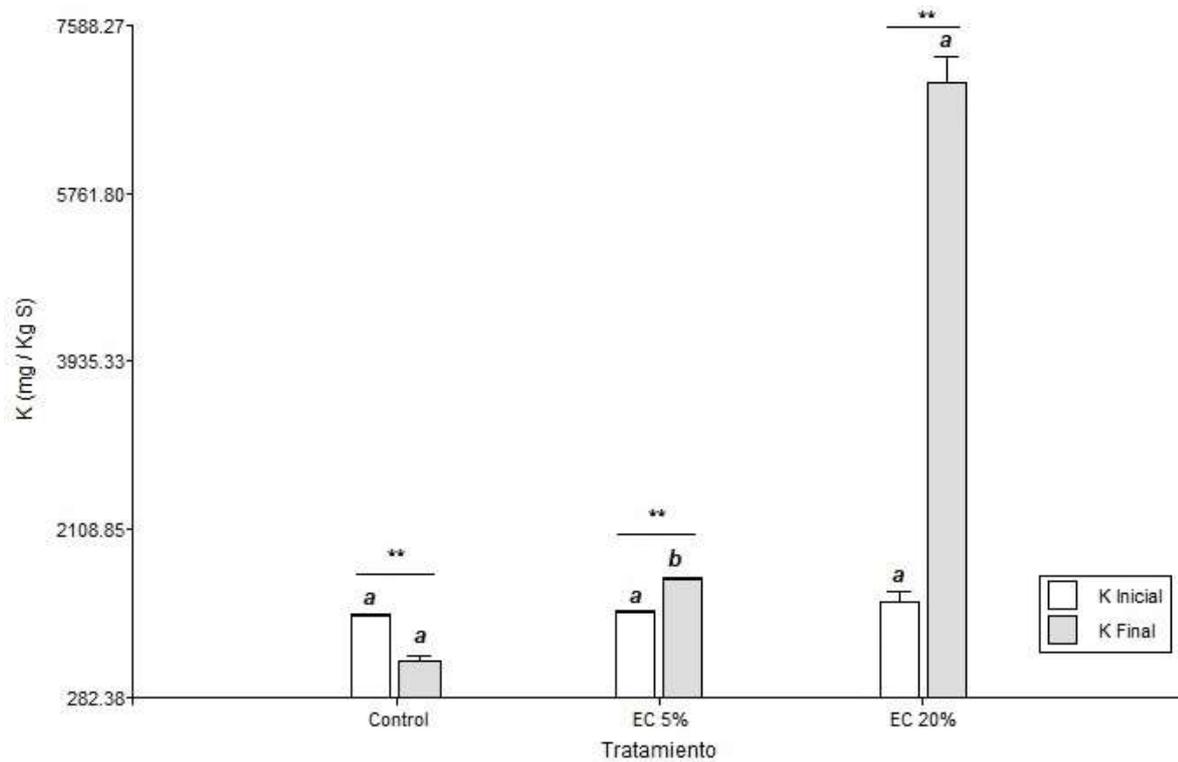


Figura 10. Evaluación del Potasio en los suelos del control y tratamientos

VI. DISCUSIONES

Respecto a los resultados iniciales de HTP, fueron menores en el control en comparación a los tratamientos debido al muestreo aleatorio al punto de contaminación para la toma de muestra, y en los mejores resultados finales de remoción fueron obtenidos en el tratamiento EC 20%, con concentración inicial de 52.24 ± 7.81 mg HTP kg^{-1} y final de 1.00 ± 0.00 mg HTP kg^{-1} con remoción de 97.98 % HTP-F1, sin embargo se evidenció también capacidad natural para biodegradar este contaminante en el control (84.40 %) por influencia de factores fisicoquímicos, y en el tratamiento EC 5% (91.35 %) por factores fisicoquímicos y adición de nutrientes también. Se observó que en las concentraciones de HTP-F1 en suelo fueron ligeramente menores a los altos porcentajes de remoción estudiado por Pérez et al (2015) con concentración con un 99.8% de remoción de HTP-F1 en su estudio con variables fisicoquímicas, Muñoz y Pacheco (2017) con 98.8% de HTP-F1 en su estudio con estiércol de gallina. Y se ha logrado mayor remoción de HTP-F1 que lo estudiado por Arcila (2016) en diésel con 90% de remoción, Buendía (2012) con 25% de remoción de HTP de fracciones mixtas en su estudio con estiércol de vaca y aserrín de bolaina; y Cárdenas (2017) con un 81% de remoción de HTP-F2 en su estudio con guano de islas. No obstante, todos los autores mencionados coinciden en la influencia de las variables fisicoquímicas para la autodepuración biológica natural y el tipo de hidrocarburo y es por ello que el control, que no se le adicionó nutrientes, se obtuvieron resultados muy convenientes también que fueron similares a lo estudiado por Cárdenas (2017), Jiménez (2018) y Curasi y Luque (2019). Además, los autores en mención realizaron una caracterización inicial de suelo para confirmar las condiciones fisicoquímicas ideales y normales que fueron similares a la caracterización del presente estudio, que se pudo haber debido al clima y estaciones de la zona geográfica de estudio.

Los resultados obtenidos de las concentraciones iniciales de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) fueron los resultados esperados conforme a la metodología propuesta. Los resultados finales de P y K son mayores en el EC 20%, seguido del EC 5% y del control, lo

cual es probable que se deba a las dosis administradas de estiércol para todos los tratamientos previo a su ejecución, sin embargo, el resultado final del N fue ligeramente menor en el EC 20%. Las variaciones más altas de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) fueron obtenidas en el tratamiento EC 20%, seguido del tratamiento EC 5% y del control.

Respecto al Nitrógeno (N), en los resultados finales de la variación en el control no fue significativo ya que al suelo no se le adicionó nutrientes, en el EC 5% hubo una reducción no significativa debido a la baja concentración de nutrientes aplicado obtenidos, sin embargo en sus promedios finales sí hubo una reducción significativa probablemente al consumo natural de los macronutrientes, y en el tratamiento EC 20% si hubo una variación significativa final debido a la mayor cantidad de nutrientes suministrada (56.32 mg kg⁻¹), además este resultado estuvo muy por debajo que lo estudiado por Arcila (2016) con 21 200 mg kg⁻¹, utilizando fertilizantes sintéticos (Solucat 25:5:5), lo que se adaptan a lo estudiado por Vallejo et al. (2016), que utilizó fertilizantes sintéticos (Abonagro 100:10:1) también, en donde sus estudios confirmaron que están dentro del rango de cantidades adecuadas para el desarrollo del ensayo. Aunque el estiércol caprino del presente estudio estuvo combinado con pajillas del corral que es probable haber influido. Y se cumple con lo indicado por Cruz (2009) que estimó que el aumento de las concentraciones Nitrógeno obtiene mayor remoción de hidrocarburos, ya que el Nitrógeno se encuentra mineralizado en el suelo acorde a su ciclo natural.

Respecto al Fósforo (P), en los resultados finales y variación en el control no fue significativo ya que el suelo conservaba concentraciones normales de P sin estimulación previa de otros sustratos, en el EC 5% tampoco hubo una reducción significativa en la variación probablemente debido a la baja dosis suministrada, sin embargo en sus promedios finales sí hubo una reducción significativa probablemente al consumo natural de los macronutrientes, y en el tratamiento EC 20% sí hubo una variación significativa final debido a la mayor cantidad de nutrientes suministrada (80.89 mg kg⁻¹), que presentaron similitudes en relación a los resultados de Arcila (2016) con variación de 83.87 mg kg⁻¹en

un periodo de 98 días, y Vallejo et al. (2016) con 95.2 mg kg^{-1} en un periodo de 60 días, lo cual al compararse con el presente periodo experimental de 120 días, se puede confirmar que el fósforo también se mantiene mineralizado, lo cual favorece la absorción casi instantánea en el suelo.

Respecto al Potasio (K), en los resultados finales y variación en el control no fue significativo ya que el suelo conservaba concentraciones inherentes de K inicialmente y sin ningún impulso de algún nutriente externo, y probablemente estas concentraciones existieron debido a que el suelo tomado era un suelo sano, en el EC 5% tampoco no hubo una reducción significativa en la variación probablemente debido la baja dosis de estiércol adicionado, sin embargo en sus promedios finales sí hubo una reducción significativa probablemente al consumo natural de los macronutrientes, y en el tratamiento EC 20% hubo una mayor diferencia significativa respecto a los demás tratamientos debido a la mayor cantidad de nutrientes suministrada (v 80.99 mg kg^{-1}), que fueron menores que Samanez (2008) en su tratamiento en un suelo sin fertilizante inorgánico, con variación de 178 mg kg^{-1} en un periodo de 90 días, y muy por debajo de los resultados de Arcila (2016) con variación de $387.35 \text{ mg kg}^{-1}$ en un periodo de 98 días siendo muy probable por el periodo más largo de la lectura de la muestra del presente estudio de 120 días. Corroborando que existe una alta interacción entre el potasio y el suelo.

Finalmente, la presente investigación dio a conocer la respuesta favorable de la adición de materia orgánica como el estiércol caprino en la remoción de HTP-F1 en los suelos contaminados con gasolina de 95 octanos, utilizando su potencial de biorremediación, el cual aporta a las demás alternativas sostenibles de remediación de suelos. Asimismo, es conveniente considerarla dentro de las medidas de remediación para suelos contaminados por derrames de gasolina de 95 octanos, ya que además es competitivo frente a otros métodos, asumiendo un valor estimado de venta de $\$/0.50$ por kg. de estiércol (Anexo 15). Además, es una manera eficiente de reutilizar un residuo pecuario, contribuyendo al desarrollo sostenible de las técnicas de remediación de suelos.

VII. CONCLUSIONES

En la investigación realizada en los suelos contaminados con gasolina de 95 octanos se llegó a la conclusión general de que la aplicación de estiércol caprino es un agente reductor de gasolina de 95 octanos que permite la remoción de TPH-F1.

La concentración óptima con estiércol caprino para su biorremediación es el tratamiento con estiércol al 20% (EC 20%), mostrándose estadísticamente significativa en comparación con el tratamiento al 5% (EC 5%) y el Control. Es decir, que ha logrado una mayor remoción de gasolina de 95 octanos ($97.98 \pm 0.35\%$) de forma práctica y funcional.

Los resultados de la investigación respecto a los macronutrientes revelaron que la variación de las concentraciones de Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Potasio (K) de un suelo contaminado con gasolina de 95 octanos tratado con estiércol caprino para su biorremediación es estadísticamente significativo en el tratamiento con estiércol al 20% (EC 20%), al haberse aplicado mayores concentraciones Nitrógeno, Fosforo y Potasio.

VIII. RECOMENDACIONES

- 1) Se da como primera recomendación realizar más repeticiones en experimentos similares para obtener mayor precisión en los resultados de las muestras y replicar esta metodología en suelos de clase textural franco-arenoso, ya que se comprobaron resultados favorables en este tipo de suelo.
- 2) Se recomienda acortar el periodo experimental para este tipo de hidrocarburos, ya que es posible lograr eficacia en su remediación en un periodo menor al expuesto en la presente investigación, y condicionar más humedad más frecuentemente en épocas de verano, ya que se observó el suelo secarse con mucha facilidad en este periodo. Y continuar con estudios posteriores de calidad de suelo y su aptitud según uso de suelo.
- 3) Finalmente, se recomienda emplear mayor volumen de suelo contaminado para cuantificar los resultados adecuadamente en los posteriores análisis, y realizar el presente método con otros hidrocarburos más pesados (fracción media a pesada), así como mediciones de emisiones gaseosas y estudiar otros agentes de volumen similares o aceleradores de compostaje.

IX. REFERENCIAS

- Adams, R., Zavala-Cruz, J. y Morales, F. (2008) Concentración residual de hidrocarburos en suelo trópico. II: Afectación a la fertilidad y su recuperación. *Interciencia.*, 33 (7), 483-489
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (1999) *Resúmenes de Salud Pública: Hidrocarburos Totales de Petróleo*. División de Toxicología y Medicina Ambiental.
- Alvåsen, K. (2007) *Farmer's perceptions and handling of livestock manure in urban/peri-urban areas of Kampala, Uganda*. Swedish University of Agricultural Science.
- API (1996) Introduction to Oil and Gas Production.
- Arcila, L. (2016). *Análisis comparativo de la eficiencia de productos para la biorremediación de suelos contaminados con diesel (UN 1202) utilizando métodos de bioestimulación y bioaumentación a escala piloto*. Universidad de La Salle
- Arroyo, O. (2006). La explotación caprina y el desarrollo de la sierra. *Agroenfoque*. 153, 68-72.
- Atlas, R y Bartha, R. (2001) *Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental*. 4ta edición. Addison Wesley. <https://doi.org/10.1007/s10123-001-0045-9>
- Belpoggi, P.; Soffritti, M. & Maltoni, C. (1995) Methyl-Tertiary-Butyl Ether (MTBE) a gasoline additive causes testicular and lymphohaematopoietic cancers in rats. *Toxicology and Industrial Health*, 11(2), 119-149. <https://doi.org/10.1177/074823379501100202>
- Benavides, J., Quintero, G., Guevara, A., Jaimes, D., Gutiérrez, S. y García, J. (2006) Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova*, 4(005), 82-90.

- Bergendahl, J. (2007). Environmental Issues of Gasoline Additives – Aqueous Solubility and Spills. *Thermodynamics, Solubility and Environmental Issues*. 245-258. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-044452707-3/50015-X>
- Bertoldi, M. & Zucconi, F. (1987) Composting of inorganic residues. *Environmental Systems*, 6 (3), 95-126.
- Brutti, L., Beltrán, M., y García, I. (2018). *Biorremediación de los Recursos Naturales*. Ediciones NTA.
- Buckman, H. & Lyon, T. (1977) The nature and properties of soils. Lyon, T.L., & Buckman, H.O. *The Nature and Properties of Soils*. *Journal of AOAC International*, 13, 294-294.
<https://doi.org/10.1093/jaoac/13.2.294a>
- Buendía, H. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércoles*. [título de postgrado] Repositorio institucional - Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Bustamante, J. (2007). *Remediación de suelos y aguas subterráneas por contaminación de hidrocarburos en los terminales de Mollendo y Salaverry de la costa peruana*. [título de grado] Repositorio institucional - Universidad Nacional de Ingeniería.
- Canasa, A. (2010). *Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana*. [título de grado] Repositorio institucional - Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cando, M. (2011). *Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos*. [título de grado] Repositorio institucional – Universidad Politécnica Salesiana
- Cárdenas, P. (2017). *Biodegradación de Hidrocarburos Totales de Petróleo por bioestimulación con cachaza y Guano Islas en suelos de la Refinería Conchan-*

- PetroPerú, Lima 2017. [título de grado] Repositorio institucional - Universidad Cesar Vallejo.*
- Casas, R. (2012) *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Ediciones Paraninfo.
- Castillo, F., Roldan, M. y Blasco R. (2005). *Biotecnología Ambiental*. Editorial Tébar.
- Celis, H. (2009) *Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa*. Universidad de Concepción
- Chadwick D., John, F., Pain, B., Chambers B. & Williams, J. (2000). Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: A laboratory experiment. *The journal of Agricultural Science*, 134(2), 159-168. <https://doi.org/10.1017/S0021859699007510>
- Chiquiza, J., y Ahumada, S. (2018) *Evaluación del manejo ambiental de los Residuos Sólidos Peligrosos generados en las estaciones de servicio de combustible localizadas en el municipio de Ubaté Cundinamarca*. [título de postgrado] Repositorio institucional – Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"
- Coyne, M. (2000) *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Editorial Paraninfo
- Cruz, J. (2009) *Biorremediación de suelos contaminados por gasolina utilizando distintas cantidades de estiércol vacuno en Torreón Coahuila*. [título de grado] Repositorio institucional – Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”
- Curasi, N., y Luque, M. (2019). *Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz*. Universidad Peruana Unión.
- Dean, B. (1985) Recent findings on the genetic toxicology of benzene, toluene, xilenes and phenols. *Mutation Research*, 154(3),153-181. [https://doi.org/10.1016/0165-1110\(85\)90016-8](https://doi.org/10.1016/0165-1110(85)90016-8)

D.S No 016-2012-AG [MIDAGRI]. Aprueban Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario. 14 de noviembre de 2012.

D.S No 002-2014-MINAM [MINAM]. Aprueban disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. 24 de marzo de 2014.

D.S No 012-2017-MINAM [MINAM]. Aprueban criterios para la gestión de sitios contaminados. 2 de diciembre de 2017.

D.S No 011-2017-MINAM [MINAM]. Aprueban estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. 2 de diciembre de 2017.

D.S No 014-2017-MINAM [MINAM]. Reglamento del Decreto Legislativo No 1278, Decreto Legislativo Aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 21 de diciembre de 2017

Deeb R.; Chu, K.; Shih, T. & Linder, S. (2003). MTBE and Other oxygenates: Environmental Sources, analysis, Occurrence, and Treatment. *Environmental Engineering Science*, 20(5) 433-447

Dua, M., Sing, A., Sethunathan, & Johri, A. (2002) Biotechnology and bioremediation: Successes and limitations. *Applied microbiology and biotechnology*, 59, 143-152. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1024-6>

EPA (2014) Best Practice Note: Landfarming. <https://www.epa.nsw.gov.au/~/-/media/EPA/Corporate%20Site/resources/clm/140323/landfarmbpn.ashx>

FAO (2013) *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*.

Flores, M., Torras, S y Téllez, R. (2004) Medidas de mitigación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre.

- Fukusaki, A. (2009) *Química Orgánica*. 2da Edición.
- García, N., Torre, M., Garza, M. & Acuña, K. (2006) Biodegradación de los componentes de mayor impacto en la gasolina, *Revista Científica CIENCIA UANL*, IX(4) 1405-1917.
- Gómez, S., Gutiérrez, D., Hernández, A., Hernández, C. L. y Mantilla, P. (2008) Factores bióticos y abióticos que condicionan la biorremediación por *Pseudomonas* en suelos contaminados por hidrocarburos. *NOVA* ,6(9), 71-84. DOI:10.22490/24629448.398
- IARC (2014) Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans: Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes .105.
- Iren, O.; Asawalam, D.; Oseke, V; John, N (2011) Effects of animal manures and urea fertilizer as nitrogen sources for *Amaranthus* growth and yield in a rainforest ultisol in Nigeria. *World Journal of Applied Science and Technology*, 3(1), 73-78.
- Jiménez, V. (2018). *Desarrollo de una metodología mediante acoplamiento de bioaugmentación, bioestimulación y bioventeo para la remediación de un suelo costero contaminado con hidrocarburos intemperizados*. CIATEC.
- Labardini-Flores, T. y Ramírez-Delgado, A. (2002) *Química Orgánica*. 14ª edición, Esfinge.
- León, J. (2019) Determinantes Económicos Y Sociopolíticos de los Conflictos Socioambientales en el Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(2), 122-138. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.456>
- Ley General del Ambiente. Por la cual se establece normas para la gestión ambiental en Perú. No 28611
- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Por la cual se establece los lineamientos para gestión y manejo de los residuos sólidos en Perú. No 1278
- López, S., Serrato, R., Castelan, O., & Aviles, F. (2018). Comparación entre dos métodos de ventilación en la composición química de compost de estiércoles pecuarios. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2) 263-271. doi:10.20937

Lozano, V. (2012) *Diseño de biodigestores para las familias caprinocultoras de la cuenca baja del río Chillón*. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Michigan State University (2003) BSD: the Biodegradative Strain Database, Center for microbial Ecology. DOI: 10.1093/nar/gkg032

MIDAGRI (2019). MINAGRI conforma Comisión Técnica Regional de Innovación Agraria en la Región Piura. Consultado el 01 de diciembre de 2020. <https://www.inia.gob.pe/2019-nota-088/>

MIDAGRI (2020). MINAGRI capacita a productores de Huaral y Huaura en biotecnología reproductiva de ovino y caprino. Consultado el 01 de diciembre 2020. <https://www.inia.gob.pe/2020-nota-024/>

MINAM. (2014) *Guía para el Muestreo de suelos*. Dirección general de Calidad Ambiental.

MINAM. (2014) *Guía para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos*. Dirección general de Calidad Ambiental

MINAM (2016) Glosario de términos: Sitios Contaminados. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>

MINAM (2017) *Cifras Ambientales*. <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/cifras-ambientales-2017>

MINAGRI (2019) MINAGRI conforma Comisión Técnica Regional De Innovación Agraria en la región Piura. <https://www.inia.gob.pe/2019-nota-088/>

MINAGRI (2020) MINAGRI capacita a productores de Huaral y Huaura en biotecnología reproductiva de ovino y caprino. <https://www.inia.gob.pe/2020-nota-024/>

Muli, M; Saha, H. (2000) *Characterization of readily available organic manures in coastal Kenya*. Kenya Agricultural Research Institute

Municipalidad de Santiago de Surco. (2017). *Compendio estadístico 2016*. Gerencia de Planeamiento.

http://www.munisurco.gob.pe/municipio/laGestion/transparencia/compendios_estadisticos/COMPENDIO_ESTADISTICO_2016.pdf

Muñoz, J., y Pacheco, M. (2017). Colonias bacterianas presentes en el estiércol de gallinas blancas de la cepa leghorn responsables de la biodegradación de petróleo en suelos contaminados [título de grado] Repositorio institucional – Universidad Wiener.

Olascoaga, L. (2007) *Biorremediación de suelos contaminados con aceite lubricante residual utilizando excretas de vacunos y porcinos*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Pérez, A. (2009). Biorremediación de suelos contaminados con gasolina utilizando estiércol de caballo en torreón Coahuila. [título de grado] Repositorio institucional – Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

Pérez, R., Camacho, M., Gómez, J., Ábalos, A., Vinas, M., & Cantero, D. (2008) Aislamiento y selección de una cepa bacteriana degradadora de hidrocarburos a partir de suelos contaminados con petróleo. *CENIC Ciencias Biológicas*, 39(1), 44-51.

Pérez, S., Silva, I., Peñuela, G., y Cardona, S. (2015). Evaluación de biocombustibles e hidrocarburos del petróleo (gasolina y diésel) en un suelo: proceso de transporte y biorremediación. *Revista EIA*, 2, 21-46.
<http://dx.doi.org/10.14508/reia.2015.12.E2.21-46>

PetroPerú (2013) Ficha de datos de seguridad: gasolina 95 octanos.

Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003) *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ra edición, Ediciones Mundi-Prensa.

Porta, J.; Casanellas, Lopez-Acevedo, M. & Poch, R. (2019) *Edafología: uso y protección de suelos*. 4ta edición, Ediciones Mundi-Prensa

- Pozzo, M., Manacorda, A., Altamirano, G., Pellejero, G., Aschkar, G., Pozzo, C y Lizzi, F. (1996) Biodegradación de residuos de petróleo por bioaumentación con bacterias nativas en suelos regionales. *Gerencia Ambiental*, 391-393.
- Rigau, A. (1981) *Los Abonos: Su preparación y empleo: Guía para el Agricultor*. 6ta edición. Sintés Les Fonts de Terrasa.
- Samanez, E. (2008). Biodegradación bacteriana por bioestimulación en suelos contaminados con petróleo crudo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2014) *Metodología de la Investigación*. Sexta edición. McGrawHill.
- Semple, K. & Reid, J. & Fermor, T. (2001) Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environmental Pollution*, 112(2), 269-283. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00099-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00099-3)
- Stiner, L & Halverson L. (2002). Development and characterization of a green fluorescent protein-based bacterial biosensor for bioavailable toluene and related compounds *Applied and environmental microbiology*, 68(4), 1962–1971. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.4.1962-1971.2002>
- Sylvia, D., Fuhrmann, J., Hartel, P., & Zuberer, D. (1999) *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Prentice Hall.
- USDA (1993) *Soil survey division staff: Soil Survey Manual*. Handbook N° 18.
- U.S Department of Transportation, Transports Canada & Centro de Información Química para Emergencias (2020) *Guía de respuesta en caso de Emergencia 2020*.
- Vallejo, V., Salgado, L., & Roldan, F. (2005) Evaluación de la Bioestimulación en la Biodegradación de TPH en suelos contaminados con petróleo. *Revista Colombiana de Biotecnología*, II (2), 67-78.

Vallejo, V., Sandoval, J., Garagoa, S y Bastos, J. (2016) Evaluación del efecto de la bioestimulación sobre la biorremediación de hidrocarburos en suelos contaminados con alquitrán en Soacha, Cundinamarca - Colombia. *Acta Agronómica*, 65(4), 354-361. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n4.51013>

Vargas, J., Zaragoza, L., Delgado, J. y Rodríguez, G. (2016) *Biodiversidad caprina iberoamericana*. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia

Viladi, M. (2001) Bioremediation: An overview. *Pure and Applied Chemistry*, 73(7), 1163-1172

X. ABREVIATURAS

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

C.E: Conductividad Eléctrica

C/N: Relación Carbono/Nitrógeno

ECA: Estándar de Calidad Ambiental

EPA: Environmental Protection Agency

HTP: Hidrocarburos Totales del Petróleo

HTP-F1: Hidrocarburos Totales del Petróleo – Fracción 1

MINAM: Ministerio del Ambiente

M.O: Materia Orgánica

MSDS: Material Safety Data Sheet

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

PASH: Pasivos Ambientales del Sector Hidrocarburos

pH: Potencial de Hidrogeno

UFC: Unidades Formadoras de Colonias

USDA: United States Department of Agriculture

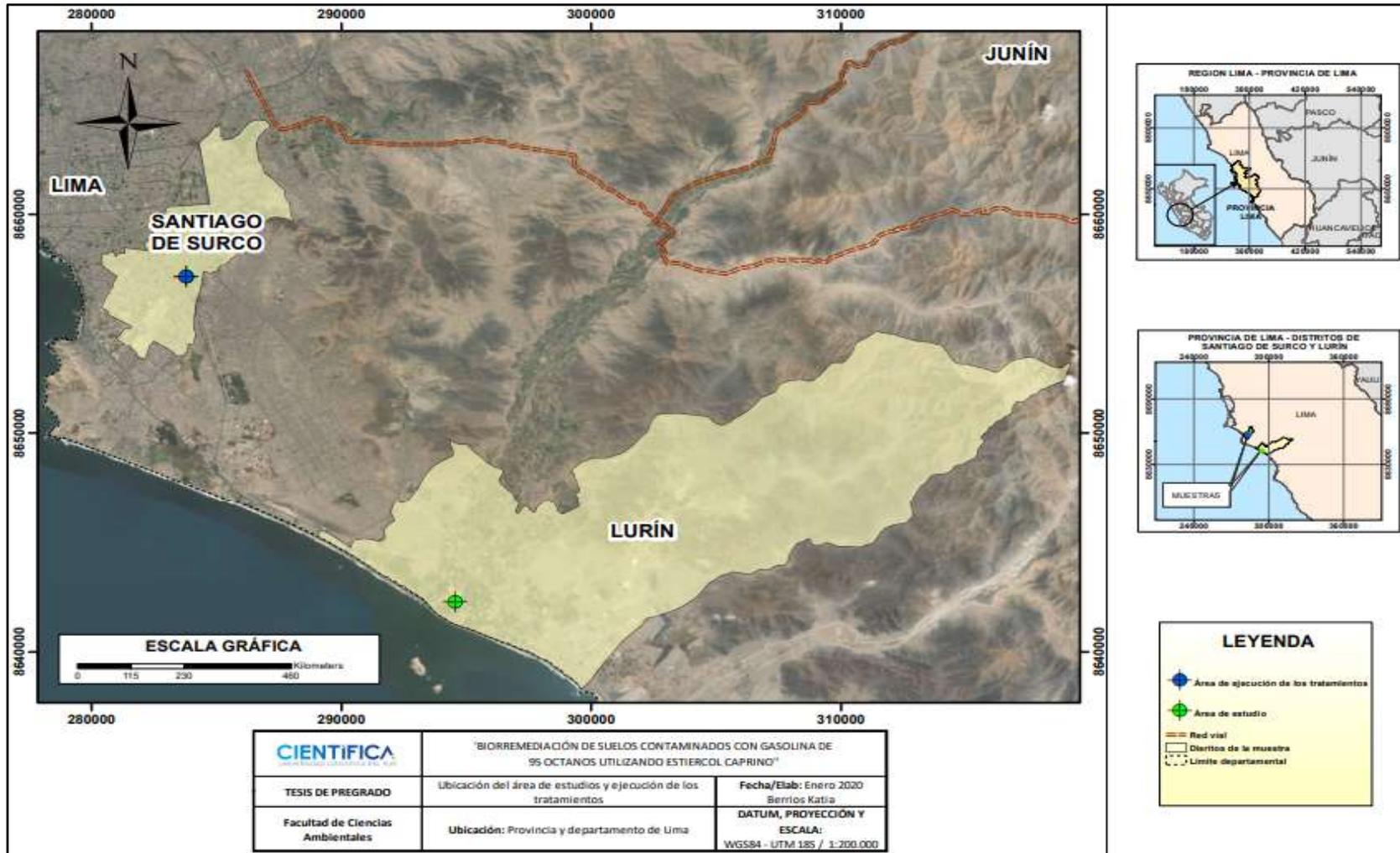
UTM: Transversal Universal de Mercator

XII. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

TÍTULO: Biorremediación de suelos contaminados con gasolina de 95 octanos utilizando estiércol caprino			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<i>General</i>	<i>General</i>	<i>General</i>	<i>Independiente</i>
¿Existe relación entre la contaminación de suelos con gasolina de 95 octanos y su biorremediación utilizando estiércol caprino?	Evaluar la capacidad de biorremediación del estiércol caprino en el proceso de contaminación de suelos con gasolina de 95 octanos.	El estiércol caprino permite la remoción de gasolina 95 octanos del suelo contaminado	Biorremediación con estiércol caprino
<i>Específicos</i>	<i>Específicos</i>		<i>Dependiente</i>
¿Es posible hallar la concentración de estiércol caprino óptima para reducir la contaminación del suelo por gasolina de 95 octanos?	Evaluar el contenido óptimo de estiércol caprino para reducir la contaminación del suelo por gasolina de 95 octanos.		Suelos contaminados con gasolina de 95 octanos
¿Es posible hallar la variación de macronutrientes (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) en los suelos contaminados con gasolina de 95 octanos?	Evaluar el comportamiento de macronutrientes (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) en los suelos contaminados con gasolina de 95 octanos.		

Anexo 2. Ubicación del área de estudio y ejecución de los tratamientos



Anexo 3. Condiciones climatológicas del distrito de Santiago de Surco

Temperatura		Pp* mensual promedio
verano	21.4°C - 28.5°C	0.0 - 3.2 mm
Humedad		Altura
verano	81.7% - 83.6%	25 msnm

Nota. Reproducido de Compendio Estadístico 2016 MuniSurco.

* Pp: Precipitación

Anexo 4. Caracterización Físicoquímica del suelo

Parámetro	Resultado	unidades	Interpretación	
Humedad ^a	26.52	%	Ligeramente Húmedo	
pH	7.55	-	Medianamente alcalino	
C.E	3.35	dS/m	Ligeramente salino	
M.O	1.10	%	Bajo	
CaCO ₃	3.10	%	Mediano	
Clase textural	Arena	66 (%)	Franco Arenoso	
	Limo	27 (%)		
	Arcilla	7 (%)		
C.I.C	5.60	meq/100g	Bajo	
Cationes Cambiables	Ca ⁺²	2.28	meq/100g	Bajo
	Mg ⁺²	1.03	meq/100g	Bajo
	K ⁺	0.64	meq/100g	Medio
	Na ⁺	1.65	meq/100g	-
	Al ⁺³ + H ⁺	0.00	meq/100g	Bajo
P	49,7	ppm	alto	
K	306.00	ppm	alto	

Nota. Adaptado del Laboratorio LASPAF UNALM

^a. Elaboración propia

Anexo 5. Caracterización Físicoquímica del estiércol caprino

Parámetro	Resultado	unidades	Interpretación
Humedad ^a	53.90	%	Rango ideal
pH	7.90	-	Rango ideal
C.E	4.73	dS/m	Salino
M.O	76.85	%	Muy Alto
C ^a	44.58	%	Medio
N	1.93	%	alto
C/N ^a	23.10	%	Rango ideal
P ₂ O ₅	1.03	%	Rango ideal
K ₂ O	0.64	%	Rango ideal
CaO	5.06	%	Medio
MgO	0.95	%	Baja
Na	0.27	%	Baja

Nota. Adaptado de los resultados del Laboratorio LASPAF UNALM

^a. Elaboración propia

Anexo 6. Caracterización microbiológica del suelo y estiércol caprino

Muestra	Bacterias (UFC/g)	Hongos (UFC/g)	tinción gram	tinción hongos
Suelo limpio	74x10 ⁵	7x10 ⁶	gram (+) y (-)	positivo
Estiércol caprino	11x10 ⁵	5x10 ⁵	gram (+) y (-)	positivo

Anexo 7. Prueba Post-hoc de Tukey de los tratamientos y HTP-F1

HSD Tukey				
Porcentaje de Remoción HTP				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Control	3	84,4000		
EC 5%	3		91,3467	
EC 20%	3			99,7400
Sig.		1.000	1.000	1.000

Anexo 8. Distribución de medias de la variación de las concentraciones de Nitrógeno, (N), Fosforo (P) y Potasio (K) según tratamientos

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Variación de N	Entre grupos	18227,927	2	9113,963	12,027	,008
	Dentro de grupos	4546,593	6	757,766		
	Total	22774,520	8			
Variación de P	Entre grupos	43440374,66	2	21720187,33	33,052	,001
	Dentro de grupos	3942914,118	6	657152,353		
	Total	47383288,78	8			
Variación de K	Entre grupos	66468881,11	2	33234440,56	216,839	,000
	Dentro de grupos	919607,795	6	153267,966		
	Total	67388488,91	8			

Anexo 9. Prueba Post-hoc de Tukey de los tratamientos según N

HSD Tukey			
Variación de N			
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Control	3		26,9000
EC 5%	3		-12,5333
EC 20%	3	-81,9667	
Sig.		1.000	0.262

Anexo 10. Prueba Post-hoc de Tukey de los tratamientos según P

HSD Tukey			
Variación de P			
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Control	3	374,4467	
EC 5%	3	402,8200	
EC 20%	3		-4271,8733
Sig.		1.000	0.999

Anexo 11. Prueba Post-hoc de Tukey de los tratamientos según K

HSD Tukey			
Variación de K			
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Control	3		492,7333
EC 5%	3		-359,1000
EC 20%	3	-5650,7200	
Sig.		1.000	0.083

Anexo 12. Comportamiento del pH en el control y tratamientos

<p>pH promedio del control EC 5% y EC 20%</p>	<table border="1"> <caption>Data extracted from the pH graph</caption> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Control</th> <th>EC 5%</th> <th>EC 20%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/03/2020</td> <td>7.78</td> <td>7.85</td> <td>8.22</td> </tr> <tr> <td>1/04/2020</td> <td>7.75</td> <td>8.62</td> <td>8.62</td> </tr> <tr> <td>1/05/2020</td> <td>7.78</td> <td>7.58</td> <td>7.03</td> </tr> <tr> <td>1/06/2020</td> <td>7.92</td> <td>7.70</td> <td>7.52</td> </tr> <tr> <td>1/07/2020</td> <td>8.85</td> <td>8.22</td> <td>8.45</td> </tr> </tbody> </table>	Fecha	Control	EC 5%	EC 20%	1/03/2020	7.78	7.85	8.22	1/04/2020	7.75	8.62	8.62	1/05/2020	7.78	7.58	7.03	1/06/2020	7.92	7.70	7.52	1/07/2020	8.85	8.22	8.45
Fecha	Control	EC 5%	EC 20%																						
1/03/2020	7.78	7.85	8.22																						
1/04/2020	7.75	8.62	8.62																						
1/05/2020	7.78	7.58	7.03																						
1/06/2020	7.92	7.70	7.52																						
1/07/2020	8.85	8.22	8.45																						
<p>Interpretación</p>	<p>En los valores presentados promediados de los tratamientos, Se observa en el control los valores de pH neutros desde 7.68 hasta valores ligeramente alcalinos de 8.85, los cuales han ido ascendiendo en relación al transcurso del tiempo.</p> <p>Se observa en los tratamientos EC al 5% que presentaron valores de pH neutros desde 7.49 hasta valores ligeramente alcalinos de 8.62. Estos valores son similares a la curva del comportamiento del pH en un proceso de compostaje, en donde estos valores varían ascendiendo en la etapa termofílica, principalmente, en relación al transcurso del tiempo.</p> <p>Se observa en los tratamientos EC al 20% que presentaron valores de pH neutros desde 7.03 hasta valores ligeramente alcalinos de 8.78. Estos valores son similares a la curva del comportamiento del pH en un proceso de compostaje, en donde estos valores varían desde su etapa mesofílica, va ascendiendo en la etapa termofílica, luego desciende en la etapa mesofílica para ir alcanzando un pH equilibrado en la etapa de maduración en relación al transcurso del tiempo.</p>																								

Anexo 13. Comportamiento de la C.E en el control y tratamientos

<p>C.E promedio del control EC 5% y EC 20%</p>	<table border="1"> <caption>Data extracted from the line graph</caption> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Control (mS/cm)</th> <th>EC 5% (mS/cm)</th> <th>EC 20% (mS/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/03/2020</td> <td>2.14</td> <td>2.88</td> <td>3.24</td> </tr> <tr> <td>1/04/2020</td> <td>1.75</td> <td>2.70</td> <td>2.80</td> </tr> <tr> <td>1/05/2020</td> <td>1.25</td> <td>1.45</td> <td>2.15</td> </tr> <tr> <td>1/06/2020</td> <td>0.75</td> <td>0.40</td> <td>0.65</td> </tr> <tr> <td>1/07/2020</td> <td>0.19</td> <td>0.13</td> <td>0.26</td> </tr> </tbody> </table>	Fecha	Control (mS/cm)	EC 5% (mS/cm)	EC 20% (mS/cm)	1/03/2020	2.14	2.88	3.24	1/04/2020	1.75	2.70	2.80	1/05/2020	1.25	1.45	2.15	1/06/2020	0.75	0.40	0.65	1/07/2020	0.19	0.13	0.26
Fecha	Control (mS/cm)	EC 5% (mS/cm)	EC 20% (mS/cm)																						
1/03/2020	2.14	2.88	3.24																						
1/04/2020	1.75	2.70	2.80																						
1/05/2020	1.25	1.45	2.15																						
1/06/2020	0.75	0.40	0.65																						
1/07/2020	0.19	0.13	0.26																						
<p>Interpretación</p>	<p>Se observa en los valores presentados promediados de los tratamientos, en el control las muestras presentaron valores de Conductividad eléctrica (C.E) desde 0.19 mS/cm como valor mínimo en el mes de julio y hasta 2.14 mS/cm como valor máximo en el mes de marzo. Se observa que estos valores van descendiendo en relación al tiempo. Todos los valores corresponden a un nivel bajo en salinidad.</p> <p>Se observa en los tratamientos EC al 5% que presentaron valores de Conductividad eléctrica (C.E) desde 0.13 mS/cm como valor mínimo en el mes de junio y hasta 2.88 mS/cm como valor máximo en el mes de marzo. Se observa que estos valores descendieron en relación al tiempo a partir del tercer mes (mayo). Todos los valores corresponden a un nivel bajo en salinidad.</p> <p>Se observa en los tratamientos EC al 20% que presentaron valores de Conductividad eléctrica (C.E) desde 0.26 mS/cm como valor mínimo en el mes de julio y hasta 3.24 mS/cm como valor máximo en el mes de marzo. Se observa que estos valores descendieron progresivamente en relación al tiempo, obteniendo sus valores más bajos en los meses de junio y julio. Todos los valores corresponden a un nivel bajo en salinidad</p>																								

Anexo 14. Comportamiento de la Humedad en el control y tratamientos

<p>Humedad del control EC 5% y EC 20%</p>	<table border="1"> <caption>Data from the bar chart: Moisture loss percentage (%)</caption> <thead> <tr> <th>Treatment</th> <th>R1 (%)</th> <th>R2 (%)</th> <th>R3 (%)</th> <th>Mean (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Control</td> <td>~83</td> <td>90.7</td> <td>~81</td> <td>85.31</td> </tr> <tr> <td>EC 5%</td> <td>~81</td> <td>~74</td> <td>~76</td> <td>76.87</td> </tr> <tr> <td>EC 20%</td> <td>~65</td> <td>~62</td> <td>~57</td> <td>61.64</td> </tr> </tbody> </table>	Treatment	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	Mean (%)	Control	~83	90.7	~81	85.31	EC 5%	~81	~74	~76	76.87	EC 20%	~65	~62	~57	61.64
Treatment	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	Mean (%)																	
Control	~83	90.7	~81	85.31																	
EC 5%	~81	~74	~76	76.87																	
EC 20%	~65	~62	~57	61.64																	
<p>Interpretación</p>	<p>Se observa en los valores presentados y promediados de los tratamientos, en el Control presentaron valores de pérdida de Humedad (%) más altos con un valor máximo 90.7 % con un promedio de 85.31% de pérdida de humedad. En los tratamientos con EC al 5% presentaron valores máximos de 80.99% con un promedio de 76.87% de pérdida de humedad, y en los tratamientos EC al 20% presentaron valores máximos de hasta 65.57 % de pérdida de humedad con un promedio de 61.64% de pérdida de humedad. Se interpreta, en base a estos valores, que los tratamientos con mayor cantidad de estiércol caprino tendrán la capacidad de retener más humedad en comparación de los que tienen menos cantidades de estiércol y los que no tienen estiércol en sus tratamientos. Se puede apreciar gráficamente que los tratamientos han perdido humedad de forma descendente desde el Control hasta el tratamiento con EC al 20%</p>																				

Anexo 15. Comparativo de costos de remediación de suelos

Costos de remediación según método

Tipo de tratamiento	(\$ /Ton)
Bioventeo	10-140
Biopila	30-110
Landfarming	5-30
Lavado de suelos	75-600
Calentamiento por resistividad eléctrica	30-400
Desorción térmica a elevada T	350-450
Incineración	500-1000
Excavación + vertedero	35
Biorremediación con estiércol caprino ^a	27

Nota. Adaptado de “How to Evaluate Alternative Clean up technologies for underground Storage tank sites: A guide for corrective Action Plan reviewers.” EPA,2004, *EPA documents*; “Possibilities, limits, and future developments of soil bioremediation”. Klein, J., 2000, *Environmental processes II. Soil Decontamination, Biotechnology*, vol. 11 b pp.465-476; “Soil-washing processes for site remediation”, Dennis et al., 1994, *Remediation of Hazardous waste contaminated soils*, pp. 745-778; y elaboración propia.

^a. Los valores fueron estimados en caso de que el kg. de estiércol caprino se vendiera a s/ 0.50.

Anexo 16. Informes de análisis

16.1 Análisis de Caracterización de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : KATHIA BERRIOS MORON

Departamento : LIMA
Distrito : LURIN
Referencia : H.R. 71051-153C-19

Bolt: 3829

Provincia : LIMA
Predio :
Fecha : 13/12/19

Lab	Numero de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dSm	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺ meq/100g	Mg ²⁺ meq/100g	K ⁺ meq/100g	Na ⁺ meq/100g	Al ³⁺ + H ⁺ meq/100g			
11621	-	7.55	3.35	3.10	1.10	49.7	306	66	27	7	Fr.A.	5.60	2.28	1.03	0.64	1.65	0.00	5.60	5.60	100

A = Arena ; A.F. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254
e-mail: lab_suelo@lamolina.edu.pe

METODOS SEGUIDOS EN EL ANALISIS DE SUELOS

- Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
- Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
- pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 o en suspensión suelo: KCl N. relación 1:2.5.
- Calcáreo total (CaCO₃): método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
- Materia orgánica: método de Walkley y Black; oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. %M.O. = %C x 1.724.
- Nitrógeno total: método del micro-Kjeldahl.
- Fósforo disponible: método del Olsen modificado; extracción con NaHCO₃-0.5M, pH 8.5.
- Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄), pH 7.0.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄), pH 7.0.
- Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄), pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y absorción atómica.
- Al³⁺, H⁺: método de Yuan; Extracción con KCl, N.
- iones solubles:
 - Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ solubles: fotometría de llama y absorción atómica.
 - Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻ solubles: volumetría y colorimetría, SO₄²⁻ turbidimetría con cloruro de Bario.
 - Boro soluble: extracción con agua; cuantificación con cuantimetría.
 - Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetina.

Equivalencias:
1 ppm = 1 mg/kilogramo
1 mililitro (ml) = 1 decímetro cúbico
1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+) / kg
Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes
CE (1:1) milimhos x 2 = CE(es) milimhos

TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad		Materia Orgánica			Fósforo disponible	Potasio disponible	Relaciones Cationicas		
Clasificación del Suelo	CE(es)	CLASIFICACION	%	ppm P	ppm K	Clasificación	K/Mg	Ca/Mg	
*muy ligeramente salino	<2	*bajo	<2.0	<7.0	<100	*Normal	0.2 - 0.3	5 - 9	
*ligeramente salino	2 - 4	*medio	2 - 4	7.0 - 14.0	100 - 240	*defc. Mg	>0.5		
*moderadamente salino	4 - 8	*alto	>4.0	>14.0	>240	*defc. K	>0.2	>10	
*fuertemente salino	>8					*defc. Mg			

Reacción o pH		CLASES TEXTURALES				Distribución de Cationes %	
Clasificación del Suelo	pH	A	A.Fr	Fr.A	Fr.Ar.A	Ca ²⁺	
*fuertemente ácido	<5.5	- arena	- arena franca	- franco arenoso	- franco arcillo arenoso	=	60 - 75
*moderadamente ácido	5.5 - 6.0					=	15 - 20
*ligeramente ácido	6.1 - 6.5					=	3 - 7
*neutro	6.6 - 7.0					=	<15
*ligeramente alcalino	7.1 - 7.8						
*moderadamente alcalino	7.9 - 8.4						
*fuertemente alcalino	>8.5						

16.2. Análisis de Caracterización del estiércol caprino



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : KATHA BERRIOS MORON
 PROCEDENCIA : LIMA LIMA VILA EL SALVADOR
 MUESTRA : ESTIERCOL DE CAPRINO
 REFERENCIA : H.R. 71052
 BOLETA : 3829
 FECHA : 16/12/19

N° LAB	CLAVES	pH	C E g/5m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
1523		7.90	4.73	29.85	1.93	1.03	2.94

N° LAB	CLAVES	CaD %	MgO %	Hd %	Na %
1523		3.08	0.25	53.80	0.27


 Ing. Ezequiel La Torre Martínez
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Tel: 814-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-8622
 Celular: 980-506-254
 e-mail: labuclo@lamolina.edu.pe

16.3. Análisis de informes de las concentraciones iniciales de HTP, N, P y K en los suelos



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-1068

I- DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	BERRIOS MORON KATIA DUNIE
2.-DIRECCIÓN	CESAR VALLEJO 543- SURCO
3.-PROYECTO	TESIS
4.-PROCEDENCIA	NO INDICA
5.-SOLICITANTE	BERRIOS MORON KATIA DUNIE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	OS-20-0289
7.-PLAN DE MONITOREO	NO APLICA
8.-MUESTREO POR	EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	2020-03-25

II- DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	SUELO
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	9
3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2020-03-10
4.-PERÍODO DE ENSAYO	2020-03-10 al 2020-03-25



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
N° CIP 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
Email: ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

Página 1 de 4



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
 ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
 CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-1068

II. METODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TITULO
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 1 (C6 - C10) ¹	EPA METHOD 8015C Rev. 03 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
Metasles Totales ²	EPA Method 3050B - Rev.2 / EPA Method 200.7 - Rev. 4.4	Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Nitrógeno Total ⁽¹⁾	NOM-021-AS-08/SIMWEE Part 4500 NHD, 4500NOB, 4500NO3 E	Nitrógeno Total - Suelo

¹EPA[®] : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

²NOM[®] : Norma Oficial Mexicana

⁽¹⁾ El ensayo indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA e IAS

¹ Ensayo Acreditado por el INACAL- DA

² Ensayo acreditado por el IAS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-1068

N. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-20-03082	M-20-03083	M-20-03084	M-20-03085	M-20-03086	M-20-03087		
CÓDIGO DEL CLIENTE	TDR1	TDR2	TDR3	T1R1	T1R2	T1R3		
COORDENADAS	NO INDICA							
UTM WGS 84								
PRODUCTO	SUELO							
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA							
MUESTREO	FECHA	2020-03-10	2020-03-10	2020-03-10	2020-03-10	2020-03-10		
	HORA	14:00	14:05	14:00	14:00	14:00		
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS					
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 1 (C6 - C10)	mg/Kg MS	2.00	26.55	48.22	41.59	41.28	87.22	28.80
Nitrógeno Total (**)	mg/Kg MS	1.0	20.4	89.4	16.0	28.6	26.3	12.9
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	RESULTADOS					
Metales Totales								
Fósforo	mg/Kg MS	6.00	950.48	1 045.45	949.80	1 011.70	979.96	942.71
Potasio	mg/Kg MS	30.00	1 154.14	1 201.54	1 138.46	1 179.58	1 256.25	1 163.71

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, *<= Menor que el L.D.M.

(**) El ensayo indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA a: (S)

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-1068

IV. RESULTADOS

ITEM	7	8	9
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-20-03088	M-20-03089	M-20-03090
CÓDIGO DEL CLIENTE	T2R1	T2R2	T2R3
COORDENADAS			
UTM WGS 84	NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA
PRODUCTO	SUELO		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA	2020-03-10	2020-03-10
	HORA	14:00	14:00
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS
Hidrocarburos Totales de Petróleo Facción 1 (C6 - C10)	mg/Kg MS	2.00	56.54 37.08 63.10
Nitrogeno Total	mg/Kg MS	1.0	34.9 15.6 17.5
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	RESULTADOS
Metales Totales			
Fosforo	mg/Kg MS	6.00	966.20 978.18 933.31
Potasio	mg/Kg MS	30.00	1 559.74 1 164.70 1 211.84

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq " Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq " Menor que el L.D.M.

☐ El ensayo indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA e. IAS.

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

"FIN DE DOCUMENTO"

16.4. Análisis de informes de HTP, Nitrógeno, Fosforo y Potasio final en los suelos



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON EL REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3454

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: BERRIOS MORON KATIA DUNIE
2.-DIRECCION	: CESAR VALLEJO 543 - SURCO
3.-PROYECTO	: TESIS
4.-PROCEDENCIA	: SURCO
5.-SOLICITANTE	: BERRIOS MORON KATIA DUNIE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-20-0289
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREO POR	: EL CUENTE
9.-FECHA DE EMISION DE INFORME	: 2020-07-24

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: SUELOS
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 9
3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2020-07-13
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2020-07-13 al 2020-07-24



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
N° CIP 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao

Tel. +51 453 1389 / 717 0836

www.alab.com.pe

Página 1 de 4



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON EL REGISTRO N° LE - 896



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3454

II.-METODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TITULO
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 1 (C6 - C10) (7)	EPA METHOD 8015C Rev. 03 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography

(7) EPA: U. S. Environmental Protection Agency, Methods for Chemicals Analysis

Prolongación Zaramilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao

Tel. +51 453 1369 / 717 0636

www.alab.com.pe

Página 2 de 4



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3454

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-20-11317	M-20-11318	M-20-11319	M-20-11320	M-20-11321	M-20-11322		
CÓDIGO DEL CLIENTE	T0R1	T0R2	T0R3	T1R1	T1R2	T1R3		
COORDENADAS	E: NO APLICA							
UTM WGS 84	N: NO APLICA							
PRODUCTO:	SUELOS							
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA							
MUESTREO	FECHA:	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13		
	HORA:	10:45	10:45	10:45	10:45	10:45		
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS					
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 1 (DS - C10) ¹	mg/Kg MS	2.00	4.13	7.26	6.73	3.44	6.68	2.87

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.

¹ Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

Prolongación Zanuzilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao

Tel: +51 453 1369 / 717 0636

www.alab.com.pe

Página 3 de 4



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3454

IV. RESULTADOS

ITEM	7	8	9
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-20-11323	M-20-11324	M-20-11325
CÓDIGO DEL CLIENTE	T2R1	T2R2	T2R3
COORDENADAS:	E: NO APLICA	E: NO APLICA	E: NO APLICA
UTM WGS 84	N: NO APLICA	N: NO APLICA	N: NO APLICA
PRODUCTO	SUELOS		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA	2020-07-13	2020-07-13
	HORA	10:46	10:47
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS
Hidrocarburos Totales de Pendulo Fracción 1 (C6 - C10) ⁽¹⁾	mg/Kg MS	2.00	<2.00

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<=" Menor que el L.C.M.

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió

FIN DE DOCUMENTO

Prolongación Zaranilla No. 20 lote 3 Bellavista - Callao

Tel. +51 453 1389 / 717 0636

www.alab.com.pe

Página 4 de 4



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3458

I.- DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: BERRIOS MORON KATIA DUNIE
2.-DIRECCIÓN	: CESAR VALLEJO 540- SURCO
3.-PROYECTO	: TESIS
4.-PROCEDENCIA	: SURCO
5.-SOLICITANTE	: BERRIOS MORON KATIA DUNIE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-20-0289
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2020-08-24

II.-DATOS DE ÍTEM DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: SUELOS
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 9
3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2020-07-13
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2020-07-13 al 2020-07-24



Marco Valencia Huerta
 Ingeniero Químico
 N° CIP 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
 Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao

Tel. +51 453 1369 / 717 0636

www.alab.com.pe

Página 1 de 4



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3458

II. METODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TITULO
Nitrogeno ¹⁾	NCM-021-AS 08/SMWEE Part 4500 NH3 D, 4500NC25, 4500NC3 E	Nitrogeno Total - Suelo

¹⁾NCM : Norma Oficial Mexicana

El ensayo indicado ha sido acreditado.

Prolongación Zarumilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao

Tel. +51 453 1389 / 717 8636

www.alab.com.pe

Página 2 de 4


INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3458
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-20-11347	M-20-11348	M-20-11349	M-20-11350	M-20-11351	M-20-11352
CÓDIGO DEL CLIENTE	T1R1	T1R2	T1R3	T1R1	T1R2	T1R3
COORDENADAS	E: NO APLICA					
UTM WGS 84	N: NO APLICA					
PRODUCTO	SUELOS					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA					
MUESTREO	FECHA	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13
	HORA	10:51	10:51	10:52	10:52	10:53
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS			
Nitrógeno Total	mg/Kg MS	2.5	13.6	14.5	17.0	35.5
					35.5	33.6

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.


INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3458
IV. RESULTADOS

ITEM		7	8	9
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-20-11353	M-20-11354	M-20-11355
CÓDIGO DEL CUENTE		T2R1	T2R2	T2R3
COORDENADAS		E: NO APLICA	E: NO APLICA	E: NO APLICA
UTM WGS 84		N: NO APLICA	N: NO APLICA	N: NO APLICA
PRODUCTO		SUELOS		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA		
MUESTREO	FECHA	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13
	HORA	10:54	10:54	10:54
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS	
Nitrogeno Total	mg/Kg MS	2.5	94.3	118.6
				101.1

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió

"FIN DE DOCUMENTO"

Protección Zarumilla Mz 20 lote 3 Belavista - Callao

Tel: +51 453 1389 / 717 0636

www.alab.com.pe

Página 4 de 4



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3456

I.- DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZÓN SOCIAL	BERRIOS MORON KATIA DUMIE
2.-DIRECCIÓN	CESAR VALLEJO 542- SURCO
3.-PROYECTO	TESIS
4.-PROCEDENCIA	SURCO
5.-SOLICITANTE	BERRIOS MORON KATIA DUMIE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	OS-20-0289
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA
8.-MUESTREO POR	EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	2020-07-24

II.-DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	SUELOS
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	5
3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2020-07-13
4.-PERÍODO DE ENSAYO	2020-07-13 al 2020-07-24



Marco Valencia Huerta
 Ingeniero Químico
 N° CIP 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
 Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.


INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3456
II. METODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TITULO
Metales Totales ¹	EPA Method 3050B - Rev.2 / EPA Method 200.7 - Rev. 4.4	<i>Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry</i>

¹EPA¹ : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

² Ensayo acreditado por IAS

Prolongación Zarumilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao

Telef. +51 453 1389 / 717 0636

www.alab.com.pe

Página 2 de 4


INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3456
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-20-11332	M-20-11333	M-20-11334	M-20-11335	M-20-11336	M-20-11337		
CÓDIGO DEL CLIENTE	TDR1	TDR2	TDR3	TIR1	TIR2	TIR3		
COORDENADAS	E: NO APLICA							
UTM WGS 84	N: NO APLICA							
PRODUCTO	SUELOS							
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA							
MUESTREO	FECHA	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13	2020-07-13		
	HORA	10:48	10:48	10:49	10:49	10:50		
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS					
Metales Totales								
Fosforo	mg/Kg MS	20.00	640.31	570.65	611.43	556.56	587.06	583.26
Polonio	mg/Kg MS	99.00	566.20	765.28	685.46	1 517.76	1 612.25	1 592.83

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-3456

IV. RESULTADOS

ITEM	7		8		9		
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-20-11338		M-20-11339		M-20-11340		
CÓDIGO DEL CUENTE	T2R1		T2R2		T2R3		
COORDENADAS	E: NO APLICA		E: NO APLICA		E: NO APLICA		
UTM WGS 84	N: NO APLICA		N: NO APLICA		N: NO APLICA		
PRODUCTO			SUELOS				
INSTRUCTIVO DE MUESTREO			NO APLICA				
MUESTREO	FECHA	2020-07-13		2020-07-13		2020-07-13	
	HORA	10:50		10:50		10:50	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS				
Metales Totales							
Fosforo	mg/Kg MS	20.00	4 297.66	5 850.55	4 536.10		
Potasio	mg/Kg MS	99.00	6 917.42	7 546.27	6 724.75		

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Polongación Zarumilla Mz 20 lote 3 Bellevista - Callao

Tel: +51 453 1389 / 717 0636

www.alab.com.pe

Página 4 de 4

Anexo 17. Panel fotográfico

RECOLECCION DE MUESTRAS



PREPARACION DEL EXPERIMENTO Y DOSIFICACION DE TRATAMIENTOS



CARACTERIZACION y ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS MUESTRAS



análisis fisicoquímicos de las muestras

