



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Biochar de Lodos de una Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales para Remediar Suelos Contaminados con
Hidrocarburos en Huachipa, 2021.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL

AUTORAS:

Díaz Agüero, Julissa Aileen (ORCID: 0000 0001 8115 0235)

Pérez Pérez, María Aydee (ORCID: 0000 0002 4100 5890)

ASESOR:

Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales (ORCID:000 0002 0225 5504)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA-PERÚ

2021

Dedicatoria

A nuestros padres que nos encaminaron con ilusión y amor en este rumbo.

A nuestros hijos, por ser el impulso para seguir el camino de la superación.

Agradecimiento

A Dios por la salud, sabiduría y perseverancia.

A nuestros padres por las oportunidades, el sacrificio y la confianza, para lograr nuestros objetivos.

A nuestros hermanos y demás familiares por el apoyo incondicional.

A nuestro asesor Dr. Elmer Benites Alfaro por compartir su sabiduría y confianza, y a la Universidad César Vallejo por brindarnos una educación de calidad.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos	vi
Índice de figuras	vii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	28
3.1. Tipo y diseño de investigación	28
3.2. Variables y operacionalización.....	29
3.3. Población, muestra y muestreo.....	30
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
3.5. Procedimientos	31
3.6. Método de análisis de datos.....	39
3.7. Aspectos éticos	39
IV.RESULTADOS.....	40
V. DISCUSIÓN.....	59
VI. CONCLUSIONES	63
VII. RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS.....	65
ANEXOS	1

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de las variables de investigación	29
Tabla 2. Validación de expertos	31
Tabla 3. Cuadro de resumen de resultados:Concentracion de HTP 20 y45d..	46
Tabla 4. Cuadro de resumen de resultados:Parametros fisicoquimicos	55
Tabla 5. ANOVA para los parametros Fisicoquimicos	56
Tabla 6. Prueba de muestras emparejadas para los hidrocarburos.....	58

Índice de gráficos

Gráfico 1. Hidrocarburos de fracción ligera en 20 y 45 días.....	39
Gráfico 2. Línea de tendencia de Hidrocarburos de fracción ligera.....	40
Gráfico 3. Hidrocarburos de fracción media en 20 y 45 días.....	41
Gráfico 4. Línea de tendencia de Hidrocarburos de fracción media.....	42
Gráfico 5. Hidrocarburos de fracción pesada en 20 y 45 días.....	43
Gráfico 6. Línea de tendencia de Hidrocarburos de fracción pesada.....	44
Gráfico 7. Resultados de materia orgánica en 20 y 45 días.....	45
Gráfico 8. Resultados de PH.....	46
Gráfico 9. Resultados de Fosforo.....	47
Gráfico 10. Resultados de Nitrógeno.....	48
Gráfico 11. Resultados de CIC.....	49
Gráfico 12. Resultados de Textura 5%.....	50
Gráfico 13. Resultados de Textura 10%.....	51
Gráfico 14. Resultados de Textura 20%.....	52

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Diagrama del procedimiento experimental.....	32
<i>Figura 2.</i> Recolección de lodo de PTAR	33
<i>Figura 3.</i> Lodo de PATAR almacenado	33
<i>Figura 4.</i> Horno pirolizador adaptado.....	33
<i>Figura 5.</i> Horno pirolizador original.....	33
<i>Figura 6.</i> Horno pirolizador listo.....	34
<i>Figura 7.</i> inicio de la pirolizacion.....	34
<i>Figura 8.</i> Control de temperatura con pirómetro.....	34
<i>Figura 9.</i> Horno pirolizador sellado.....	34
<i>Figura 10.</i> Biochar de lodo de PTAR.....	35
<i>Figura 11.</i> Biochar tamizado.....	35
<i>Figura 12:</i> Vista del lugar de muestreo.....	35
<i>Figura 13.</i> Herramientas utilizadas.....	36
<i>Figura 14.</i> Limpieza de las herramientas.....	36
<i>Figura 15.</i> Muestreo de suelos.....	36
<i>Figura 16.</i> Suelo con derrame de hidrocarburos.....	36
<i>Figura 17.</i> Homogenización de la muestra de suelo.....	37
<i>Figura 18.</i> Tamizado de suelo.....	37
<i>Figura 19.</i> Tamizado de suelo.....	37
<i>Figura 20.</i> Muestra colocada en el recipiente.....	37
<i>Figura 21.</i> Pesado del biochar	38
<i>Figura 22.</i> Muestra de suelo con biochar.....	38

Índice de abreviaturas

CIC: Capacidad de Intercambio catiónico

CE: Conductividad Eléctrica

FAO: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.

HTP: Hidrocarburos Totales de Petróleo

MO: Materia Orgánica

MBPD: Miles de barriles por día

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales

CH₄: Metano

Resumen

El trabajo de investigación trata sobre la problemática de contaminación del suelo por hidrocarburos en el distrito de Huachipa. El método consistió en el uso de biochar sobre muestras de suelo. El biochar se obtuvo teniendo como materia prima lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales y sometido a pirólisis a una temperatura de 305 °C. Se ensayó teniendo macetas conteniendo 2 kg de suelo contaminado con hidrocarburos a los que se adicionó biochar en porcentajes de 5%, 10% y 20% respectivamente por triplicado. El análisis inicial de la muestra determinó un exceso de hidrocarburos en nivel superior de los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo tanto en fracción ligera, media y pesada. Luego de 45 días de haberse aplicado el biochar a las muestras de suelo, se determinó que con un tratamiento al 20% de biochar redujo los hidrocarburos de fracción ligera, mediana y pesada en 99.99%, 54.59% y 54.92% respectivamente; Además también mejoraron las propiedades fisicoquímicas entre ellas la MO, pH, CIC, P, N y Textura.

Palabras clave: Suelo contaminado con hidrocarburos, biochar de lodos, hidrocarburos totales de petróleo, lodos residuales.

Abstract

The research work deals with the problem of soil contamination by hydrocarbons in the district of Huachipa. The method allowed the use of biochar on soil samples. Biochar was obtained having as raw material sludge from a wastewater treatment plant and subjected to pyrolysis at a temperature of 305 ° C. It was tested having pots containing 2 kg of soil contaminated with hydrocarbons to which biochar was added in percentages of 5%, 10% and 20% respectively in triplicate. The initial analysis of the sample determined an excess of hydrocarbons in the upper level of the environmental quality standards (ECA) for soil in both light, medium and heavy fraction. After 45 days of effectively applying the biochar to the soil samples, it was determined that a 20% biochar treatment reduced the hydrocarbons of light, medium and heavy fraction by 99.99%, 54.59% and 54.92% respectively; In addition, the physicochemical properties also improved, including OM, pH, CEC, P, N and Texture.

Keywords: Soil contaminated with hydrocarbons, biochar from sludge, total petroleum hydrocarbons, sewage sludge.

I. INTRODUCCIÓN

La realidad problemática de la presente investigación se centró en la contaminación del suelo por hidrocarburos, que tiende a generar efectos colaterales en el medio ambiente. En la actualidad la contaminación del suelo por hidrocarburos es un problema global, su demanda a nivel mundial crece apresuradamente. Según la revista Dinero mediante la Organización de los Países Exportadores de Petróleo (2018), pronosticó que la demanda de petróleo aumentará aproximadamente en 1.5 millones de barriles diarios (mdb), alcanzando un total de 98.79 mbd. Sin embargo, el portal de IHS Markit (2020), refiere que la demanda de petróleo a nivel global durante los primeros tres meses del presente año disminuyó en un 4% del suministro mundial (3,8 mbd), debido a la crisis generada por el Covid-19.

Cuando el derrame se produce en altamar también se presenta una serie de alteraciones al ecosistema marino, con una dificultad en su recuperación debido al movimiento constante del mar que extiende el derrame del petróleo; según la Revista BBC News Mundo (2020), en el caso de derrame de petróleo producido al sureste de la Republica de Mauricio, el buque MV Wakashio, que transportaba casi 4000 toneladas de petróleo, el 25 de julio de 2020, donde más de 1000 tn de combustible contaminaron los arrecifes cercanos, playas y circundantes. Según Laura Plitt (2010), Muchas especies marinas sufren el impacto de la formación de película sobre la superficie del agua, impidiendo la entrada de luz solar, como las algas que necesitan realizar la fotosíntesis, de lo contrario morirían; de esta forma, a largo plazo, se altera el sistema reproductivo y alimentario del ecosistema marino.

En el ámbito nacional según el Ministerio de Energía y Minas-MINEM (2020), refiere que el promedio de la producción fiscalizada de hidrocarburos líquidos fue de 119,820 barriles por día; siendo inferior en 3,561 Bpd en comparación con el mes anterior. Así como menciona la Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía-SNMPE (2020), con relación a la demanda de los hidrocarburos líquidos en Perú, aún hay una incertidumbre ya que debido al estancamiento del sector aviación y transporte provocado por la pandemia COVID 19, disminuyó la producción mensual, alcanzando hasta agosto los 120 miles de barriles por día (MBPD) con relación de julio que hubo una producción de 123 MBPD. Por lo que la

exposición de los suelos o terrenos a la contaminación con dicho producto es alta, sin tener respuesta de forma inmediata generando una contaminación del ecosistema.

En el distrito de Huachipa se identificaron áreas críticas peligrosas, donde los grifos son fuente de gran importancia de peligro de hidrocarburos en dicho sector, ya que se almacenan y se transportan grandes volúmenes de petróleo diariamente (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2013) donde al producirse derramamiento contamina la capa freática del suelo.

Históricamente podemos ver que este problema de contaminación por hidrocarburos no es reciente, según Carrera mediante el reporte del Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería (2020), informa que, durante los últimos 10 años en todo el Perú, se derramaron 9743 barriles de petróleo, de los cuales la tercera parte, es decir 3104 barriles fueron en la costa norte del Perú. Un caso fue en Caleta de Cabo Blanco, proveniente de la plataforma PN 10 de Lote Z-2B de la empresa Savia Perú S.A. De esta misma empresa, la OEFA atendió 40 emergencias ambientales entre el 2011 y 2019 en el lote Z-2B, durante el 2018 y 2019 derramó 7,2 barriles en tres eventos, las cuales fueron 1144 litros de petróleo.

Si la contaminación del suelo por hidrocarburos sigue en aumento, los suelos disminuirán su producción, desaparecerán las especies de microorganismos que habitan en él, habrá un impacto negativo en la economía, afecciones en la salud del hombre, de manera que se plantea la aplicación de biochar de lodos para la remediación de esos suelos contaminados con hidrocarburos, así contribuyendo a recuperar los suelos afectados por dichos contaminantes.

La investigación pretendió resolver el siguiente **problema general** ¿Cuál es el nivel de reducción de hidrocarburos utilizando biochar de lodos residuales en un suelo de un área de estacionamiento de Huachipa?, con **los problemas específicos**: ¿Cuál será la concentración de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento en Huachipa luego de su tratamiento con biochar de lodos residuales? y ¿Cuáles son las propiedades físicoquímicas de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa luego del tratamiento con biochar de lodos residuales?.

La presente investigación se justificó en tres ámbitos importantes: La **justificación teórica** se basó en el método de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando biochar de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ya que no existen muchos estudios nacionales sobre la utilización de biochar a base de este residuo, de manera que el proyecto proporcionará una técnica innovadora, con alternativa eficiente para remediar suelos contaminados con hidrocarburos que será aplicado en una muestra de suelo de un área de estacionamiento de Huachipa. Lo cual quedará como base para futuras investigaciones. Así mismo en **la justificación ambiental**, debido a los problemas de contaminación de suelos, principalmente por derrames de hidrocarburos, dado que no se brindan soluciones permanentes a dicho problema, no habiendo medidas exitosas de prevención, situación que se va agravando por las actividades de exploración, transporte y almacenamiento, ocasionando desequilibrio en los ecosistemas y recursos naturales. Es por ello, que se realizó la presente investigación, utilizando la técnica de remediación con biochar de lodos residuales de una PTAR, que permitió reducir la concentración de hidrocarburos en las muestras de suelos contaminados de Huachipa, mejorando las condiciones físico químicas del suelo, siendo una alternativa sustentable para el medio ambiente (De Gryze et al., 2010), además el biochar tiene las propiedades absorbentes de diversos contaminantes entre ellos los metales pesados, antibióticos, tintes e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), siendo un prometedor remediador ambiental (Beesley et al., 2010). Finalmente, **la Justificación social**, se observa que los problemas sociales ocasionados por el desarrollo de la industria petrolera son comunes en nuestro país. Las comunidades afectadas se organizan, denuncian y luchan por sus derechos constitucionales, salud, vivienda, tradiciones y sobre todo un ambiente sano y equilibrado. Los accidentes ocasionados por las empresas transnacionales o unidades menores como derrames y fugas de hidrocarburos generan gran contaminación en el suelo y aguas subterráneas, representando un peligro para la salud y el ambiente. En la cual, mediante el desarrollo de esta investigación se realizó la aplicación de este método no convencional, donde no solo ayudó a mejorar el medio ambiente, sino también la calidad de vida de las personas para que puedan desarrollarse en un ambiente saludable.

El **objetivo general** fue: Determinar el nivel de reducción de Hidrocarburos utilizando biochar de lodos residuales en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa y los **objetivos específicos** fueron: Determinar la concentración de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa luego del tratamiento con biochar de lodos residuales y determinar las propiedades fisicoquímicas de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa luego del tratamiento con biochar de lodos residuales. Se plantearon las siguientes hipótesis. **Hipótesis general:** La aplicación de biochar de lodos residuales reduce en un 50% el nivel de concentración de hidrocarburos en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa e **Hipótesis específicas, H1:** La mayor eficiencia de biochar de lodos será a una concentración de 20 % para la reducción de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa, en un lapso de 45 días. y **H2:** Las propiedades fisicoquímicas de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, mejorará con el tratamiento de Biochar de lodos residuales en un lapso de 45 días.

II. MARCO TEÓRICO

Se desarrolló la revisión de investigaciones previas para tener soporte de la investigación, a continuación, presentamos los siguientes **antecedentes Internacionales**: Según el artículo publicado por Velázquez et al. (2019) sobre el biocarbón y su caracterización física y química. Dieron a conocer los beneficios del biochar de lodos residuales, por su contenido en materia orgánica, fósforo, nitrógeno, etc. esenciales en el desarrollo de las plantas; como una alternativa de disposición de estos residuos. Los lodos lo obtuvieron de una PTAR en Morelia, fueron secados a temperatura ambiente, molidos y tamizados en una malla de 2mm, cabe destacar que no usaron tratamientos químicos, para la producción del biocarbón de lodos (150g) lo sometieron a un reactor de pirólisis a temperatura de 280° a 355° en seis tiempos con dos repeticiones por 0.5 - 4 horas, luego lo analizaron en el laboratorio dando como resultados un pH de 7.33 - 6.33, mediante temperaturas bajas de pirólisis (300° - 500°) se generó biochar con pH ácido a neutro. Se concluye que mediante el pirólisis lento se obtuvo un biochar con alta concentración de materia orgánica, Carbono, Fósforo, una relación baja de Na/Ca y concentraciones mínimas de metales tóxicos totales, de manera que es un producto de bajo riesgo ambiental. Recomendaron que el biochar obtenido fuera empleado en suelos con pH ligeramente alcalino a neutro, donde serían fijados los metales tóxicos en el biochar y de esa manera inmovilizados.

En la investigación de Koltowski y Oleszczuk (2015) el objetivo es determinar el efecto de varios métodos de activación de biocarbón sobre la toxicidad de suelos con diversos contaminantes, la metodología consiste en aplicar la enmienda en tres tipos de suelo, KOK (Zn 629.0mg/kg, Pb 127.0mg/Kg, Cr 48.1mg/Kg, Cu 35.6mg/Kg, Ni 27.7mg/Kg y HAP 39.9 mg/Kg), KB (Cd 4.6mg/kg y HAP 17.2mg/Kg) y POPI (con menos metales pesados a comparación de los otros y HAP 9.1mg/kg), de cada tipo de suelo se extrajeron 10 submuestras de 0-20 cm de profundidad, las cuales fueron mezcladas completamente, molidas, secadas a 40°C y tamizadas a 2mm. El biocarbón no activado se produjo a partir de Sauce (*Salix viminalis*), por pirólisis lenta a una temperatura máxima de 700°C, bajo de oxígeno (>2%); se caracterizó por su contenido de 69.9% de C, 2.1% H y 1.1% de N. La activación del biocarbón se realizó utilizando microondas (MW), dióxido de carbono (CO₂) y vapor

de agua (H₂O). Las muestras consisten en suelo sin enmienda (control), suelo con biocarbón y suelos con biocarbón activado. Se tomó 100g de suelo y se transfirió a un frasco de 100 ml, luego se agregaron dosis de biocarbón y bio carbón activado a 5.0% (p/p). Se concluye que el biocarbón tiene menor eficacia en la inmovilización de los contaminantes sobre el carbón activado.

En la investigación de Mingming Wang et al. (2017) Investigación del uso del biocarbón en suelos contaminados con metales y enmiendas de sedimentos. Los estudios han demostrado que la temperatura y materias primas son factores importantes en las propiedades fisicoquímicas del biocarbón. Las características del biocarbón y sus subproductos dependen mucho de la velocidad de pirólisis, sus propiedades y estructura de los poros dependen de la temperatura de calentamiento. La pirólisis consta de tres etapas: Pre-pirólisis, pirólisis principal y formación de biocarbón, en la primera etapa la temperatura es por debajo de 200°C y la estructura interna se relaciona con la evaporación de la humedad, rotura de enlaces y formación de grupos hidroperóxido, carbonilo y carboxilo; la segunda etapa ocurre el proceso primario (descomposición de la biomasa) a un ritmo rápido, en la etapa final formación de biocarbón. A medida que aumenta la temperatura, el rendimiento del biocarbón disminuye (<400°C), mientras que se observó un rendimiento constante a >400°C, el contenido de carbono aumentó con la temperatura y relación de variables para H, O y N. La lignina y la celulosa se fijan en el biocarbon a bajas temperaturas, mientras que a temperaturas altas es rico en fracciones aromáticas con menor polaridad. Los distintos tipos de materia prima como madera, cáscara de frutas, estiércol, desechos de agricultura, etc., contienen materia orgánica (Hemicelulosa, celulosa, lignina, grasa, fitoesteroles y fenólicos) y los compuestos inorgánicos (nitrógeno, fósforo, azufre, silicio, metales alcalinos y alcalinotérreos) que pueden afectar la estructura y propiedades del biocarbón.

Teniendo en cuenta a Lyu et al. (2016) Sobre la biorremediación de sistemas contaminados con potencial biochar, la biomasa empleada para la producción de carbón fue a través de residuos forestales, cultivos, procesamiento de alimentos, estiércol animal, fábricas de papel, residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora, donde el biocarbón es un eficaz absorbente que se produce con una huella de carbono baja, minimizando los daños en el ambiente. Pretendieron lograr la

adsorción de hidrocarburos en el suelo utilizando biocarbón, para ellos utilizaron madera de pino sometido a temperatura de 350° y 700°c en la producción de biocarbón donde se logró la remoción de fenantreno mostrando retención de PAH en micro o meso poros del suelo. Por otro lado, refieren que los lodos de depuradora sometidos a temperatura de 500°C obtuvieron biocarbon que fue empleado para la eliminación de HAP del suelo mediante el mecanismo de separación. También compararon la capacidad de sorción del pireno con biochar de serrín producido a 400°c y 700°c, y bio carros modificados (alcohol etílico absoluto, hidrocioruro de hidroxilamina y peróxido de hidrógeno) para 700°c, donde resultó que ambos bio carros modificados por hidrocioruro de hidroxilamina y peróxido de hidrógeno redujeron la sorción de pireno de un 18,7 a 33,9% y 69,1 a 73.7% respectivamente. Por ende, su alta capacidad de biochar en adsorción, viabilidad ambiental y rentabilidad tiene un gran potencial en la eliminación de metales pesados, tintes sintéticos, HAP, antibióticos y pesticidas.

El artículo de Yan Cuixia (2020) biocarbon derivado de estiércol de pollo y su efecto de las diferentes temperaturas de pirólisis sobre las características fisicoquímicas y la eliminación del plomo, para la elaboración de biocarbón utilizaron estiércol de pollo, dicho estiércol fue recolectado y se secado al aire libre, pulverizaron y tamizaron en una malla de 200 y secados en un horno de 75°C por 12h, una vez secas las muestras se sometieron a pirolisis lenta a temperaturas de 800, 600, 400 y 200°C durante 2 horas, una vez obtenido el biochar se volvió a secar en un horno a 75°c durante toda la noche. El procedimiento consistió en una mezcla de 4 g de CMB con 1000ml de solución 0,1 mol L⁻¹ de NaNO₃ conteniendo 1000 mol L⁻¹ de Pb 2+, ajustaron el PH a 5. Las soluciones lo procedieron a mezclar en un agitador magnético de 200 rpm a 25°c durante 24 horas. Después realizaron tomas de muestra de cada CMB (0, 3, 5, 7, 15, 30, 60,120, 240, 480, 720 y 1440 min) y pH. Finalmente emplearon un analizador de espectroscopía de absorción atómica de llama. Los resultados con relación a la eliminación de Pb 2+ fueron: Para CMB 200 (77,8%), CMB 400 (82,1%), CMB 600 (99,9%) y CMB 800 (99,9%). Concluyeron que a medida que se incrementan las temperaturas pirolíticas hay mayor capacidad de adsorción de Pb, de tal manera propone la utilización de

CMB para la eliminación de Pb presente en el agua como una alternativa eficaz y novedosa para la protección del medio ambiente.

Núñez et al. (2015) en la investigación para disminuir la cantidad de metales (sulfuros) presentes en el suelo por la actividad minera en la zona Zimapán, México. La metodología, trata en aplicar biochar (BC) de eucalipto (BE) y lirio acuático (BH) in situ, para la absorción de los metales y mejorar las propiedades físicas del suelo. El biochar fue elaborado en un horno de pirólisis a una temperatura de 600° C, utilizaron el *Eichhornia crassipes* (Lirio acuático) y *Eucalyptus globulus* (Eucalipto), lo secaron y molieron a 3.5 mm; midieron la humedad, pH (2g de BC y 25ml de agua destilada), conductividad eléctrica (CE) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), al residuo ácido de mina (RAM) y a los biochares. Como resultados obtuvieron, que el RAM tenía un pH ácido, mientras que los biochares pH alcalino elevado. La CE del BE fue 0.3 dSm⁻¹ y BH fue 0.6 dSm⁻¹. La CIC para BE fue menor a comparación de BH. Bajo estos resultados se concluye que el BH tiene mayor rendimiento que el BE, 43.13% y 28.40% respectivamente. El BH tuvo un pH alcalino, la cual el BH tuvo mejor efectividad en la remoción de metales pesados como Pb, Cd, Zn y Ag.

En la investigación de Manuel Olmo (2016) sobre la evaluación e impacto de la adición de biochar y fertilizantes en el desarrollo y morfología de las raíces, la metodología consistió en cultivar maíz, algodón, colza, berenjena, garbanzo, pimiento, trigo, tomate y soja, durante dos meses, utilizando como enmienda dos tipos de biochar, producido a partir de paja de trigo y rastrojos de olivo. Aplicaron cuatro dosis de biochar (0, 0.5, 1.0 y 2.5% p/p) y concentraciones de fertilizantes (0, 40 y 100%). Los resultados demostraron que la adición de altas concentraciones de biochar, favorecieron al desarrollo de las raíces, la cual es una señal de un incremento en los nutrientes y redujo la disponibilidad de N y Mn, pero aumentando el P, indicando también una mejora en las propiedades fisicoquímicas del suelo.

En la investigación de Mohammad et al. (2014) biocarbon de *Concarpus* (desechos de árboles) aplicado al suelo contaminado con metales pesados para reducir la accesibilidad y absorción del *Zea mays* L. (maíz). La muestra de suelo pasó por un tamiz de 2 mm, analizaron la textura, pH, conductividad eléctrica (CE) y presencia de Mn, Zn, Cd, Cu y Pb. La concentración total de metales pesados en

la muestra de suelos fue 26118 mg/kg de Fe, 970 mg/kg de Mn, 5453 mg/kg de Zn, 1430 mg/kg de Cu, 12 mg/kg de Cd y 541mg/kg de Pb. Para la elaboración del biocarbón de Concarpus, utilizaron residuos de árboles con humedad de 4,7%, mediante el proceso de pirólisis a 400°C. El biochar resultante tuvo un pH de 9.85, CE de 1,23 dSm⁻¹, el contenido total de C, H, N y O fue 76,18%, 2,53%, 0,42% y 18,67% respectivamente. Emplearon concentraciones de 0, 1, 3 y 5 % (p/p) de biocarbón en 4 kg de suelo, seguido sembraron 5 semillas de maíz (*Zea mays* L), y dejaron por 45 días, pasado el tiempo extrajeron los brotes del maíz para ser lavados, secados a 70°C durante 48h y triturados, para su análisis de concentración de metales pesados. Las muestras del suelo fueron secados al aire libre, molidos y tamizados a 2mm; los metales pesados analizados fueron Fe, Mn, Zn, Cd, Cu y Pb, la densidad aparente y el contenido de humedad del suelo. Concluyeron que la densidad aparente disminuyó, aumentó la humedad del suelo y la biomasa seca incremento en un 100% en los cotiledones de la planta de maíz. Tiene un potencial de inmovilizar los metales pesados y minimizar la absorción de las plantas maíz. Se mostró un incremento considerado en el pH y la CE en concentraciones al 5 % de biocarbón, los valores del pH aumentaron en 0,16 - 0,17 unidades, mientras que los valores de CE aumentaron de 1,97- 2,10 dSm⁻¹ a 2,60-2,93 dSm⁻¹ para el 5,0% de biocarbón. La aplicación del biocarbón a las concentraciones mencionadas, disminuyó significativamente los metales pesados.

Según Abenza (2012) en su investigación realizada sobre la influencia que tienen en las plantas y suelos agrícolas, mediante el uso de tres tipos de biochar. En la metodología se utilizó tres tipos de biomasa, para la elaboración del biocarbón, astilla de madera de resinosa (pino), astilla de árboles caducifolios (chopo) y un lodo de tratamiento de aguas residuales secado térmicamente; mediante la técnica de pirólisis rápida (pino y chopo, 430-510 °C), pirólisis lento (pino, chopo y lodo a 500-550 °C) y pirólisis gasificado (pino a 600-900 a °C). Realizaron análisis fisicoquímicos a la muestra del suelo, antes de aplicar la metodología. Cribaron la tierra mediante un tamiz de 5mm de malla, la muestra de 24 kg de tierra fue mezclada con fertilizante, previamente preparado a base de superfosfato de cal 18% polvo P₂O₅, cloruro potásico 95,2% y sulfato amónico 21%; colocaron 1.5 kg de mezcla homogénea en 16 tiestos empleados por tratamiento, considerando el peso seco y su tara. Concluyeron que la variación de pH del suelo enmendado fue

menor, en comparación con el bichar de lodo de depuradora, ya que se produjo una acidificación ligera del suelo. La aplicación del biochar mejoró las condiciones físico químico del suelo, que favorecen a las plantas en su desarrollo, a la vez su densidad aparente y retención de agua. En la salinidad del suelo no se observó cambios significativos, a excepción del biochar de lodos de depuradora. Al ser de importancia la estabilidad del carbono en el suelo, se observó que la técnica de pirólisis lenta, el carbono es menos mineralizable, por lo contrario, en el pirólisis rápido o de gasificación.

En el artículo de la revista internacional de contaminación ambiental por Martínez et al. (2011) analizaron el desarrollo de la biorremediación aerobia en suelo contaminado por hidrocarburos, para ello emplearon lodos residuales obtenidos de una PTAR, establecieron pruebas en el laboratorio en dos etapas y una a escala piloto; la primera consistió en evaluar a los lodos residuales como fuente de nutrientes que pueda ayudar a degradar los hidrocarburos, comparada con nutrientes inorgánicos, teniendo presente que los lodos residuales tienen microorganismos, así como también su efecto en aumento de porosidad del suelo y la disminución de la densidad; la segunda etapa consistió en plantear nuevos tratamientos de acuerdo a lo obtenido en el la primera etapa; poniéndose en marcha una planta piloto, en el cual se pudo remover del 66% al 93%, mejores efectos se obtuvieron en la muestra con biosólidos, también se observó que en los lodos más frescos se pudo remover más hidrocarburos de petróleo, donde la densidad, la presencia de nutrientes y la cantidad de agua, las cuales ayudaron a facilitar la limpieza de hidrocarburos.

En el artículo de Beesley, Moreno y Gómez (2010), realizaron la investigación sobre la utilización de Biocarbón y compost en movilidad, biodisponibilidad y toxicidad en el suelo contaminado, de manera que demostraron que el uso de varios tipos de descontaminantes a la vez puede tener efectos adversos en cuanto a la movilidad, biodisponibilidad y toxicidad de elementos específicos según el descontaminante usado, los oligoelementos y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), se monitorean en suelos contaminados y modificados con biocarbón y compost de desechos verdes durante 60 días, luego evaluaron la fitotoxicidad mediante un examen con bioindicadores, después de esto la

concentraciones de Cu y As aumentaron 30 veces después de agregar ambos descontaminantes, lo que se asocia con aumentos de carbón orgánico disuelto y pH, en cambio el Zn y el Cd disminuyeron significativamente; el más efectivo fue el biocarbon que pudo disminuir hasta 10 veces la concentración de Cd y las concentraciones de PAHs se redujeron a la mitad, estos resultados destacan el potencial que tiene el biocarbón en la remediar suelos contaminados.

En el artículo científico de Tenga Ding (2019), referente al mecanismo que tiene el biocarbon de lodos de depuradora sobre la adsorción y desorción de carbendazim, donde su objetivo fue evaluar el efecto de los biochars a base de lodos de depuradora producidos a temperaturas de 100 a 700°C, en adsorción y desorción de carbendazim. El procedimiento experimental consistió en recolectar muestras de suelo de los 10 cm superiores en ubicaciones en Cixi, Zhejiang, China. Dichos suelos se secaron al aire libre, luego se homogeneizaron mediante tamizado (1,5 mm) eliminando los restos vegetales. La capacidad de intercambio catiónico y el pH del suelo fueron 6,82 cmol kg⁻¹ y 7,91 respectivamente. Obtuvieron carbono orgánico en el suelo 0,45%. La proporción de arcilla, arena y limo fue de 16.19, 12.1 y 71 %, respectivamente. La muestra de lodo deshidratado obtuvo de una planta de tratamiento de aguas residuales local, para la producción del Biochar se produjeron con una velocidad de calentamiento de 10°C min, a diferentes temperaturas de pirólisis actuales (100 - 700 C), una purga continua de N₂ por un tiempo de 2 h, fueron etiquetados como BC100 - BC 700 con temperatura de pirólisis en aumento. El biocarbón lo pulverizaron y tamizaron a 1.5mm. Se tomaron submuestras de suelo mezclado con 2% de biochar (BC 100 -700) (p / p, peso seco). Por otro lado, se aplicaron 7 biochar de lodos de pirólisis 100-700°C. Se concluye que al suelo aplicado con biochar obtuvieron una adsorción de 98,9% de carbendazim en temperatura de 700°C, y la capacidad de desorción disminuyó, además este tipo de biochar también puede actuar como fertilizante para la agricultura en el futuro, y es necesario proponer los criterios correspondientes para los límites de metales pesados en el suelo para prevenir la contaminación secundaria por la liberación de metales pesados de biochar.

En el artículo de revisión de Yuchi zhong et al. (2020) Sobre inmovilización de trazas de metales y metaloides en suelos modificados a efecto del envejecimiento

y la intemperie, de manera que el biochar es utilizado para inmovilizar metales/ metaloides (TM) en los suelos, a medida que el biocarbón envejece aumenta las capacidades para inmovilizar las MT, durante un periodo de tiempo mucho más largo. De manera que la aplicación de biocarbón modificado que es diseñado en suelos contaminados, suele aumentar la capacidad de inmovilización de TM en comparación con el biocarbón no modificado a corto plazo. EL biocarbón inducido en el suelo se oxida y ocasiona cambios estructurales mediante los procesos de meteorización física y química, aumentando su capacidad de inmovilización de MT. También mencionan que los biochares producidos a altas temperaturas tienen una alta inmovilización debido a su alta porosidad, superficie, pH y aromaticidad, donde un biocarbón elaborado a una temperatura de 700°C a base de rastrojo de soja y agujas de pino, tuvo mayor inmovilización de Pb en comparación con el biochar de 300°C, otro reporte importante sobre uso del biocarbón producido de desechos vegetales a 500°C tuvo una reducción de Pb del 95 a 99% y con una temperatura de 200° C fue de 65 a 83%, después de un periodo de 45 días. se concluye que el biochar para inmovilizar TM depende del tipo de suelo, tasa de aplicación y tipo de biochar (temperatura de pirólisis, materia prima), de manera que las predicciones de las eficiencias de inmovilización de MT del biocarbón envejecido a corto y largo plazo requieren estudios más detallados y específicos.

Según la investigación de Zhibin et al. (2017) efectos de biochar de estiércol de pollo y de aserrín en el crecimiento de *Pinus elliottii*, el aprovechamiento de nitrógeno, emisiones de óxido de nitrógeno y metano del suelo y almacenamiento de carbono. Se utilizaron 8 enmienda: suelo sin enmienda (control), suelo con aserrín a 2.16 kg/m², suelo con estiércol de pollo a 1.26 kg/m², suelo con biocarbón de aserrín a 2.4 kg/m², suelos con biocarbón de estiércol de pollo a 2.4 kg/m², suelo con fertilizante 15N solo 10,23%, biocarbon de aserrín a 2.4 kg/m² y suelo con fertilizante 15N. Los resultados concluyeron que el tratamiento con biocarbón de estiércol de pollo favoreció más en el desarrollo del *P. Elliottii* (180%) y a la fijación del C en un 157%, también aumentó el pH del suelo, N total (2%), P total, K total y la disponibilidad de P y K. En la absorción del CH₄ y en la emisión de N₂O del suelo no presentó cambios significativos. En el tratamiento solo con estiércol de pollo y aserrín se observó una pérdida de C (61% y 35%) respectivamente, mientras

que en los otros tratamientos (biocarbon de estiércol de pollo y biocarbon de aserrín) fueron insignificantes.

EL artículo sobre la aplicación de biocarbón en el suelo para retener agua y nutrientes en los valles interandinos del Departamento de Cochabamba, Bolivia elaborado por Thomas Middelanis (2019), su finalidad fue que mediante el uso de biocarbón mejorar las condiciones y/o calidad del suelo para prevenir la degradación, el lugar de la investigación comprende 16 ha ubicada en el valle Cochabamba, la parcela experimental abarca 1000m², el procedimiento consistió primero en cavar 30 hoyos con medida de 100cm de diámetro y profundidad homogénea de 45 cm, el suelo que se obtuvo pasó por un cernidor de 1,5cm, se homogenizó y posterior a ello se procedió a mezclar con los sustratos (biocarbón y abono ovino), luego se llenaron los hoyos y se sembraron plantones. Previo a la mezcla se preparó el biocarbón a base de leña de chacatea, queñua y pino de Monterrey, en un horno de pirólisis a 700° C por un tiempo menor de 1 hora. Los tratamientos se realizaron de la siguiente manera: Se dividieron en dos grupos experimentales con 10 repeticiones por grupo, donde el grupo 1 empleo una dosis de 25,6 kg de biocarbón por m³, el grupo 2 utilizó una cantidad doble 51,6 kg m³, de manera que evaluaron el pH, N, humedad y CIC. En los resultados presentaron efectos positivos ya que el biocarbón aumentó el pH, la CIC, el contenido de agua y nitrógeno total. Concluyó que el biocarbón contribuye de manera positiva en la agricultura, mejorando su PH, CIC, agua y nitrógeno en suelos de los valles de Cochabamba, por lo que recomienda usar biocarbón en zonas donde hay escasa presencia de nutrientes como suelos áridos.

En el artículo de investigación de Tao et al. (2016) sobre la eliminación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo empleando enmienda de biochar de pajilla de trigo y fitorremediación. Para la producción de biocarbón secaron las pajillas de trigo al aire libre, luego se molió y se pasó por un tamiz de 20 mallas, emplearon una temperatura de 450° C con ausencia de oxígeno por un tiempo de 1 hora mediante el proceso de pirolisis lenta, luego se pasó por un tamiz de malla 100. Antes de analizar el pH, el biocarbón lo disolvieron en agua desionizada y agitaron 24 horas a 200 rpm, para análisis de hidrogeno (H), carbono (C), nitrógeno (N) y azufre (S) usaron un analizador elemental. El tratamiento

consistió: Uno de control, enmienda de biochar al 1%, semillas de raigrás que germinaron por 1 semana a temperatura de 25°C y humedad del 70%, plantaron en macetas de plástico 10 plántulas (20 x 20 cm) con 1500 g de suelo contaminado con petróleo. Se almacenaron en un invernadero a temperatura de 18°C a 25°C, humedad de 60% mediante riego diario, con luz solar natural, ciclo de luz/oscuridad 16/8 horas por 90 días. Analizaron el día 0 y el día 90. Para analizar los TPH tomaron 100 g de muestra de suelo de cada maceta, secados al aire libre, tamizado en malla de 100 y almacenados a 4°C, posterior análisis. Sobre el crecimiento del raigrás evaluaron la altura del brote, peso fresco y longitud de raíz. Los resultados demuestran que la fitorremediación con raigrás para la remoción de TPH fue más eficiente que los otros tratamientos, logrando la eliminación de Hidrocarburos de petróleo en 55,13%, 30,34% con para los PAH y 45,83% para alcanos el lapso de 90 días.

En la investigación realizada por Simón et al. (2015) sobre el uso de Biochar y lodo de mármol para la inmovilización de arsénico, siendo el objetivo, precisar la capacidad del biochar de EDAR y lodo de mármol, para la adsorción de Arsénico en el suelo. En la metodología mezclaron el biochar y el lodo de mármol (CaCO_3), con ácidos de mina, a concentraciones de 310, 610 y 1200 $\mu\text{g As/g}$ residuo (lodo y biochar). Luego agitaron de manera periódica por tres días para lograr el equilibrio entre la solución y el residuo. Seguidamente, filtraron la mezcla (filtro 0.45 μm de tamaño de poro) e inmediatamente midieron el pH y concentración de As en fase líquida (FL). Como resultado en la mezcla de DAM y lodo de mármol (CaCO_3), en las tres concentraciones, se obtuvo una inmovilización del As de 100% y en la mezcla de DAM y biochar se obtuvo una inmovilización del As 1200 $\mu\text{g As/g}$ residuo a 120 $\mu\text{g As/g}$ residuo, 610 $\mu\text{g As/g}$ residuo a 80 $\mu\text{g As/g}$ residuo y 310 $\mu\text{g As/g}$ residuo a 60 $\mu\text{g As/g}$ residuo. El lodo de mármol inmovilizó todo el As de las tres concentraciones, la cual indica que el CaCO_3 tiene una elevada capacidad para fijar As, donde la inmovilización de As por el biochar es inferior a la del lodo de mármol. Si bien, la capacidad del lodo de mármol de inmovilización del As es superior, esto no impide que puede ser asimilado por las plantas, mientras que el biochar y su poca capacidad de inmovilización del As, tiene mayor capacidad de hacer menos asimilables por las plantas.

Beesley et al. (2014) evaluar la influencia de las enmiendas de compostaje y biochar en la movilidad y toxicidad de los metales y el arsénico en un suelo contaminado naturalmente, las muestras recolectadas fueron mezcladas homogéneamente, se secaron a temperatura ambiente (24°C) durante 4 días, posteriormente se tamizaron a un tamaño menor de 2 mm. Para la obtención del compost de alperujo, mezclaron cáscara de aceituna y estiércol de vaca (10% peso fresco) y para la obtención del biocarbón se realizó el proceso de pirólisis a 500°C de residuos de podas de huerta. Emplearon el método por ignición para la especificación de la materia orgánica y para la concentración total de oligoelementos utilizaron fluorescencia de rayos X portátil (PXRF). Realizaron la mezcla de las muestras de la siguiente manera, suelo de control sin enmienda (s), suelo más biocarbon (s & Bc) 10% (v/v), suelo más compost (s & C) 10% (v/v) y suelo, compost y biocarbon (s & c & Bc) 5% (v/v) cada uno; se colocaron 1,5 kg de mezcla en macetas de un litro y fueron regados para alcanzar la capacidad de retención de agua en un 100%, se dejaron escurrir por 48h para alcanzar 60% de retención. Concluyeron, que la adición de materia orgánica a suelos contaminados conlleva a posibles riesgos, debido a que aumentó la lixiviación de As por el pH, DOC y concentraciones de fósforo (P) solubles. Según la investigación, la lixiviación de los metaloides es peligroso, esto puede cambiar si se aumenta la fertilidad del suelo y reduce la fitotoxicidad, para el aumento de la vegetación y con ello la pérdida de suelo arrastrado por el viento. Concluyeron que la combinación de compost y biochar, se relaciona con la eficacia a largo plazo.

En la investigación de Yaqi Sheng y Lizhong Zhu (2018) el biocarbón altera la comunidad microbiana y el potencial de secuestro de carbono en diferentes pH del suelo, la metodología empleada consiste en muestrear un suelo ferralsol y phaeozems, recolectadas a mano para eliminar restos de plantas, secados al aire libre, tamizados (2 mm) y con análisis a las propiedades básicas como el pH, carbono total, NO₃⁻ y NH₄⁺. Para la elaboración del biocarbón se utilizó la técnica del pirolizado a una temperatura de 500 °C durante 2 horas, a una velocidad de 5 °C/min, el biocarbon resultante se tamizó a 154 mm; la materia prima utilizada fue paja de arroz. El pH determinarón en una suspensión de suelo/agua a una proporción de 1:10 (p/v); el NH₄⁺ y NO₃⁻ fueron detectados por cromatografía

iónica; el carbón total (TC) fue detectado por TC-SSM. El carbón orgánico se extrajo de la mezcla de biocarbón y suelo con agua destilada (1:1 p/v) durante 30 min, luego la mezcla se centrifugó a una velocidad de rotación de 3000 rpm durante 15 minutos, el biocarbon orgánico se midió con un TOC-VCPH. El carbono orgánico del suelo (COS) se detectó mediante disolventes. Las enmiendas se realizaron mezclando suelo (5 gr) y biocarbon (0 mg, 25 mg, 50 mg, 100 mg y 250 mg). La tasa de adición de suelo ferralsol y phaeozems es de 0%, 0.5%, 1.0%, 2.0% y 5.0%, con 6 repeticiones de cada tratamiento, durante 90 días (el CO₂ se midió periódicamente, 1, 2, 4, 7, 14, 21, 30, 40, 50, 60, 75, 90 días. Concluyeron que el biocarbón puede afectar a la comunidad bacteriana del suelo y sus propiedades fisicoquímicas, de esta forma cambian la emisión del CO₂ y el “efecto cebado” (PE) del COS. Después de la enmienda con el biocarbón, se aceleró la emisión de CO₂ en el suelo Ferralsol ácido, pero se eliminó en el suelo phaeozems, esto ocurrió a mayor tasa de adición de biocarbon; la adición inicial de biocarbon mostro un PE de COS positivo, y a largo plazo un PE negativo, en gran parte por la interacción orgánica-mineral. Entre todos los parámetros, el pH juega un papel previo en el aumento la diversidad de bacterias, especialmente en la abundancia de bacterias copiotróficas como Chloroflexi, Gemmatimonadetes y Bacteroidetes después de la adición de biochar en ferralsol, lo que resulta en una mayor emisión de CO₂, mientras que disminuyó el contenido y la biodisponibilidad de SOC a través de la adsorción de biocarbón, que resultó en una mayor aumento de bacterias oligotróficas en phaeozems, disminuyendo así la emisión de CO₂.

En la investigación de Jufeng Zheng et al. (2016) el biocarbón disminuyó la actividad metabólica y la comunidad microbiana 4 años después de una sola incorporación en cultivos de arroz ligeramente ácidos. La metodología consiste en el uso de biocarbón de paja de trigo, elaborado en un horno de pirólisis a 350 a 550°C, en promedio, el carbono orgánico contenido en el material del biocarbón es de 467 g/ kg, nitrógeno total de 5,9 g/kg, ceniza 20,8% y tenía una superficie de 8,92 m²/ g con una densidad aparente de 0,59 g/cm³ y pH (H₂O) de 10,42 así como capacidad de intercambio catiónico de 21,7 cmol/kg. Realizaron una enmienda a tasas de 40t/ha, 20t/ha y 0t/ha (control) antes del trasplante de arroz en mayo de 2010. El biocarbón fue esparcido uniformemente en la superficie del suelo a mano

y homogeneizado a una profundidad aproximadamente de 12 cm rastrillando. Cada tratamiento se realizó por triplicado con una única parcela de 4 m x 5 m de área, y se dispuso en un diseño de bloques al azar. La producción de arroz y trigo se había gestionado con cultivadores locales y prácticas de fertilización convencionales. El muestreo del suelo se realizó después de la cosecha de arroz en cada parcela en octubre de 2014. Se recolectaron aleatoriamente cinco núcleos de suelo de 0 a 15 cm de profundidad de cada parcela y se mezclaron completamente para hacer un solo compuesto muestra. Las muestras compuestas se transfirieron a bolsas de plástico estériles, sellados y colocados en cadena de frío para ser transportados al laboratorio. Luego homogeneizaron completamente, tamizaron con una malla de 2 mm y dividieron en tres porciones. Una porción se congeló a -70 ° C para análisis molecular, la segunda porción se secó al aire adicionalmente a temperatura ambiente y pasó a través de un tamiz de 0,25 mm para análisis químico, finalmente la tercera porción se almacenó a -4 ° C para análisis biológico. Concluyeron que la enmienda con biocarbón de paja de trigo cambió significativamente las propiedades físicas y químicas del suelo y la composición microbiana, aumentando su biomasa, pero con menor resultado metabólico y actividad enzimática (β -glucosidasa y deshidrogenasa), sugiriendo la reducción de algunas bacterias que son capaces de descomponer materia orgánica. Tuvo una mayor influencia en la composición de la comunidad fúngica, caracterizado por el aumento significativo de Zygomycota y la disminución de Phyla de Ascomycota, estos cambios en la composición de la comunidad microbiana se vieron afectados principalmente por el aumento de pH, carbono orgánico del suelo (COS) y la relación C / N. Después de una sola incorporación puede tener un impacto potencial en el suelo como en C y N cíclico; sin embargo, cabe señalar que los cambios en tanto a las propiedades químicas como biológicas del suelo pueden variar dependiendo del tipo de biocarbon utilizado y el suelo.

Según el artículo de Yang et al. (2017) referente a efectos del biocarbón sobre las estructuras de la comunidad bacteriana presentes en suelos contaminados por Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP). Su objetivo consiste en estudiar cuál es la relación de las comunidades bacterianas y la posible inmovilización de HAP en el suelo que origina el biochar de paja de arroz o trigo. Emplearon el método

experimental, para su muestreo de suelos, recogieron 20cm de suelos contaminados con HAP, ubicados en un campo arable en china, dicho suelo lo secaron al aire libre y pasaron por un tamiz de 2mm. El pH fue de 7.4, presencia de materia orgánica 2.0%, composición de 62.5% de limo, 8.9% de arcilla y 27.6% de arena y concentración total de HAP de 758.61ng/g. Para la preparación de biocarbón, recolectaron paja de trigo que fue pirolizado a temperatura de 300°C y 600°C, rotulados como BC300 y BC600 respectivamente. Para el tratamiento del suelo, utilizaron 495g de suelo contaminado con PAH, lo modificaron y mezclaron con 5g de BC300 y BC600 (aplicación al 1%) en un vaso cubilete. El suelo que fue modificado con biochar se vació en un matraz de 1 litro. Añadieron agua desionizada al matraz para un contenido de agua de 28%, luego compactaron y taparon el matraz e incubaron a una temperatura de 25°C en oscuridad. Seguidamente realizaron el mismo procedimiento con biocarbón al 2%, y uno de control, representándose 1% BC300, 1% BC600, 2% BC300 y 2% BC600, todos analizados por triplicado. Las muestras se airearon 1 vez a la semana durante 20 minutos, el periodo de incubación fue de 24ss. Los resultados que obtuvieron fue que la enmienda de biochar redujo significativamente a la extracción de HPCD (hidroxipropil- β - ciclodextrina) con una eficiencia $p < 0,05$, reduciendo así la biodisponibilidad de los HAP en el suelo, los biochares que fueron pirolizados a baja temperatura (300°C) presentaron mayor presencia de nutrientes (N, P), favoreciendo el crecimiento de microorganismos degradantes.

A continuación, se detalla la revisión bibliográfica de **antecedentes nacionales**: El siguiente artículo científico describe la obtención de Biocarbón utilizando Biomasa residual para la germinación o crecimiento en vivero de Sapote, por Herrera et al. (2018), donde las materias primas que emplearon fueron cáscara de café, exoesqueleto de langostino y coronta de maíz, empleando 50kg de estos, posterior a ello lo secaron, seguido de una molienda y pasado por un tamiz de 0.5mm. Colocaron en un horno pirolizador a 600°C por 2 horas, obteniendo los biocarbones que se volvieron a moler y tamizar a partículas menores de 0,25 mm separados según materia prima usada. Luego se prepararon las bolsas de almacigo de 200 g conteniendo el sustrato previamente preparado con arena de río que fue desinfectada por insolación, donde añadieron uno de los tres tipos de biocarbón,

con dosis de este de 30%wt, 15%wt y 0%wt dos repeticiones por cada uno de los tratamientos, usaron 2 semillas por cada bolsa. De manera que el biocarbón de maíz y cacao presentaron una estructura micro-mesoporosa, y el de exoesqueleto de langostino mostró una estructura predominante mesoporosa. Concluyeron que el tipo de biomasa empleada para el biocarbon influye con respecto al tiempo de germinación y la dosis empleada con el aumento de la masa de la planta de zapote. Agregando a ello, recomendaron usar bajas dosis de biocarbón en especies forestales con el fin de evitar efectos tóxicos.

En la tesis desarrollada por Cornejo (2016), empleó biocarbón y *Typha latifolia* para mejorar la calidad del suelo con fracciones de hidrocarburos F2, fue planteada para determinar la eficiencia tanto del biocarbón y la *Typha latifolia* en suelos con hidrocarburos. Emplearon la técnica de Fito estimulación donde utilizaron 04 macetas de forma rectangular de 10 kg, se colocó 250g de biocarbón con 05 plantas de *Typha latifolia* en cada maceta. Con el análisis en el laboratorio se determinó eficiencias de remoción de 50.09%, 70.74% y 92.93% según la cantidad de contaminante desde 48 510, 19 115 y 4 513, mg/kg de suelo durante el periodo de 30 días. Además, el crecimiento de la *Typha latifolia* fue mayor cuando la concentración de diésel fue alta en el suelo, con 4513 mg/kg de concentración de F2. La remoción alcanzó el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en suelos agrícolas. Durante el tratamiento se midió algunas variables dando como rango de CIC: 15.52 y 16 meq/100mg, 6% de M.O, 47% de humedad, 8% de PH, textura arenosa, densidad aparente de 1.15g/ml y porosidad de 57% y 83% de espacio ocupado de agua, logrando la biodegradación del contaminante.

Finalmente, se detalla la revisión bibliográfica de **antecedentes Locales:** En la Tesis de Romero (2017), sobre la inmovilización del plomo (Pb) presente en las muestras tomadas de los suelos agrícolas del distrito de San Mateo, Provincia de Huarochirí en Lima, aplicando biocarbon. En la metodología analizaron la concentración de Pb, a cuatro muestras de suelo de 2 Kg cada uno, con diferentes porcentajes de biocarbón (0%, 5%, 10% y 20%) respectivamente, se colocaron en macetas porosas. Se utilizó un bioindicador, la *Lactuca Sativa* (lechuga americana) durante 2 meses, con el fin de determinar el grado de inmovilización del plomo. Como resultado obtuvieron una concentración de pb en el suelo, con 0% de

biocarbón (0% eficiencia), con 5% de biocarbón (38,55% eficiencia), con 10% de biocarbón (49,07% eficiencia) y con 20% (70,34% eficiencia) Se concluye que el uso de biocarbón de excretas de porcina, pirolizado a una temperatura de 500 °C durante 2 horas, ayuda al suelo a inmovilizar el Pb presente, teniendo como resultado mayor de 70-34% de eficiencia a 20% de biocarbón presente en 2 Kg de suelo contaminado por pb.

Zegarra (2015), en su proyecto de investigación, biochar a base de vísceras de pescado y lodos de lagunas de oxidación, para mejorar las condiciones de suelos áridos en el distrito de Ancón. El biocarbón fue elaborado a 600°C en un horno pirolizador durante 3 horas, compuesto por 400 kg de residuos verdes (50%), 200 kg de lodos de lagunas de oxidación (25%) y 200 kg de vísceras de pescado (25%), siendo un total de 800 kg de biomasa, finalmente obtuvieron 350 kg de biocarbón (43,75%). Para estimular el carbón presente en el biochar, fue necesario agregar ácido fosfórico (H₃PO₄) al 50%, 10 ml por cada 10 kg de biochar. Para estimular la actividad microbiana y fijar mejor los micro y macronutrientes, el biochar paso por la fase de compostaje, con 20% de vegetales secos y triturados, 30% de estiércol fresco de vacuno, 50% de biochar de lodos de laguna de oxidación y vísceras de pescado; para acelerar el proceso de estimulación añadieron 20 L de Biol de humus de lombriz, el proceso duró aproximadamente 1 semana. Se realizaron 4 tratamientos con biochar a concentraciones de T1(5%), T2(10%), T3(15%) y T4 control (0%), con 4 repeticiones por cada tratamiento, dando un total de 16 enmiendas. Utilizaron la *Solanum Multifidum* Lam (papa nativa) para analizar el desarrollo vegetativo, sembrando 12 semillas por cada tratamiento. Los análisis de laboratorio presentaron los siguientes resultados: para biochar la relación de C/N es 12.10 y CIC meq/100g es 8.00, con respecto a los resultados del suelo post-tratamiento con biochar, se evidencio un incremento del pH, el más notable es en el T1 (5% de biochar), (T1 7.99, T2 7.86, T3 7.93 y T4 7.77), no se evidenció una tendencia en el aumento del pH, la cual se considera un tratamiento moderado alcalino. La conductividad eléctrica (CE dS/m) (T1 8.8, T2 8.43, T3 8.75 y T4 8.90) no presenta diferencias significativas entre los que tenían tratamiento (biochar) y el control. La materia orgánica (MO%) (T1 0.52, T2 1.53, T3 1.98 y T4 0.23) obtuvo una tendencia de aumento de MO. Fósforo disponible (P ppm) (T1 42.5, T2 102.5, T3 142.5 y T4 5.0) se observa un incremento del P a mayor concentración del

biochar. Capacidad de intercambio catiónico (CIC meq/100g) (T1 4.48, T2 5.24, T3 5.64 y T4 2.40) a mayor concentración de biochar, mayor CIC. Con respecto al desarrollo vegetativo se observó una germinación al 100% con los 4 tratamientos, pero con el T2 se tuvo mejores resultados a comparación con los demás, en la velocidad de crecimiento de la planta. Se concluye que el tratamiento con biochar de lodos de laguna de oxidación y vísceras de pescado mejora la calidad de los suelos áridos.

En la tesis de Panéz (2017) sobre inhibir de la disponibilidad de Cd en suelos contaminados mediante el uso de Biochar de rastrojos vegetales. Empleó la metodología de diseño experimental, longitudinal. La población fue todo el suelo contaminado en la zona de Ayacucho. Aplicó un tipo de muestreo compuesto por conveniencia, tomando 30 kg con una profundidad de 20 cm según la metodología de la Guía Para el Muestreo de Suelos (D.S N°002-2013- MINAM). Su diseño muestral fue por conglomerados. Su procedimiento consistió en realizar el muestreo de suelos, luego una muestra envió al laboratorio para su análisis de concentración de Cd en el suelo. Para la obtención del Biochar de rastrojos de vegetales emplearon temperatura de pirólisis de 700° C y su respectivo análisis de granulometría y pH. Se procedió a mezclar biochar al 10% y 20%, en dos macetas con muestras de suelo (900 g) respectivamente (2 repeticiones cada uno) y una muestra de testigo sin Biochar. Colocó debajo de cada maceta un recipiente para el lixiviado generado, el proceso duró 26 días, a temperatura ambiente. En los resultados obtuvo un biochar con pH alcalino, con respecto a la granulometría hubo presencia de arena fina (16,3%), grava (35,6%) y arena gruesa (48,1%), ya que el carbón es muy poroso, amorfo y de tamaño regular. Mediante la aplicación de biochar para inhibir la biodisponibilidad de cadmio en cada una de las muestras contaminada, se obtuvieron: Al aplicar biochar al 10% tuvo una eficiencia de 84,6% y al 20% tuvo una eficiencia de 92,3%. Con el de 20% se obtuvo una mayor eficiencia, concluyó que la dosis óptima oscila entre el 20% para la inhibición de Cadmio en el suelo, logrando una concentración < 0,01 mg/L, resultados excelentes.

En la tesis de pregrado sobre la eficiencia en la inmovilización de plomo en el suelo a nivel de laboratorio aplicando Biochar de residuos de poda, De la Cruz

(2018), en su investigación experimental de tipo cuasi experimental, longitudinal, donde su población fue los residuos vegetales del cementerio presbítero y la muestra está comprendida por aproximadamente una tonelada de hojarascas y ramas secas del arbusto Molle Costeño, escogidas manualmente y al azar, de una parcela. El procedimiento consistió en primer lugar, en recolectar la materia prima, se secó por 10 días, se trituraron y se quemaron en un horno pirolizador por 2 horas a temperatura de 500°C, el biochar que obtuvo se secó por un día a temperatura ambiente, se pasó por el proceso de molienda y se tamizó en 1-2mm, luego lo almacenó en bolsas ziploc para posterior aplicar al suelo. Una muestra se envió al laboratorio para el análisis de C y N. La concentración de solución de plomo fueron 10, 20, 40 y 80ml en 200g de suelo respectivamente, fue mezclado durante 30 min., seguido realizó análisis del suelo para determinar la composición (M.O, PH, CE, T° y CIC) y concentración de plomo. Los tratamientos del suelo fueron aplicados de la siguiente manera: Tratamiento 1: cinco muestras de suelo más 20% de Biochar, igual manera con el T2, T3 y T4. Luego se homogeneizaron, cada muestra se depositó en macetas de plástico conteniendo agujeros en el fondo, para la extracción del agua, analizando posteriormente con un espectrofotómetro. Los resultados obtenidos fueron: El análisis de Biochar con respecto al Carbono es de 43.87%, mayor al del Nitrógeno 0.88%, el suelo tratado tuvo un pH moderadamente alcalino (8.45 a 9.3), CE se incrementó de 0.42 a 8.46 ms/cm, un bajo porcentaje de MO, CIC de 9.81 a 20.51 ms/cm, con relación a cada tratamiento, el Tratamiento 1 con 20% de biochar fue el que obtuvo una mayor eficiencia para inmovilizar plomo del 50.29%, el resto de tratamientos su eficiencia, menos del 50%. En conclusión, el Biochar de residuos de poda logró disminuir la concentración de Pb en el suelo, siendo el de mayor porcentaje reducido el T1 con un 50.29%, significando que la temperatura empleada de 500°C durante 2 horas y tamaño de partículas de 2 mm, fueron eficientes.

En la tesis de Condeña (2017), donde planteó el uso de Biocarbón de bagazo de caña para la recuperación de suelos contaminados con Pb en el parque Chota - Callao, su diseño de investigación fue experimental, su población el parque Chota del AA HH Ramón Castilla y su muestra 59 kg de suelo contaminado con plomo, de manera que su análisis determinó la presencia de 1304 mg/kg de Pb en suelo, la cual está por debajo del ECA del suelo (140 mg/kg), el procedimiento consistió en

19 muestras preparadas con 3 kg distribuidos en 5 muestras con concentraciones de biocarbón de 3%, 5%, 10% y 50% y uno de control; fueron analizados en los días 30 y 45. Como resultado obtuvo que, utilizando 85 kg de bagazo de caña de azúcar se produjo 25 kg de biocarbón a una temperatura de 310°C, con un PH de 8.7 y lignina un 21.96 %, con respecto a los diferentes tratamientos obtuvieron que el tratamiento del 10% fue el más eficiente llegando absorber 1049.89 ppm de Pb en 45 días después de su tratamiento, llegando al 61.09% de eficiencia para recuperar dichos suelos contaminados con plomo.

Para la elaboración de la investigación se tomó en cuenta las siguientes **teorías**: **El suelo** es la capa superficial de la tierra, fuente de nutrientes, agua y aire donde es propicio el desarrollo de las raíces y plantas. El suelo se expande en superficie y profundidad, donde comprende capas (Horizontes o perfiles) con distintas propiedades físicas y químicas. Los principales horizontes son: Horizonte "O" presenta una capa superficial compuesta de materia orgánica (hojas secas, insectos), horizonte "A" formado por una capa superior más oscura y fértil, con más raíces, capa arable del suelo; horizonte "B", tiene una capa más arcillosa, menos fértil y con menos raíces. Finalmente tenemos al horizonte "C" conformado por la capa más profunda, con ausencia de raíces (INIA,2015, p.6).

Las **características fisicoquímicas son**: **La textura** comprende a la organización de las partículas del suelo en %, la cual determina la velocidad con que se infiltra el agua en el suelo saturado (permeabilidad). La textura se relaciona con la magnitud de las partículas del suelo, dependiendo de ello, se clasifica en tres tipos: arena, limo y arcilla que varían en tamaños de 2 a 0.05 mm, <0.05 a 0.002 mm y < 0.002 mm de diámetro respectivamente (Universidad Internacional de Riego, 2019). Además Cada horizonte del suelo tiene texturas diferentes, por ello el análisis de cada uno por separado es lo adecuado. Las partículas del suelo se determinan por su diámetro, los gruesos (mayor a 2 mm) y finos (menores a 2 mm), como la arcilla, limo y arena. También influye en propiedades como la porosidad, movimiento y almacenamiento del agua y aire, densidad aparente (FAO, 2019).

Con respecto a la **estructura**, Aguilar (2018) refiere, es la disposición en la que se encuentran las partículas, favorece la aireación, infiltración, humedad y temperatura del suelo. Permite la estabilidad de los agregados, la cual no es fácilmente

destruido. La FAO define a la **porosidad** como el porcentaje del volumen del suelo que no ocupa espacio. El volumen está conformado por 50% sólido, especificando que el 5% es materia orgánica y 45% minerales, el resto del 50% está constituido de espacio poroso, la cual conforma macroporos y microporos donde pueden circular o retener agua, aire, nutrientes y gases, donde se forman las raíces. Por otra parte, Meléndez et al. (2003) define a la **materia orgánica del suelo (MOS)** como un compuesto heterogéneo a base de carbono, formado de materia vegetal y animal, en una continua descomposición ya sea parcialmente o total de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, de microorganismos y animales en estado de descomposición. Así mismo tiene un impacto en las características biológicas y químicas del suelo. Los beneficios sobre las propiedades físicas es el incremento de la estabilidad de los compuestos del suelo, mejor infiltración del agua, más espacio poroso para la distribución del aire y retención del agua. El aumento de la MOS ayuda a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y las propiedades químicas, para atraer y almacenar nutrientes para el desarrollo de las plantas. El impacto de la MOS es reducir el estrés de los cultivos, aumentando la capacidad de resiliencia del suelo. (Best four Soil, 2020). Por otra parte, **la CIC** es la capacidad que tienen las partículas del suelo para absorber iones de la fase acuosa y de la misma manera liberan otros iones equilibradamente, de esta forma la capacidad del suelo para absorber e intercambiar cationes y aniones como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K), amoníaco (NH_4), iones de sulfato (SO_4^{-2}) y nitrato (NO_3^{-}) con las plantas (Alba, 2011).

El pH es una propiedad química, muy importante en el manejo del suelo, ya que interviene en la fijación y disponibilidad de los nutrientes, y la actividad microbiana. Un pH inferior a 5,5 conlleva a problemas de acidez, favoreciendo a la solubilidad del aluminio, afectando el sistema radical de las plantas. La mayoría de los microorganismos se adaptan a un pH 5,3 a 6,1; por la cual no requiere de un ambiente neutro. La escala del pH, menor a 7 es ácido, mayor a 7 es básico y un pH entre 6.8 a 7,2 se considera casi neutro (Parra, 2019).

El Nitrógeno, según Benimeli et al. (2019), es un macronutriente imprescindible para la vida. Está presente en el organismo vegetal. Según las investigaciones, la carencia de este elemento retrasa el desarrollo de las plantas, a su vez es una fuente

importan de sustancias proteicas para los seres vivos. El nitrógeno en el suelo se origina de estiércol, de nitratos provenientes de lluvias, fijación de nitrógeno por acción de microorganismos y restos vegetales. Antes de ser utilizado por los vegetales, estos sufren transformaciones, el nitrógeno se transforma en nitrato, las proteínas se transforman en productos más sencillos.

El fósforo en el suelo es considerado uno de los elementos más críticos en tema de disponibilidad como nutriente para la planta, por su facilidad a convertirse en formas fosforadas y de esta manera encontrándose en menor cantidades a comparación de potasio, calcio y nitrógeno. Es un elemento indispensable para el desarrollo y maduración rápida de las plantas, a diferencia del nitrógeno que prolonga estas características. El fósforo está disponible en suelo de la forma orgánica e inorgánica. De forma orgánica está compuesta por residuos de animales y vegetales, siendo los fosfoazúcares, nucleoproteínas y fosfolípidos, los fosfatados más sustanciales de la materia orgánica. El proceso de mineralización de la materia orgánica está dado por la relación C/P. De forma inorgánica se clasifica de acuerdo con su disponibilidad para las plantas, ya sea solubles, intercambiables e insolubles, absorción mediata e inmediata (Sanzano, s.f, p.1).

En cuanto a los **lodos residuales**, son un subproducto inevitable de depuradoras de aguas servidas, la cual son residuos altamente contaminantes si no se eliminan correctamente. La Administración de Protección Ambiental de China exigió que sean más estrictos y se planteen requisitos para la gestión de lodos de las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR), donde éstos implementen instalaciones para tratar sus propios lodos de depuradora deshidratados. Actualmente los métodos más utilizados son el vertido después de ser secado, incineración y aplicación a la tierra como fertilizante (Song et al., 2014).

La pirólisis es un proceso que modifica la biomasa de baja densidad energética y otros materiales orgánicos en: sólidos (biocarbon), líquidos (bioaceites) y gases (gas de síntesis) mediante el proceso termoquímico (Serna, 2017). Así mismo, en este proceso se aplican temperaturas mayores a 400°C, anaeróticamente, de manera que a dichas temperaturas se produce la descomposición térmica de la biomasa empleada donde hay liberación de vapores, luego son enfriados y

recirculados condensándose y formándose los bioaceites (compuestos líquidos polares con alto peso molecular). Finalmente está la fase sólida llamada biocarbon formada por considerables cantidades de C y componentes propios del sustrato, que luego son utilizados para el suelo en diversos agregados, para así mejorar sus condiciones (Serna,2017).

El biocarbon deriva al descubrimiento de Terra Preta de indio que significa “tierra negra”, o también de Amazonian Dark Earth, debido a su color oscuro, que se diferencia de los suelos pobres (acrisoles y ferralsoles). Un suelo de alta calidad, que se encuentra en las regiones de la cuenca Amazónica, donde estuvieron ubicadas las poblaciones precolombinas (Lehmann et al., 2002), también es el producto que se obtiene de la termólisis de materiales orgánicos (biomasa), en condiciones anaeróbicas (pirólisis), empleando temperaturas inferiores a 700°C (Escalante, 2016). De la misma forma la internacional Biochar Initiative (2012) define al biochar “producto de la transformación termoquímica de la biomasa mediante procesos anaeróbicos o semi anaeróbicos”.

Otra definición de Hugh McLaughlin (2009) sobre el biocarbon como una biomasa térmicamente modificada, ya que a través de ello se transforma la biomasa en biocarbon, mediante dos perspectivas llamada pirolisis y carbonización, donde en la pirólisis hay liberación de gases pirolíticos debido a las degradaciones químicas y con respecto a la carbonización está centrada en acumulación química de átomos de carbono en estructuras sólidas. El rango de temperatura oscila de 200 a 500°C, resumiendo que en los dos procesos fisicoquímicos transforman la biomasa en gases pirolíticos y carbón vegetal.

Los **beneficios del biocarbón** son que puede almacenar y retener el carbón en el suelo por cientos o miles de años, usado para mejorar la fertilidad del suelo, potente en adsorción de contaminantes, capacidad potencial de intercambio catiónico, retención de nutrientes (Middelani,2019). Además, el uso de biochar es una técnica empleada bastante reciente que ha demostrado con éxito que tiene la capacidad de absorber contaminantes orgánicos e inorgánicos en soluciones acuosas (Janus et al. 2018), por otro lado, el biocarbón de lodos residuales tiene la capacidad de reducir la lixiviación de metales pesados que estarían presentes en

lodos sin tratar, en particular zinc y níquel, dado que esta aplicación puede favorecer al suelo para su disponibilidad de agua (Méndez, Terradillos y Gascó, 2013).

El aumento del pH del suelo después de la aplicación de biocarbón puede mejorar la diversidad microbiana (Sheng y Zhu, 2018). Otro aspecto beneficioso para el suelo es que aumenta el secuestro de carbono y fertilidad del suelo, disminuye la acidez, mejora la capacidad de retener agua y formación de agregados del suelo, remediando suelos contaminados (Gao et al., 2017), se puede señalar que se ha empleado el biochar en suelos, para poder inmovilizar los contaminantes presentes, ya que tienen una excelente capacidad de sorción de contaminantes entre ellos: Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), cloro bencenos, diuron, atrazina, y bifenilos policlorados; también hace referencia que la disipación de PAH, atrazina y clomazona en el suelo se puede estimular con biochar (Yang et al., 2017). Si el biocarbón puede inmovilizar los HAP o estimular la disipación de los HAP en el suelo y mejorar la diversidad microbiana del suelo, entonces este reducirá en gran medida el riesgo ambiental de los HAP y beneficiará al suelo remediándolo.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada con nivel explicativo, ya que se basó en estudios preliminares y en resultados que se han obtenido en otras investigaciones, las cuales se tomó como referencia en el punto de partida para esta investigación, cabe destacar que dicha investigación aporta conocimiento en la utilización de un tipo de biochar a base de lodos residuales y su aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos actuando como un agente remediador.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue experimental de tipo pre experimental comprendido por un pre test, luego la aplicación de la variable independiente que es la experimental X a los sujetos Y, finalmente el post test, de manera que se realizó la manipulación de forma intencional de una o más variables de estudio, siendo en la investigación el uso de tres dosis de biochar de lodos residuales (variable independiente) para remediar muestras de suelos contaminados por hidrocarburos extraídas de un área de estacionamiento en el distrito de Huachipa (variable dependiente), Hernández et al. (2014).

3.2. Variables y operacionalización

En la Tabla 1, se muestra las variables que fueron analizadas en la presente investigación.

Tabla 1. *Clasificación de las variables de investigación*

Variables de investigación	Tipo
<p>Uso de biochar de lodos residuales. La literatura científica define: El biochar deriva al descubrimiento de Terra Preta de Indio que significa “tierra negra”, (Lehmann et al., 2002). La International Biochar Initiative (2012) define al biochar “producto de la transformación termoquímica de la biomasa mediante procesos anaeróbicos o semi anaeróbicos”.</p> <p>Es el producto que se obtiene de la termólisis de materiales orgánicos (biomasa), en condiciones anaeróbicas (pirólisis), empleando temperaturas inferiores a 700°C (Escalante, 2016).</p>	<p>Variable independiente</p>
<p>Reducción de hidrocarburos en suelos. La literatura científica define: Es el tratamiento y recuperación de suelos contaminados, de manera que es el conjunto de operaciones realizadas con la finalidad de controlar, disminuir o eliminar los hidrocarburos presentes en el suelo (Coria, 2007).</p> <p>Para la reducción de hidrocarburos en el suelo, existen diversas técnicas de remediación, como tratamientos ex situ e in situ, empleando tecnologías térmicas, fisicoquímicas y mixtas (Robles, 2019).</p>	<p>Variable dependiente</p>

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población.

La población correspondió a un suelo de un área de estacionamiento de 1000 m²; en el distrito de Huachipa - Lima. Esta área de terreno representa al conjunto de elementos que presentan las mismas características o propiedades que se va a estudiar (Ventura, 2017).

3.3.2. Muestra.

La muestra fue de 20 kg de suelo contaminado con hidrocarburos, que fue distribuida en 10 macetas de 2 kg cada una.

3.3.3. Muestreo.

El muestreo fue probabilístico con muestras aleatorias simples; donde se eligió 25 puntos para la recolección de las submuestras, facilitando la posibilidad de que sean elegidos todos los componentes de la población. Al final se realizó la homogeneización de las muestras extrayéndose una muestra final representativa (Guía para el Muestreo de Suelos, MINAM, 2014).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnica de recolección de datos

Se utilizó la técnica de la observación experimental, ya que el investigador tuvo el control para la elaboración de los datos, por lo que se manipularon las variables en el tratamiento mediante las dosis empleadas (Tamayo y Silva, s.f, p 8).

3.4.2. Instrumento de recolección de datos

Se utilizaron las fichas de registro de datos, las mismas que responden a los indicadores de la matriz de operacionalización.

3.4.3. Validación de Instrumento

Los instrumentos son las fichas de recolección de datos que considera lo siguiente: Producción de biochar, muestreo de suelos y tratamientos de las muestras.

La validación de un instrumento se refiere en qué manera dicho instrumento de recojo de datos se ajusta a las necesidades de la investigación (Hurtado, 2012). Es por ello, que la validez de los instrumentos fue sometido a la evaluación de 3 expertos del área de investigación de la Universidad César Vallejo (**Tabla 2**).

Tabla 2. *Validación de expertos*

NOMBRES	REGISTRO CIP	VALIDACIÓN (%)
Dr. BENITES ALFARO, Elmer Gonzales	71998	95
Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, Juan Julio	89972	90
Dr. ACOSTA SUASNABAR, Eusterio Horacio	25450	90
PROMEDIO		91,7

3.5. Procedimientos

El procedimiento consistió en cinco etapas: Elaboración de biochar de lodos residuales, toma de muestras de suelo, proceso de remediación de muestras de suelos contaminados con hidrocarburos, análisis de muestras y tratamiento de datos, donde se realizó un diagrama del procedimiento experimental, como se muestra en la **figura 1**.

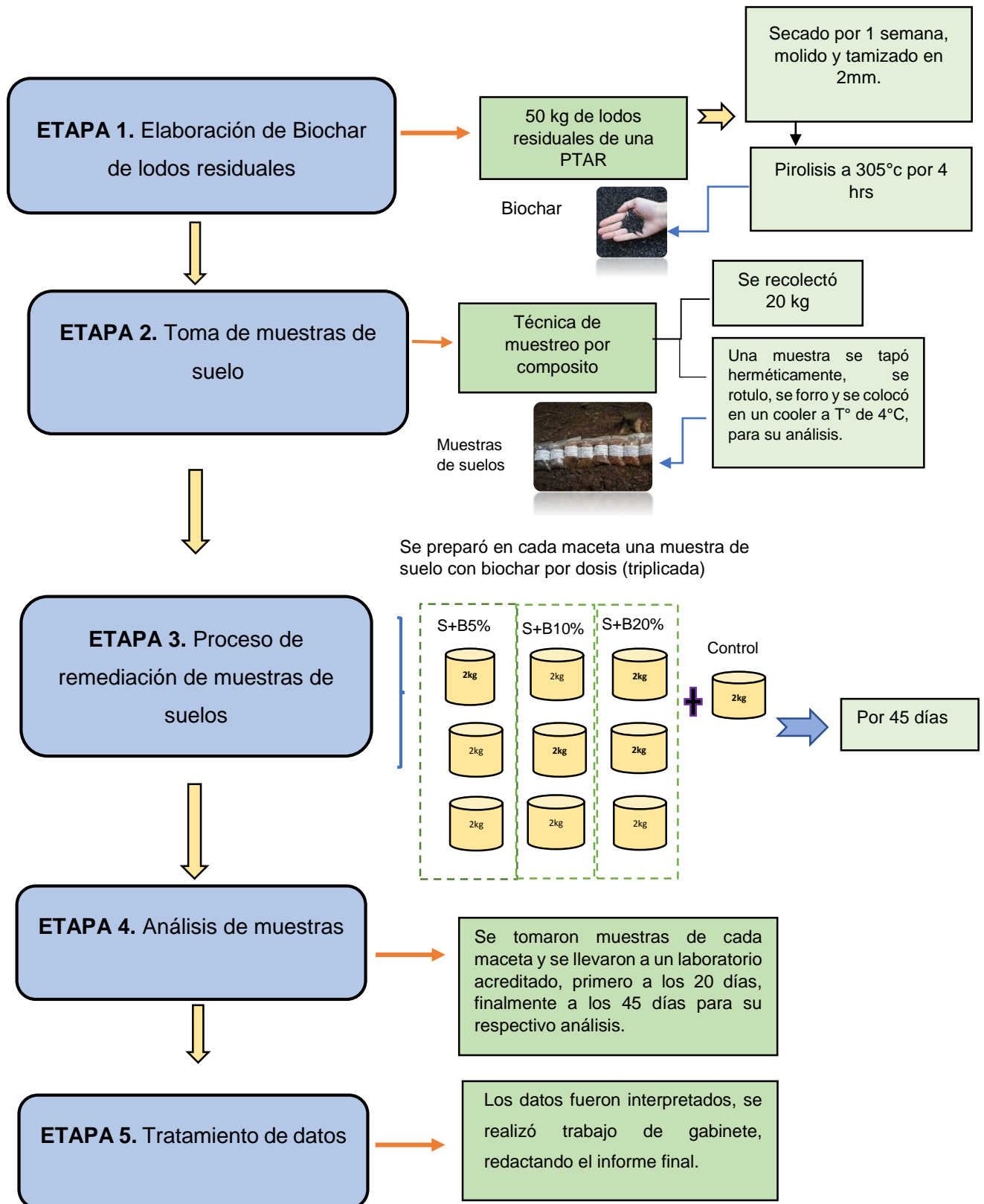


Figura 1. Diagrama del procedimiento experimental

A. ETAPA 1. Elaboración de biochar de lodos residuales

- a) La materia prima (lodos residuales) se obtuvo de la última etapa de secado una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ubicado en el distrito de Santa Rosa-Ancón - Lima, se recolectó 50 kg de lodo seco, para garantizar el secado total se esparció el lodo sobre una superficie de plástico durante una semana a temperatura ambiente sin bajo techo (**Figura 2 y 3**).



Figura 2. Recolección de lodo de PTAR



Figura 3. Lodo de PATAR almacenado

- b) Para la preparación del biochar, se adaptó el horno pirolizador elaborado por el ingeniero Edwin Condeña Naventa en su investigación “recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbon de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA. HH Ramon Castilla-Callao, 2017”, fue diseñado para producir pequeñas cantidades de biochar, para ello se adaptó un cilindro de metal de 1m³ con pequeños agujeros en la parte inferior, y a la vez una tapa hermética, con el fin de lograr una mayor producción de biochar con un limitando ingreso de oxígeno (**Figura 4 y 5**).



Figura 4. Horno pirolizador adaptado



Figura 5. Horno pirolizador original

- c) Con el horno pirolizador listo, se procedió a realizar un hoyo en el suelo con un diámetro de 50cm aproximadamente (medida del cilindro), como se muestra en la **Figura 6**. Se colocó el lodo seco en el cilindro, seguidamente se agregó hojas secas de pacay (2kg) para producir fuego, luego se tapó el cilindro con la estructura parecida a una chimenea (**Figura 7**).



Figura 6. Horno pirolizador listo



Figura 7. Inicio de la pirolizacion

- d) Pasado 1 hora se procedió a medir la temperatura con un termómetro laser (pirómetro), dando un valor de 305°C, Para verificar el nivel de fondo de temperatura, se utilizó la técnica de chorro de agua. Una vez que la temperatura logro llegar al parte fondo, se procedió a retirar la chimenea y se cerró con la tapa hermética el cilindro, finalmente se encajó el cilindro en el hoyo, cubriéndolo con tierra y sellando los bordes con barro, para evitar el ingreso de oxígeno (**Figura 8 y 9**).



Figura 8. Control de temperatura con pirómetro



Figura 9. Horno pirolizador sellado

- e) Pasada las 4 horas de cocción se retiró la tapa hermética y se dejó enfriar durante 1 hora, posterior a eso se extrajo del horno pirolizador para ser triturado obteniendo el producto final (biochar) (**Figura 10 y 11**).



Figura 10. Biochar de lodo de PTAR



Figura 11. Biochar tamizado

ETAPA 2. Toma de muestras de suelo

- a) Las muestras fueron tomadas en un suelo industrial de un área de estacionamiento de 1,000 m² en el distrito de Huachipa km 14.8, para este muestreo se empleó la técnica de muestreo composito, siguiendo la guía para el muestreo de suelos: MINAM, 2014, la profundidad del suelo para el muestreo fue de 0 a 10 cm ya que pertenece a un suelo industrial (**Figura 12**).



Figura 12. Vista del lugar de muestreo

- b) Se lavó las herramientas solo con agua destilada, antes de iniciar el muestreo, con la finalidad de evitar una contaminación cruzada (**Figura 13 y 14**).



Figura 13. Herramientas utilizadas



Figura 14. Limpieza de las herramientas

- c) Antes de iniciar el muestreo se determinaron los 25 puntos mediante un GPS, registrando las coordenadas en UTM. Para iniciar se limpió la superficie del área a muestrear, dejando libre de vegetación o cualquier otro residuo. Utilizando una pala se cavó un hoyo en forma de “v” (**Figura 15 y 16**).



Figura 15. Muestreo de suelos



Figura 16. Suelo con derrame de hidrocarburos

- d) Se depositó las muestras de suelo sobre un plástico limpio y extendido, para realizar la homogeneización de todas las submuestras, obteniendo una muestra final representativa; dicha muestra fue utilizada para el proceso de remediación de suelo que se detalla en la etapa 3.

- e) La muestra de suelo se colocará en un frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón, llenando hasta el tope, se tapa herméticamente, se rotula, se forra y se colocará en un cooler a T° de 4°C. Para luego llevarlos al laboratorio para su respectivo análisis: Concentración de Hidrocarburos Totales (F1, F2, F3), textura, CIC, PH, M.O, N, P (**Figura 17 y 18**).



Figura 17. Homogenización de la muestra de suelo



Figura 18. Tamizado de suelo

ETAPA 3. Proceso de remediación de muestras de suelos

Para la realización del tratamiento de las muestras de suelos contaminados con hidrocarburos, se utilizó una tina grande de plástico y baldes de 3 kg de capacidad donde el procedimiento fue el siguiente:

- a) Las muestras de suelo contaminado fueron tamizadas con un tamiz de 2 mm, para separar residuos de otra naturaleza (vidrio, concreto, pastico, etc.). Una vez finalizada el tamizaje, el producto fue dividido en 10 porciones iguales de 2 kg cada una, donde fueron colocadas en los recipientes de plástico (baldes). (**Figura 19 y 20**).



Figura 19. Tamizado de suelo



Figura 20. Muestra colocada en el recipiente

- b) Por otro lado, el biochar se aplicó en tres dosis: La primera fue el 5% que equivale 100g, la segunda muestra de 10% equivale a 200 g y la tercera es el 20% que equivale a 400 g, respectivamente; luego se procedió a mezclar de manera que queden bien homogeneizadas, esto se realizó de manera triplicada, quedando una muestra de suelo de 2 kg a 0% de biochar, la cual fue la muestra de control. Cada maceta fue almacenada en un lugar fresco y seco durante 45 días (**Figura 21 y 22**).



Figura 21. Pesado del biochar



Figura 22. Muestra de suelo con biochar

ETAPA 4. Análisis de muestras.

Se realizó el análisis de muestras de suelo inicial, determinando la presencia de hidrocarburos, luego se realizó un análisis de todas las macetas pasado 20 días después del tratamiento y finalmente culminado el periodo de 45 días, se realizó otro análisis de las muestras de cada maceta, determinando la concentración final de hidrocarburos y a la vez se realizó el análisis fisicoquímico de las muestras de suelo; los valores obtenidos se describen en el ítem de resultados.

ETAPA 5. Tratamiento de datos.

Los datos fueron interpretados, se realizó trabajo de gabinete, redactando el informe final.

3.6. Método de análisis de datos

A. Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó utilizando fichas de registro de datos.

B. Proceso de análisis de datos.

Los datos fueron analizados utilizando estadística descriptiva e inferencial conforme corresponde, utilizando método estadístico ANOVA.

3.7. Aspectos éticos

Según el código de Ética de la Universidad Cesar Vallejo, referente a la investigación, se ejecuta siguiendo los criterios adecuados basados en la Resolución del Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV; considerando el capítulo 3, para desarrollar este proyecto de investigación, menciona cuales son las etapas y pasos para la publicación de la investigación. Además, se determinó la línea de investigación basada en la RCU N°200-2018 / UCV y se tomó en consideración la RR N°0089-2019-UCV donde explica aspectos generales que se debe considerar en la redacción de la investigación.

Se respeta la propiedad intelectual y la autoría de la información bibliográfica, citando correctamente a los autores a través del ISO 690, con la referencia de sus datos de publicación que nos darán una información veraz y confiable. Finalmente, el proyecto de investigación se sube al turnitin para verificar el índice de similitud del proyecto de investigación con otras ya publicadas, constatando que es una investigación propia de los autores.

IV. RESULTADOS

Análisis de hidrocarburos totales de petróleo en muestra de suelo de un área de estacionamiento en los primeros 20 días de tratamiento y 45 días.

4.1. Resultados de la concentración de hidrocarburos de fracción ligera en 20 y 45 días.

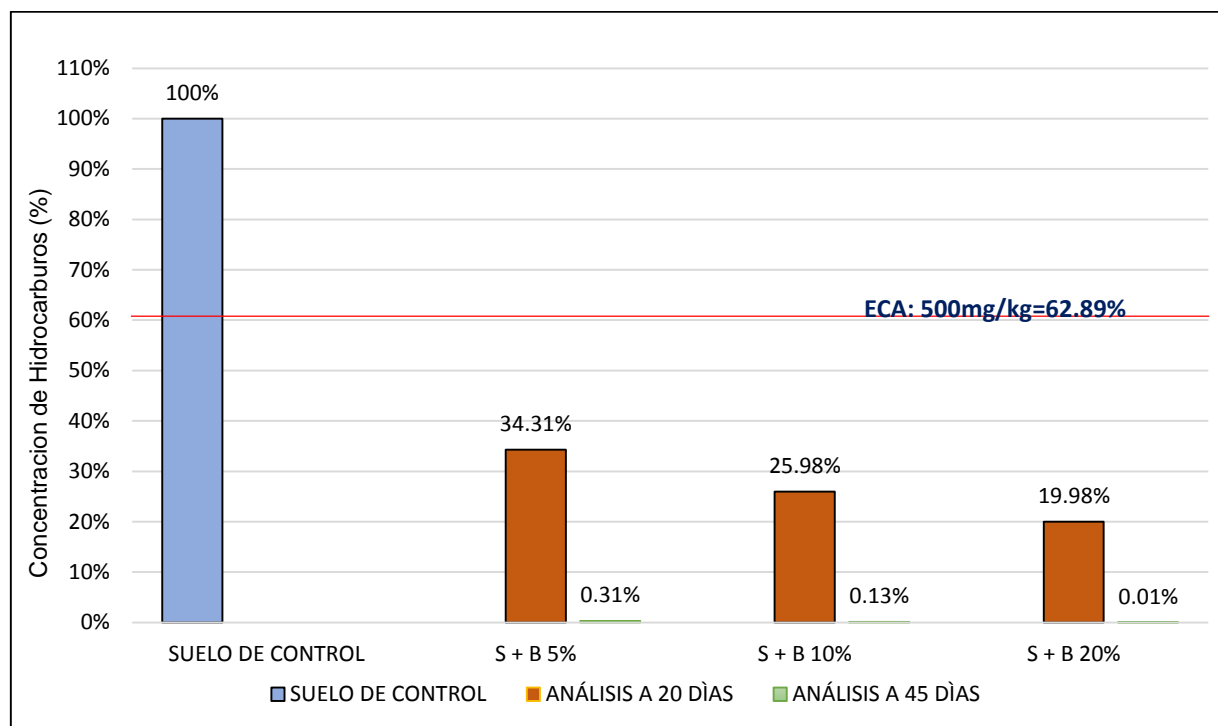


Gráfico 1. Hidrocarburos de fracción ligera en 20 y 45 días.

Interpretación: El Gráfico 1 muestra la comparación de los resultados obtenidos en los primeros 20 días y 45 días de tratamiento con el suelo de control. Los resultados del parámetro de F1 (C6-C10) están por debajo de los Estándares de calidad ambiental para suelo, D.S. N° 011-2017-MINAM, de 500 mg/kg. (Suelo industrial). Durante los primeros 20 días de análisis, el tratamiento del 5% de biochar obtuvo eficiencia de 65.69%, el 10% de biochar tuvo una eficiencia de 74.02% y finalmente con el 20% de biochar una eficiencia de 80.02%; en cambio en el tiempo de análisis de 45 días de tratamiento se obtuvo resultados: al 5% de biochar una eficiencia de 99.69%, al 10% de biochar una eficiencia de 99.87% y a un 20% de biochar se obtuvo eficiencia de 99.99%. Observando una mayor disminución en la concentración en S+B 20%, debido que a mayor porcentaje de biochar añadido al suelo contaminado con hidrocarburos, mayor fue la cantidad de reducción.

4.2. Línea de tendencia de hidrocarburos de fracción ligera en 20 y 45 días.

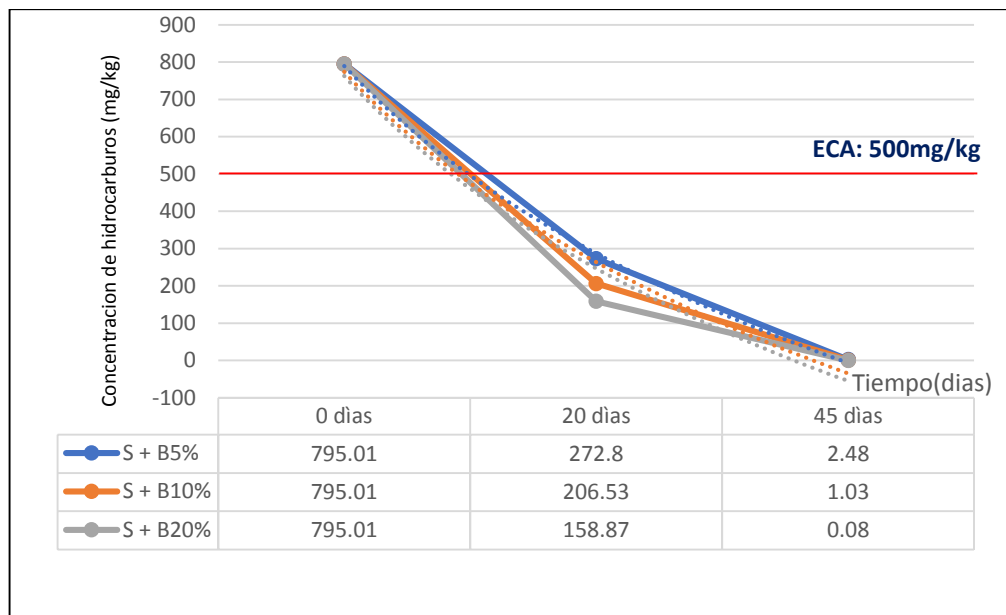


Gráfico 2. Línea de tendencia de Hidrocarburos de fracción ligera

Interpretación: El Gráfico 2 muestra la línea de tendencia de hidrocarburos de fracción ligera, donde se pudo identificar que el tratamiento S+20% tiene mayor disminución con relación al tiempo tanto de 20 días de análisis como el de 45 días de análisis, teniendo una presencia de hidrocarburos de F1 tan solo de 0.01%, reduciendo el 99.99% en 45 días. Comparando con el resto de los tratamientos se deduce que tuvo una reducción de hidrocarburos a menor tiempo.

4.3. Resultados de la concentración de hidrocarburos de fracción media en 20 y 45 días.

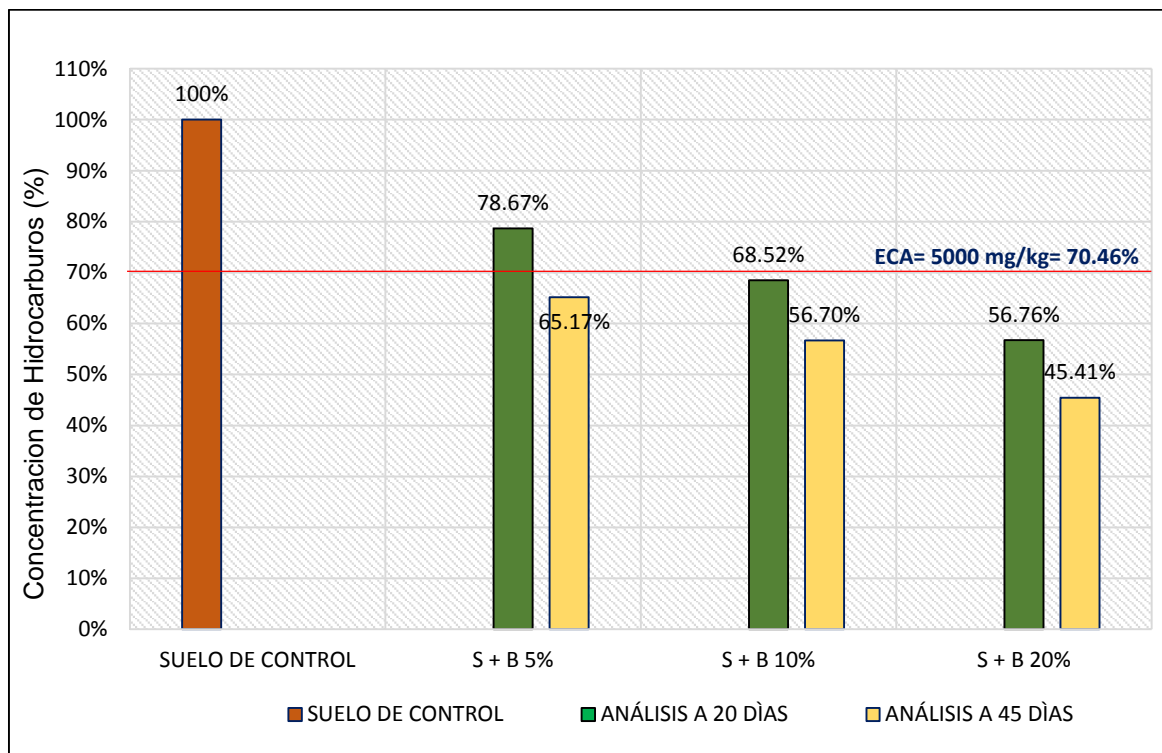


Gráfico 3. Hidrocarburos de fracción media en 20 y 45 días.

Interpretación: En el gráfico 3 se puede observar los resultados obtenidos en los 20 días y 45 días de tratamiento usando biochar de lodos residuales. El porcentaje de eficiencia en los 20 días de análisis fue: tratamiento al 5% fue 21.33%, tratamiento al 10% fue 31.48% y el tratamiento con el 20% de biochar una eficiencia de 43.24%; en cambio en el tiempo de análisis de 45 días de tratamiento se obtuvo resultados: al 5% de biochar una eficiencia de 34.83%, al 10% de biochar una eficiencia de 43.30% y a un 20% de biochar se obtuvo eficiencia de 54.59%. Observando una mayor disminución en la concentración en S+B 20%, debido que a mayor porcentaje de biochar añadido al suelo contaminado con hidrocarburos, mayor fue la cantidad de reducción. Los resultados finales a los 45 días del parámetro de F2 (C10-C28) están por debajo de los Estándares de calidad ambiental para suelo, D.S. N° 011-2017-MINAM, de 5000 mg/kg. (Suelo industrial).

4.4. Línea de tendencia de hidrocarburos de fracción media en 20 y 45 días.

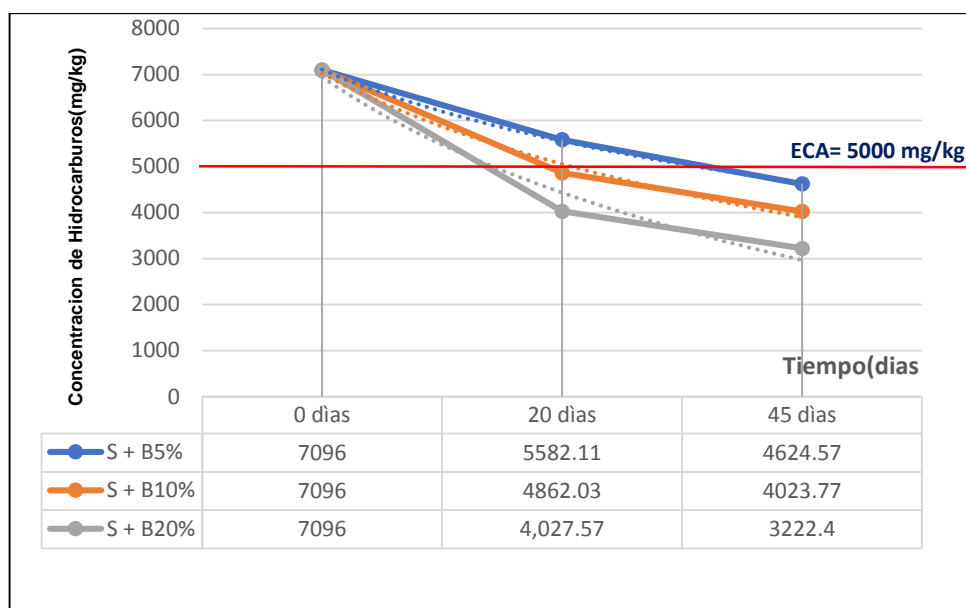


Gráfico 4. Línea de tendencia de Hidrocarburos de fracción media

Interpretación: El Gráfico 4 muestra la línea de tendencia sobre la reducción de hidrocarburos de fracción pesada, donde se pudo identificar que el tratamiento S+20% tiene mayor disminución con relación al tiempo tanto de 20 días como de 45 días de análisis. Comparando con el resto de los tratamientos se deduce que tendrá una reducción de hidrocarburos a menor tiempo.

4.5. Resultados de la concentración de hidrocarburos de fracción pesada en 20 y 45 días.

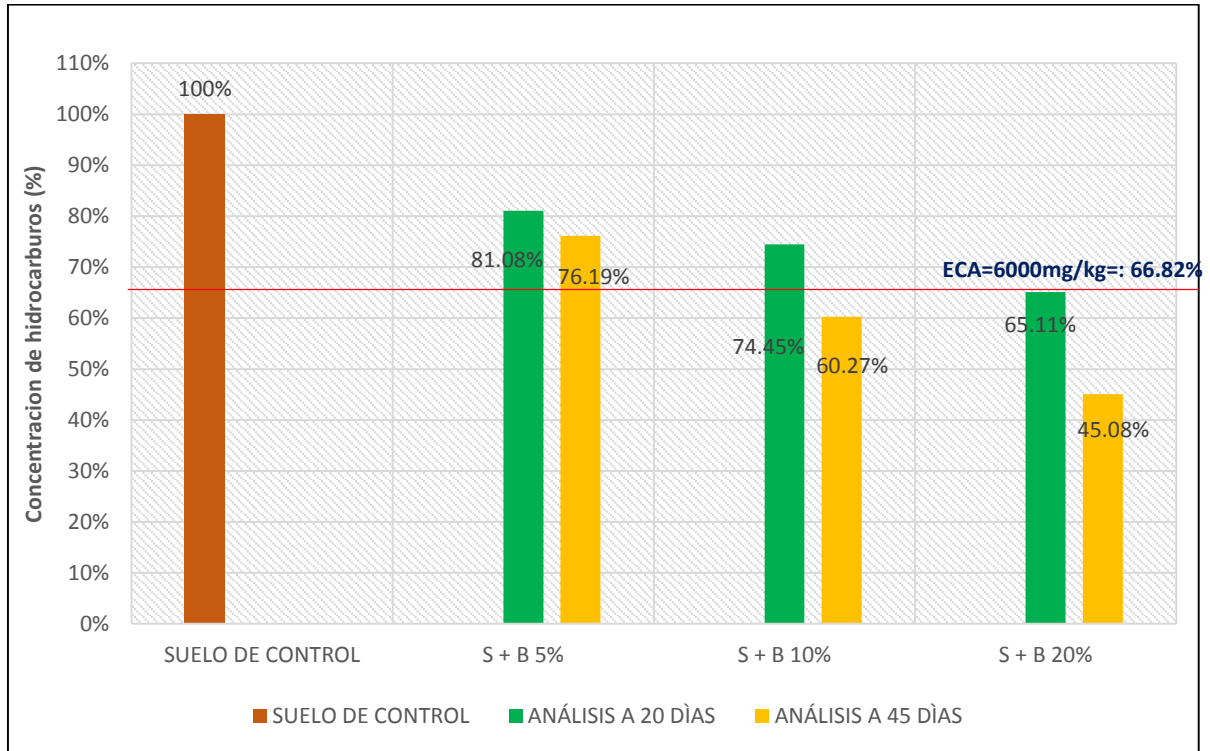


Gráfico 5. Hidrocarburos de fracción pesada en 20 y 45 días

Interpretación: En el gráfico 5 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en 20 y 45 días, aplicando tratamiento con biochar a tres porcentajes, siendo los resultados de eficiencia en 20 días lo siguiente: tratamiento al 5% fue 18.92%, tratamiento al 10% fue 25.55% y el tratamiento con el 20% de biochar una eficiencia de 34.89%; en cambio en el tiempo de análisis de 45 días de tratamiento se obtuvo resultados: al 5% de biochar una eficiencia de 23.81%, al 10% de biochar una eficiencia de 39.73% y a un 20% de biochar se obtuvo eficiencia de 54.92%. Observando una mayor disminución en la concentración en S+B 20%, debido que a mayor porcentaje de biochar añadido al suelo contaminado con hidrocarburos, mayor fue la cantidad de reducción. Finalmente, el porcentaje de biochar al 5% en 45 días no logró disminuir los ECAs de suelo, pero los porcentajes de 10 y 20% sí obtuvieron valores por debajo de los Estándares de calidad ambiental para suelo, D.S. N° 011-2017-MINAM, de 5000 mg/kg. (Suelo industrial),

4.6. Línea de tendencia de hidrocarburos de fracción pesada en 20 y 45 días.

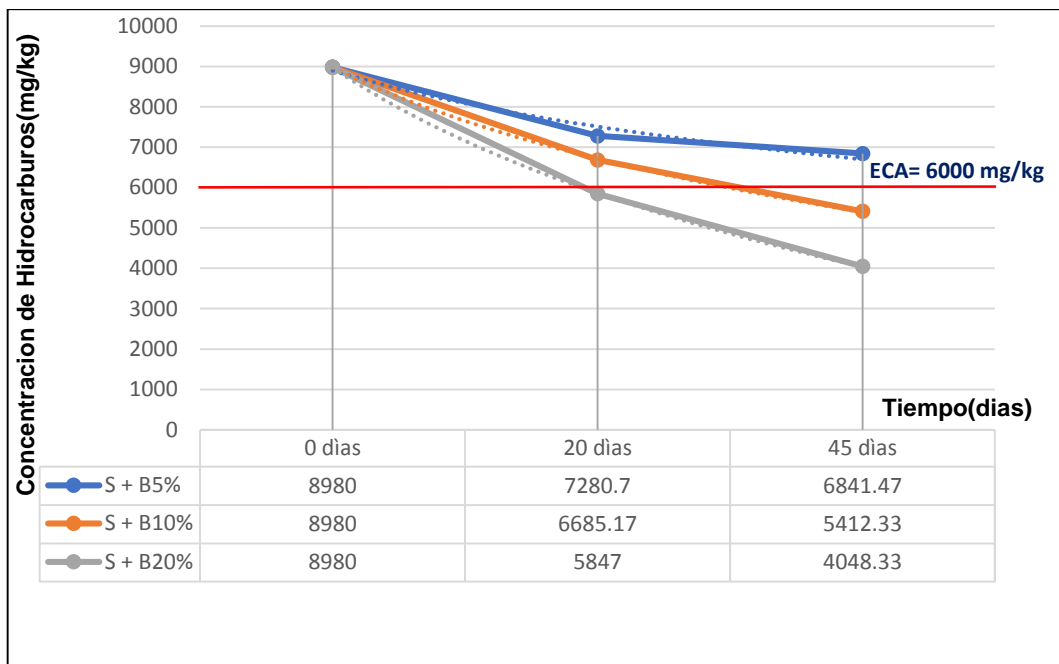


Gráfico 6. Línea de tendencia de Hidrocarburos de fracción pesada

Interpretación: El Gráfico 6 muestra la línea de tendencia sobre la reducción de hidrocarburos de fracción pesada, donde se pudo identificar que el tratamiento S+20% tiene mayor disminución con relación al tiempo tanto de 20 días de análisis como el de 45 días de análisis. Cabe resaltar que la cantidad de reducción con relación a las otras fracciones tuvo una disminución lenta, debido a su una mayor densidad y viscosidad, así como la composición de su peso molecular.

4.7. Resumen de la concentración de hidrocarburos en 20 y 45 días.

Tabla 3. Cuadro de resumen de resultados sobre la concentración de HTP en 20 días y 45 días.

Fracción de hidrocarburos	ECA de suelo (mg/kg)	Tratamiento	Muestra de control (mg/Kg)	Resultados a 20 días (mg/Kg)	Resultados a 45 días (mg/Kg)	Reducción total (mg/Kg)	Porcentaje de eficiencia
Fracción Ligera (C6-C10)	500	S+B 5%	795.01	272.80	2.48	792.53	99.69%
		S+B 10%		206.53	1.03	793.98	99.87%
		S+B 20%		158.87	0.08	794.93	99.99%
Fracción Media (C10-C28)	5000	S+B 5%	7096.00	5582.11	4624.57	2471.43	34.83%
		S+B 10%		4862.03	4023.77	3072.23	43.30%
		S+B 20%		4027.57	3222.40	3873.60	54.59%
Fracción Pesada (C28-C40)	6000	S+B 5%	8980.00	7280.70	6841.47	2138.53	23.81%
		S+B 10%		6685.17	5412.33	3567.67	39.73%
		S+B 20%		5847.00	4048.33	4931.67	54.92%

Interpretación: La Tabla 3. Muestra los valores de comparación de los resultados obtenidos en los primeros 20 y 45 días de tratamiento. Donde se puede observar los porcentajes de eficiencia por cada tratamiento, en la cual el tratamiento que emplea el 20% de biochar tiene mayor reducción en comparación con los demás tratamientos.

4.7. Resultados de los parámetros físicoquímicos en 20 y 45 días.

a) Resultados de Materia Orgánica

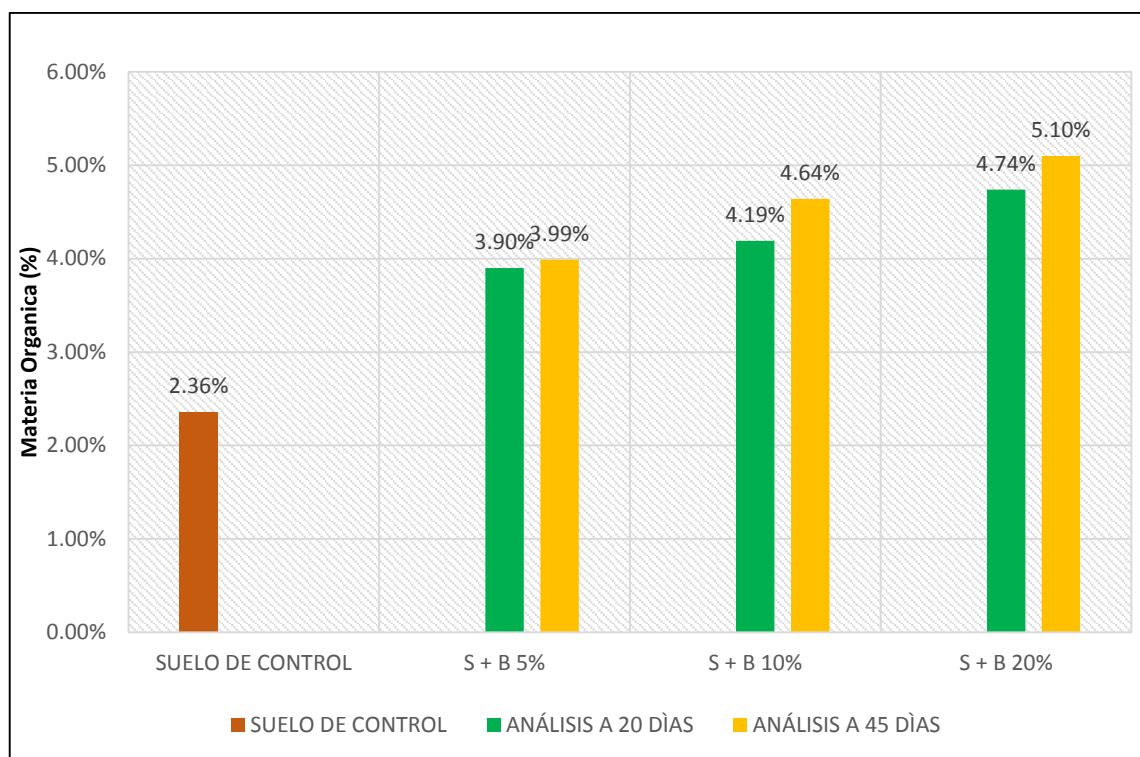


Gráfico 7. Resultados de materia orgánica en 20 y 45 días

Interpretación: El gráfico 7 muestra un aumento progresivo de la materia orgánica con relación al suelo de control, empleando biochar a diferentes concentraciones en suelo contaminado con hidrocarburos en 20 y 45 días de tratamiento, obteniendo un mayor porcentaje de MO en S+B20% (suelo+biochar), esto se debió a la característica porosa del biochar, que influye en la proliferación de la población microbiana presente en el suelo degradando material orgánico y por ende el aumento de materia orgánica.

b) Resultados de pH

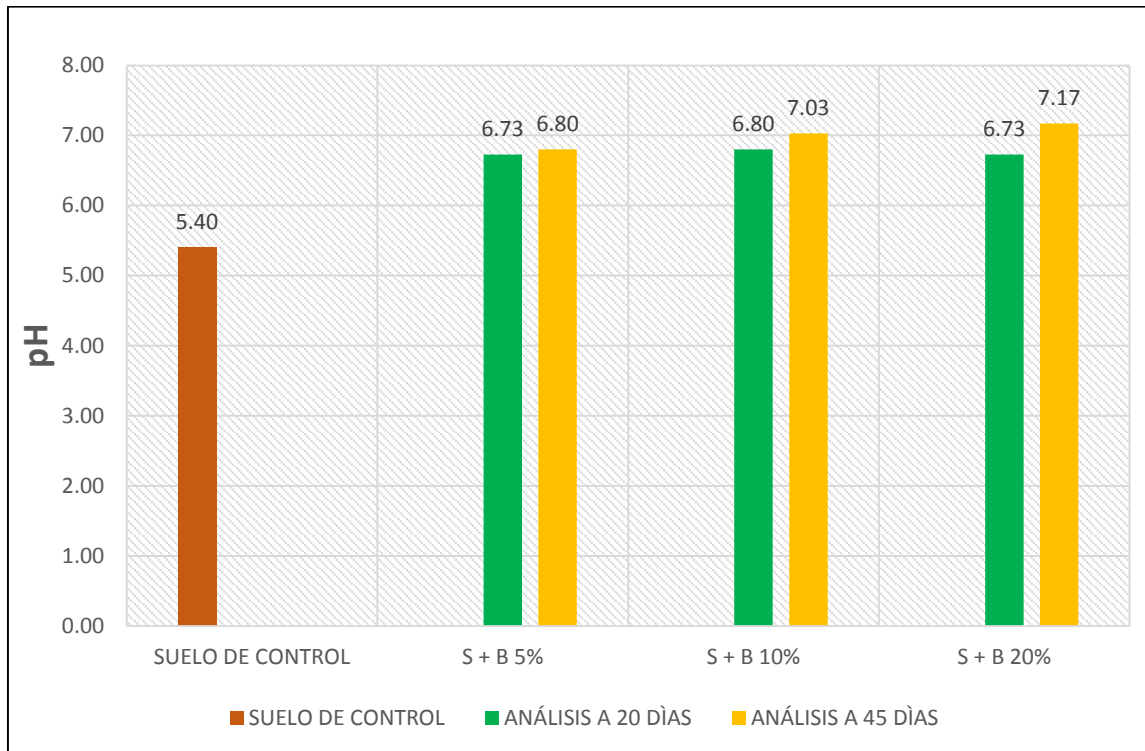


Gráfico 8. Resultados de pH en 20 y 45 días de tratamiento.

Interpretación: El gráfico 8 muestra que el pH ha tenido un ligero aumento, con relación al su valor inicial (suelo de control), se observa que el pH en los tres tratamientos mantiene un valor similar; alcanzando mayor valor el S+B10% en los primeros 20 días, y en el análisis de 45 días el mayor valor fue en S+B20% de 7.17 siendo un valor óptimo de un suelo fértil y/o sano.

c) Resultados de Fósforo

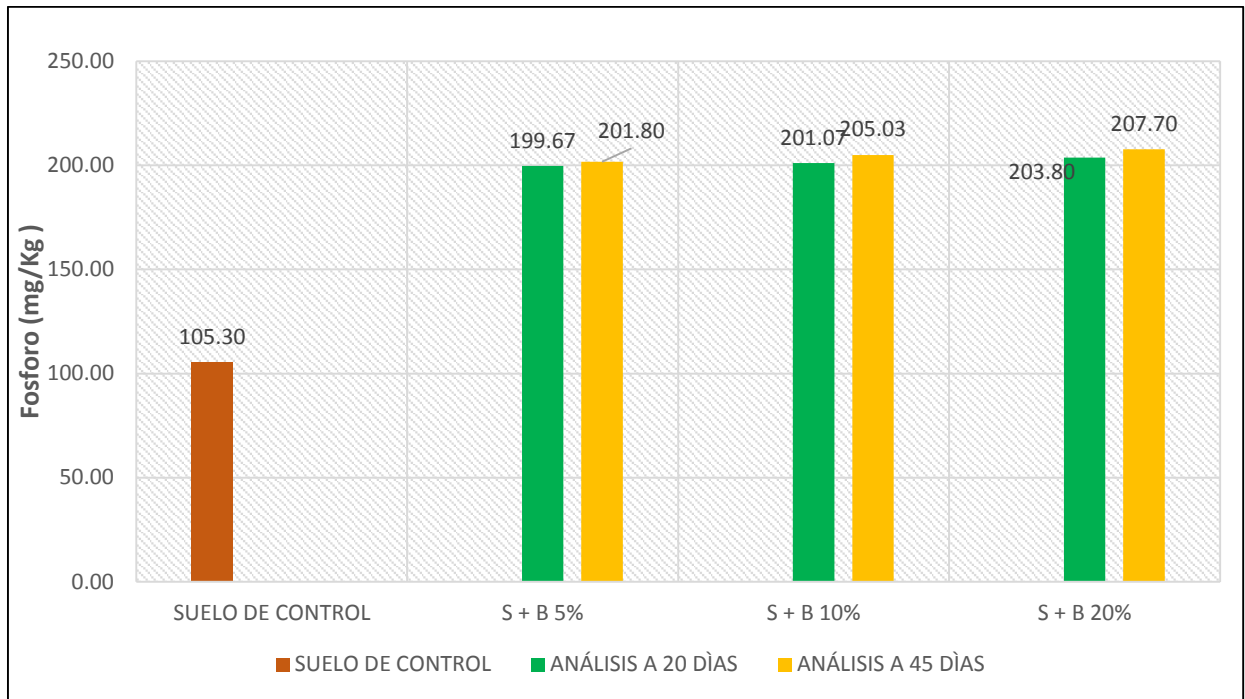


Gráfico 9. Resultados de Fosforo en 20 y 45 días de tratamiento.

Interpretación: El gráfico 9 muestra que el fósforo ha tenido un aumento, en los tres tratamientos con biochar, siendo el S+B20% el de mayor valor obtenido durante 20 y 45 días de tratamiento.

d) Resultados de Nitrógeno

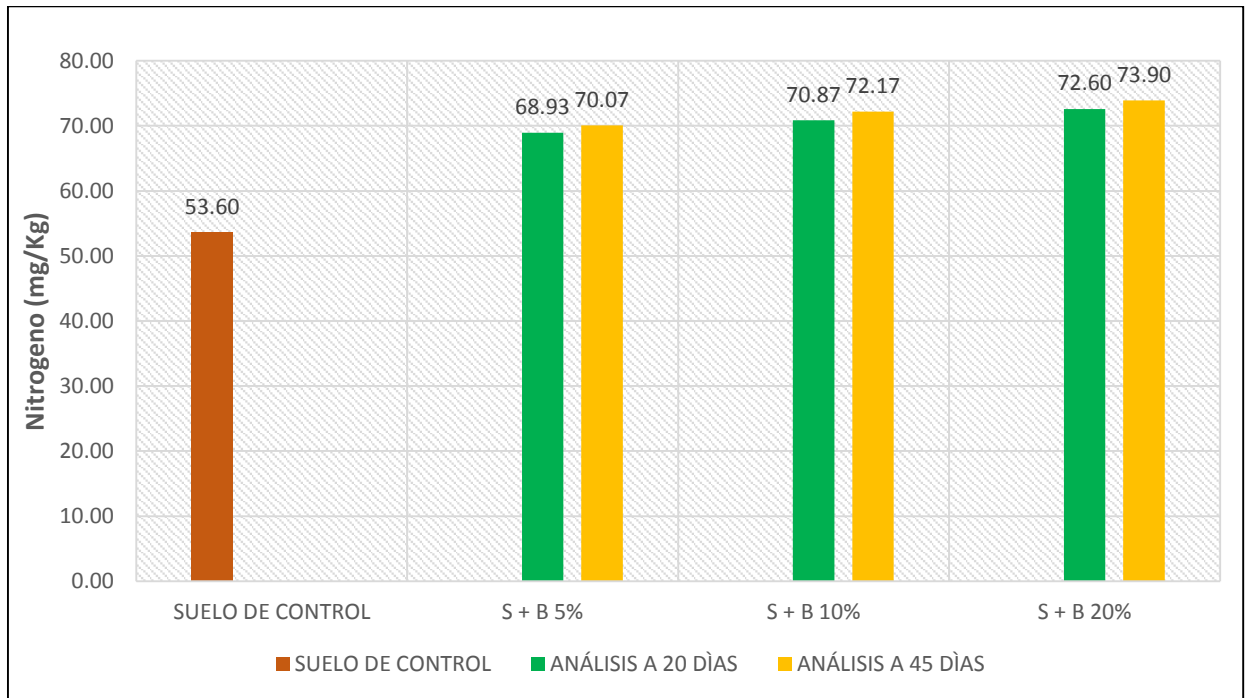


Gráfico 10. Resultados de nitrógeno en 20 y 45 días

Interpretación: El gráfico 10 muestra que el Nitrógeno ha tenido un aumento, en los tres tratamientos con biochar, siendo el S+B20% el de mayor valor obtenido durante 20 y 45 días de tratamiento.

e) Resultados de la Capacidad de Intercambio Catiónico

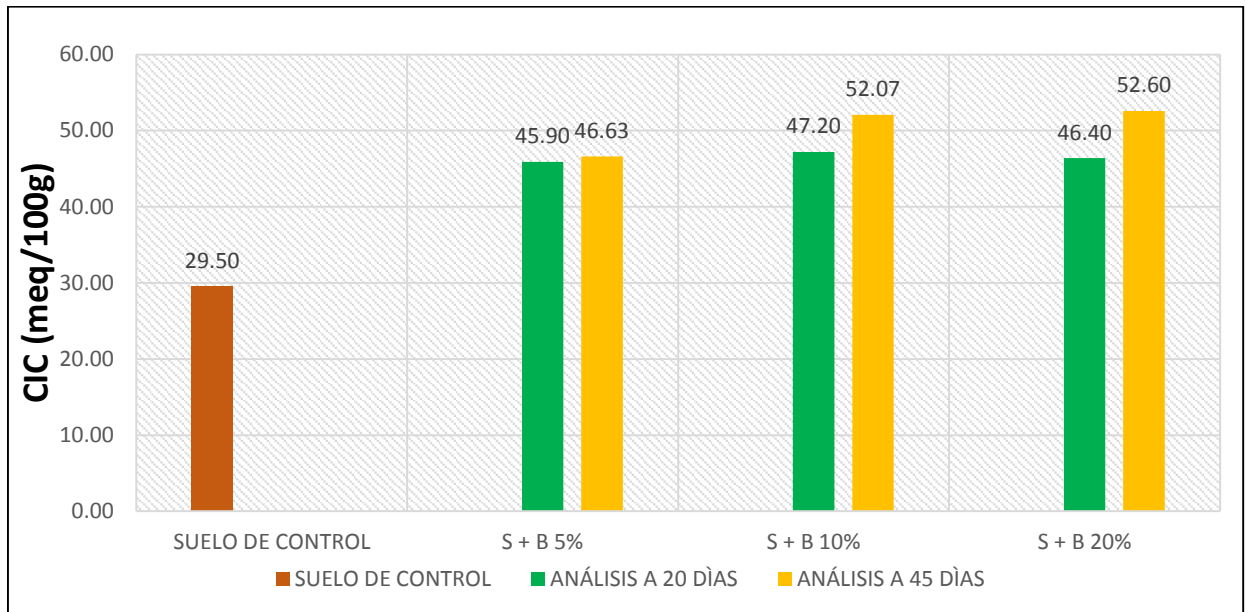


Gráfico 11. Resultados de CIC en 20 y 45 días.

Interpretación: El gráfico 11 muestra que la capacidad de intercambio catiónico ha tenido un aumento, en los tres tratamientos con biochar, siendo el S+B10% el de mayor valor obtenido durante 20 días de tratamiento, y en el análisis de 45 días el mayor valor fue de 20% con un valor de 52.60 meq/100g.

f) Resultados de la Textura de tratamiento 5%.

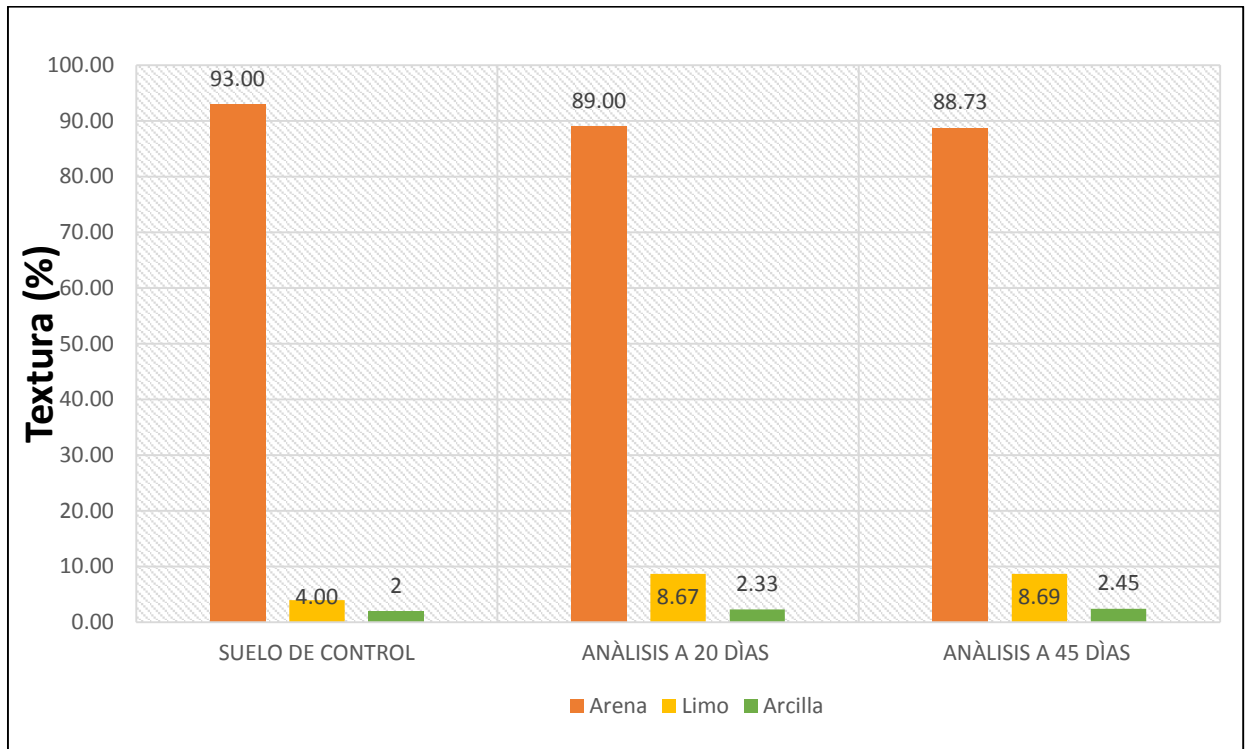


Gráfico 12. *Textura con tratamiento al 5% de biochar en 20 y 45 días.*

Interpretación: El gráfico 12 muestra que no hay gran variación con relación a la textura, ya que se observa una leve disminución de arena, el limo ha subido ligeramente junto con la arcilla en el periodo de 20 días de tratamiento, en cambio en el tratamiento de 45 días hay un ligero aumento en arena, se mantiene los valores del limo y leve disminución de arcilla.

g) Resultados de la Textura de tratamiento 10%.

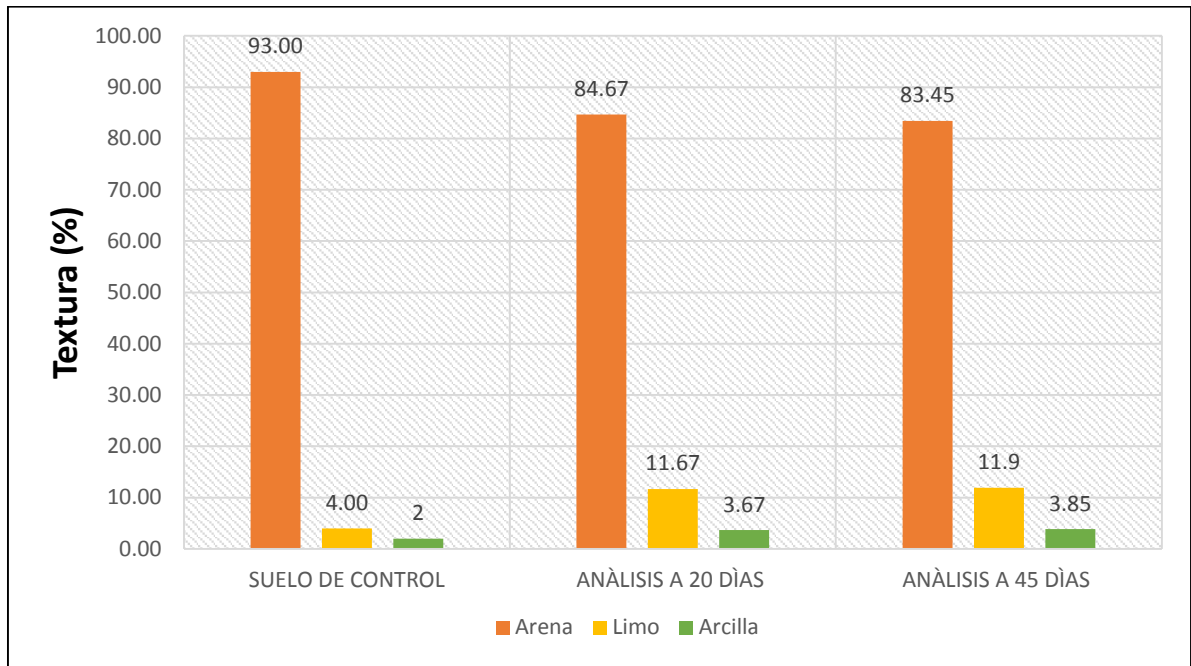


Gráfico 13. Textura con tratamiento al 10% de biochar en 20 y 45 días.

Interpretación: El gráfico 13 muestra que no hay gran variación con relación a la textura, ya que se observa una leve variación de arena en el periodo de 20 y 45 días, mientras que en limo ha subido de manera considerable y la arcilla regular cantidad en el periodo de 20 días de tratamiento, en cambio en el tratamiento de 45 días hay un ligero aumento en arena, limo y arcilla.

h) Resultados de la Textura de tratamiento 20%.

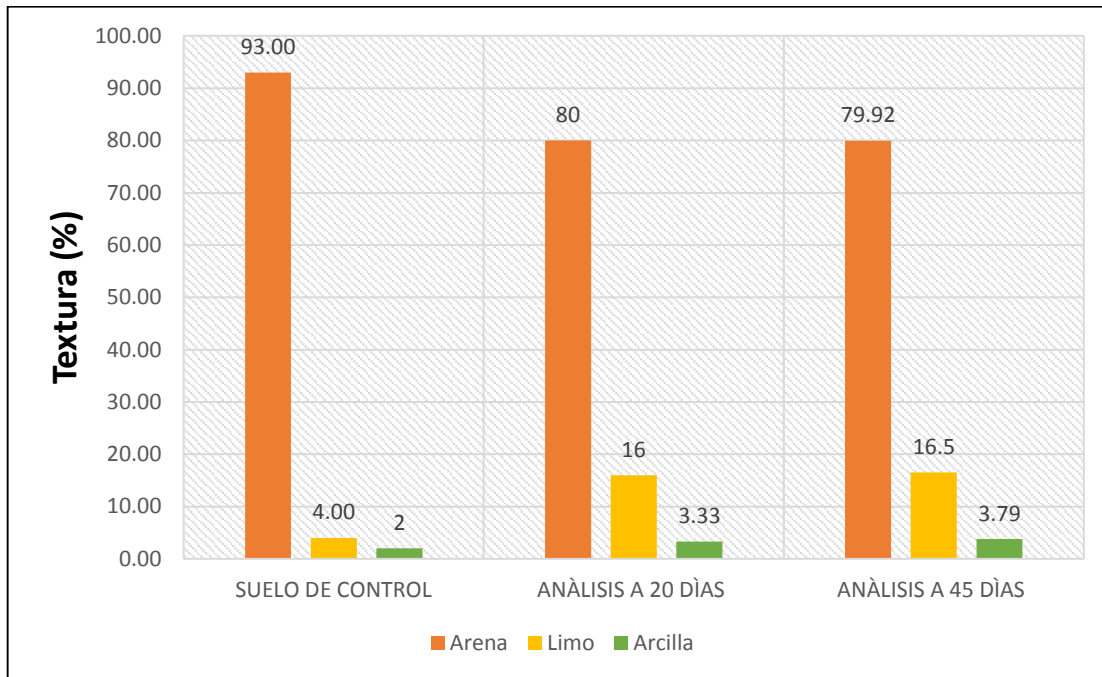


Gráfico 14. Textura con tratamiento al 20% de biochar en 20 y 45 días.

Interpretación: El gráfico 14 muestra que no hay gran variación con relación a la textura, ya que se observa una leve disminución de arena, el limo ha subido ligeramente junto con la arcilla en el periodo de 20 días de tratamiento y 45 días de igual manera.

i) Resumen de la concentración de los parámetros fisicoquímicos en 20 y 45 días.

Tabla 4. Cuadro de resumen de resultados sobre los parámetros fisicoquímicos en 20 días y 45 días.

Parámetros fisicoquímicos	Muestra de control	Resultados a 20 días			Resultados a 45 días			variación total			% Eficiencia			
		S+B 5%	S+B 10%	S+B 20%	S+B 5%	S+B 10%	S+B 20%	S+B 5%	S+B 10%	S+B 20%	S+B 5%	S+B 10%	S+B 20%	
MO	2.36	3.9	4.19	4.74	3.99	4.64	5.1	1.63	2.28	2.74	69%	58%	65%	
PH	5.4	6.73	6.8	6.73	6.8	7.03	7.17	1.4	1.63	1.77	26%	30%	33%	
NITROGENO	53.6	68.93	70.87	72.6	70.07	72.17	73.9	16.47	18.57	20.3	31%	35%	38%	
FOSFORO	105.3	199.67	201.07	203.8	201.8	205.03	207.9	96.5	99.73	102.6	92%	95%	97%	
CIC	29.5	45.9	47.2	46.4	46.63	52.07	52.6	17.13	22.57	23.1	58%	77%	78%	
TEXTURA	ARENA	93	89	84.67	80	88.73	83.45	79.92	-4.27	-9.55	-13.08	-5%	-10%	-14%
	LIMO	4	8.67	11.67	16	8.69	11.9	16.5	4.69	7.9	12.5	117%	198%	313%
	ARCILLA	2	2.33	3.67	3.33	2.45	3.85	3.79	0.45	1.85	1.79	23%	93%	90%

Interpretación: La tabla 4 muestra la comparación de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de suelo en los análisis de 20 y 45 días. Observando que hubo mayor influencia al cambio en la aplicación del tratamiento del 20% de biochar, siendo la dosis más óptima en dicho tratamiento.

4.8. Procesamiento de los datos obtenidos en 20 y 45 días.

Tabla 5. ANOVA para los parámetros fisicoquímicos

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Materia orgánica	Entre grupos	14,466	6	2,411	979,305	,000
	Dentro de grupos	,034	14	,002		
	Total	14,500	20			
pH	Entre grupos	7,682	6	1,280	65,655	,000
	Dentro de grupos	,273	14	,020		
	Total	7,955	20			
Nitrógeno	Entre grupos	811,963	6	135,327	1179,199	,000
	Dentro de grupos	1,607	14	,115		
	Total	813,570	20			
Fosforo	Entre grupos	24786,732	6	4131,122	1671,552	,000
	Dentro de grupos	34,600	14	2,471		
	Total	24821,332	20			
CIC	Entre grupos	1102,067	6	183,678	433,397	,000
	Dentro de grupos	5,933	14	,424		
	Total	1108,000	20			

a) Prueba de hipótesis

H₀: Las propiedades fisicoquímicas de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, no mejorará con el tratamiento de Biochar de lodos residuales.

H₁: Las propiedades fisicoquímicas de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, mejorará con el tratamiento de Biochar de lodos residuales.

b) Regla de decisión

$\text{sig} < 0,05$. Rechazamos la H₀:

c) Resultado /discusión

Con respecto a la materia orgánica, el **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H₁** Las propiedades fisicoquímicas (materia orgánica) de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, mejoró con el tratamiento de Biochar de lodos residuales (**Tabla 5**).

Con respecto al pH, el **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H₁** Las propiedades fisicoquímicas (pH) de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, mejoró con el tratamiento de Biochar de lodos residuales (**Tabla 5**).

Con respecto al nitrógeno, el **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H₁** Las propiedades fisicoquímicas (nitrógeno) de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, mejoró con el tratamiento de Biochar de lodos residuales (**Tabla 5**).

Con respecto al Fosforo, el **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H₁** Las propiedades fisicoquímicas (Fosforo) de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, mejoró con el tratamiento de Biochar de lodos residuales (**Tabla 5**).

Con respecto a la Capacidad Intercambio Catiónico, el **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H₁** Las propiedades fisicoquímicas (Capacidad de intercambio catiónico) de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, mejoró con el tratamiento de Biochar de lodos residuales (**Tabla 5**).

Tabla 6. Prueba de muestras emparejadas para los hidrocarburos

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Hidrocarburos iniciales - Hidrocarburos finales	2373,38 444	1757,55619	414,2599 7	1499,37231	3247,39658	5,729	17	,000

a) Prueba de hipótesis

H₀: La menor eficiencia de biochar de lodos será a una concentración de 20 % para la reducción de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa, en un lapso de 45 días.

H₁: La mayor eficiencia de biochar de lodos será a una concentración de 20 % para la reducción de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa, en un lapso de 45 días.

b) Regla de decisión

sig. <0,05. Rechazamos la **H₀**:

c) Resultado /Conclusión

El p valor obtenido, mediante la prueba de **T-Student** es menor de 0,05, entonces rechazamos la **H₀**. Aceptamos la **H₁** La mayor eficiencia de biochar de lodos será a una concentración de 20 % para la reducción de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa, en un lapso de 45 días (**Tabla 6**).

V. DISCUSIÓN

Con respecto a los Hidrocarburos, se trabajó con 3 tipos de fracciones: Ligera, media y pesada, donde la concentración inicial fue de: 795.01, 7096 y 8980 mg/kg respectivamente; al realizar el tratamiento con biochar de lodos residuales en concentraciones de 5%, 10% y 20%, durante un tiempo de 20 y 45 días; se pudo evidenciar una reducción máxima de 80.02% para la fracción ligera, así mismo para la fracción media 43.24% y para fracción pesada 34.89% en 20 días de tratamiento, algo semejante ocurre en 45 días de tratamiento, se pudo determinar que la fracción ligera disminuyó en 99.99%, también la fracción media un 54.59% y la fracción pesada 54.92%. Cabe destacar que en la investigación de Martínez et al. (2011) Usó lodos residuales para la disminución de hidrocarburos, donde logró una remoción de 66% al 93% a nivel de laboratorio y escala piloto, siendo el de mejor tratamiento los lodos residuales frescos (biosólidos), tal manera que, estos lodos favorecieron la proliferación de microorganismos propios del suelo y a la vez la degradación de los hidrocarburos por dichos microorganismos; de la misma forma se evidenció en la investigación realizada por Tao et al. (2016), que mediante el uso de biochar de pajilla de trigo logró reducir los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en un 33.45 % en un lapso de 90 días. Eso quiere decir, debido a la estructura porosa del biochar da como resultado a una gran superficie y predominio de microporos, que tienen la función de absorber y a la vez inmovilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en suelos o aguas contaminadas.

Con respecto a la materia orgánica, ésta presentó 2.34% en la muestra testigo, luego de someterse a la adición de biochar se pudo determinar que aumentó en 3.90%, 4.19% y 4.74%, con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente, en un periodo de 20 días, después de 45 días, la materia orgánica aumentó en 3.99%, 4.64% y 5.09% con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente. Esta coincidencia de aumento de materia orgánica se evidencia en investigaciones de Cornejo (2016), donde aplicó biocarbón para mejorar el suelo, así mismo determinó que tras la aplicación del biocarbón, la materia orgánica aumentó en un 4.7% con respecto a la muestra testigo, algo semejante ocurre en las investigaciones de Romero (2017) y De la Cruz (2018), donde aplicaron biochar al

suelo, evidenciando un aumento en la materia orgánica al realizar la comparación con la muestra de suelo inicial. Por ende, la materia orgánica del suelo es esencial porque retiene agua y nutrientes en los suelos, donde la presencia de bajos niveles de MO, causa la mala fertilidad del suelo. De tal manera, mediante el uso de enmiendas de biochar, permite mejorar la calidad del suelo favoreciendo el crecimiento de las plantas (Smebye et al. 2016), además el biochar debido a su alta porosidad con macro, meso y microporos, es comparado como un arrecife subterráneo que es un hábitat para microorganismos (Escalante et al., 2016) logrando así el aumento de la MO en el suelo.

El pH presentó 5.1 en la muestra testigo y tras someterse a la adición de biochar se pudo determinar el aumento de 5.23, 6.73 y 6.8, con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente, en un periodo de 20 días y con respecto a los 45 días, aumentó en 6.8, 7.03 y 7.16 con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente. Tal manera que, investigaciones como Condeña (2017), planteó el uso de Biocarbón de bagazo de caña para la recuperación de suelos contaminados con Pb, donde evidenció que tras la adición de los tratamientos de biochar se produce un aumento de pH de 6 a 8.7 en 45 días de experimentación. Además, la investigación del autor De la Cruz (2018), usó biochar a base de la poda determinando que el pH de su suelo tratado presento una variación de 8.45 a 9.3 durante su experimentación, otra investigación de Cornejo (2016), empleó biocarbón y *Typha latifolia* para mejorar la calidad del suelo con fracciones de hidrocarburos F2, indicó que el pH se mantuvo estable durante su investigación. A diferencia de Zegarra (2015), en su proyecto de investigación, biochar a base de vísceras de pescado y lodos de lagunas de oxidación para mejorar las condiciones de suelos áridos en el distrito de Ancón, reportó que tras la aplicación del biochar, el suelo presentó una ligera disminución de pH en todos los tratamientos. Eso quiere decir que los niveles de pH varían de acuerdo con el tipo de materia prima utilizado y al tipo de pirolisis aplicado. Según la investigación de Martinsen, et al. 2015, la presencia de cenizas generadas en el proceso pirolítico, son las causantes del cambio del pH.

El Nitrógeno, presentó 54.2 mg/kg, en la muestra testigo y tras someterse a la adición de biochar se pudo determinar un aumento de 68.9 mg/kg, 70.86 mg/kg y

72.6 mg/kg, con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente, en un periodo de 20 días y con respecto de 45 días, éste aumentó en 70.06 mg/kg, 72.16 mg/kg y 73.9 mg/kg con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente. Similar resultado se obtuvo en la Investigación de Thomas Middelanis (2019), donde usó biocarbón para mejorar las condiciones del suelo, evidenciando que después de sus tratamientos, el nitrógeno aumentó ligeramente mejorando así la calidad del suelo.

También Yang et al. (2017), en su investigación sobre el uso de biocarbón en comunidades bacterianas, uso biochar a base de paja de arroz y trigo, los cuales aplicaron con intervalos de tiempo evidenciándose que el nitrógeno aumentó en un 15%, mejorando así el movimiento de las bacterias. No todas las investigaciones reportaron un aumento del nitrógeno, tal es el caso de la investigación de Manuel Olmo (2016), donde empleó biochar y biofertilizantes que redujo la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Dado que, para que haya un aumento del N en el suelo es importante que el Ph se sitúe entre 5.5 y 8, ya que ese tipo de Ph favorece a las bacterias nitrificantes siendo éstas muy sensibles a Ph ácido. Además, la mayor parte de nitrógeno en suelo forma parte de la MO, que es depositado al suelo por la degradación de plantas y microorganismos, que luego mediante procesos bioquímicos de microorganismos son aprovechados por las plantas, siendo un componente principal de los aminoácidos, vitaminas, enzimas, ácidos nucleicos, unidades estructurales de proteínas (Benimeli et al., 2019).

Con respecto al fósforo, éste presentó 105.4 mg/kg en la muestra testigo y tras someterse a la adición de biochar se pudo determinar un aumento de 199.66 mg/kg 201.06 mg/kg y 203.8 mg/kg, con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente, en un periodo de 20 días y con respecto a 45 días, el fósforo se incrementó en 201.8 mg/kg, 205.03 mg/kg y 207.7 mg/kg con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente. De manera similar ocurre en la investigación de Yang et al. (2017), sobre el uso de biocarbón en comunidades bacterianas, empleó biochar a base de paja de arroz y trigo, fueron aplicados al suelo con intervalos de tiempo evidenciándose que el fósforo aumentó en un 43%, mejorando así el movimiento de las bacterias. A demás, Zegarra (2015), en su investigación sobre el uso de biochar a base de lodos de oxidación y vísceras de pescado, durante un

periodo de 2 meses de aplicación, determinó que el fósforo aumentó a 142.5 mg/kg con el tratamiento de 10%, Agregando a ello Manuel Olmo (2016), usó biochar y biofertilizantes donde aumentó la disponibilidad del fósforo en el suelo, tras su aplicación, igualmente sucede en la investigación de Thomas Middelanis (2019), el cual usó biocarbón para mejorar las condiciones del suelo, pudo evidenciar que tras la adición de sus tratamientos, el fósforo aumentó ligeramente .

La Capacidad de intercambio catiónico, presentó 29.1 meq/100 g, en la muestra testigo y tras someterse a la adición de biochar se pudo determinar un aumento de 45.9 meq/100 g, 47.2 meq/100 g y 46.4 meq/100 g, con los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente, en un periodo de 20 días y con respecto a 45 días, éste aumentó en 46.63 meq/100g, 52.06 meq/100g y 52.6 meq/100g los tratamientos de 5%, 10% y 20% respectivamente. El resultado se asemeja con la investigación de Thomas Middelanis (2019), donde uso biocarbón para mejorar las condiciones del suelo, pudo evidenciar que, tras la adición de sus tratamientos, la capacidad de intercambio catiónico aumentó ligeramente. El incremento del pH genera un aumento en las cargas negativas del suelo, cuando precipita el aluminio, disminuye las concentraciones de hidrogeniones, de esa forma la CIC aumenta. Las cargas eléctricas son indispensables en el abastecimiento de nutrientes para las plantas, ya que algunos se presentan como cationes (magnesio, calcio y potasio). Un suelo con una alta presencia de arcilla y, materia orgánica, están asociadas a coloides presentes en el suelo, estas tienen una carga negativa y causa que las superficies de las partículas atraigan a los iones positivos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y H^+) (Info agro, 2020), agregando a ello el aumento de la materia orgánica en el suelo ayuda a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y las propiedades químicas, para atraer y almacenar nutrientes para el desarrollo de las plantas (Best four Soil, 2020).

VI. CONCLUSIONES

- Se determinó que el biochar de lodos residuales, logró reducir significativamente la concentración de hidrocarburos en las muestras de suelo de un área de estacionamiento, alcanzando un nivel máximo de reducción de 99.99% en el tratamiento al 20% de biochar en 45 días después de su aplicación; siendo los hidrocarburos de fracción ligera los que tuvieron mayor porcentaje de efectividad, a la vez se deduce que a más porcentaje de biochar la eficiencia es mayor.
- Se dedujo que, mediante el tratamiento de biochar de lodos residuales al 5%, 10% y 20% en suelos contaminados con hidrocarburos de fracción ligera, en el periodo de 45 días, se obtuvo una eficiencia de 99.69%, 99.87% y 99.99% respectivamente, asimismo en hidrocarburos de fracción media, se obtuvo una eficiencia de 34.83%, 43.30% y 54.59% respectivamente y por último en hidrocarburos de fracción pesada se obtuvo una eficiencia de 23.81%, 39.73% y 54.92% respectivamente. Cabe mencionar que se lograron resultados por debajo del valor de ECA suelo (D.S. N° 011-2017-MINAM), resaltando que la fracción ligera fue la que mayor reducción presentó, porque es más volátil y susceptible a degradarse en el suelo, en cambio la fracción media y pesada son más difíciles de degradar debido a su elevado peso molecular y su baja solubilidad en agua.
- Con el tratamiento de biochar de lodos residuales en el periodo de 45 días de análisis, se demostró que las propiedades fisicoquímicas del suelo mejoraron visiblemente, donde se incrementó el porcentaje de la materia orgánica, debido a sus propiedades porosas del biochar, el pH que inicialmente era ligeramente ácido se incrementó a un valor de 7.17 con el tratamiento de 20 %, a así mismo, el nitrógeno (N), fósforo (P) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) aumentaron considerablemente, la textura no presentó mayor variación en sus porcentajes de concentración de arena, limo y arcilla, siendo un tipo de suelo franco arenoso.

VII. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar más investigaciones relacionadas al biochar de lodos residuales, como tratamiento para suelos contaminados por hidrocarburos, ya que no se ha encontrado más información sobre este tema en específico, dejando en claro que los resultados, dependen de las concentraciones de biochar aplicadas en el suelo contaminado.
- Para obtener la materia prima (lodos residuales), es importante que ésta provenga de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que con estas características se obtendrá una biomasa más limpia, libre de metales pesados, menor cantidad de parásitos, virus, etc. De esta forma se evitarían costosos pretratamientos, obteniendo un biochar más limpio.
- Si se va a producir biochar, es recomendable utilizar un horno pirolítico con un sistema de circulación de aire regulado, ya que la limitación de oxígeno en este proceso es muy importante para evitar la evaporación del carbono a la atmosfera y conseguir que se almacene en el biochar.
- Es aconsejable realizar análisis progresivos, durante el tiempo de tratamiento, con la finalidad de tener una mejor estimación del comportamiento del biochar a través del tiempo.

REFERENCIAS

ABENZA, Daniel. Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Memoria del Proyecto fin de carrera Licenciatura en Ciencias Ambientales, presentado en Bellaterra en junio de 2012 [en línea]. Bellaterra, junio de 2012 [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2020].

Disponible en https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_202695/PFC_DanielPacoAbenza.pdf

AGUILAR, Beatriz. El suelo de cultivo y las condiciones climáticas en línea. 2ª ed. España: IC Editorial, 2018 [fecha de consulta: 18 de septiembre del 2020]. Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?id=wCXKDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=propiedades+fisicoquimicas+del+suelo+2020&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjKg6a30KPsAhWDwVkkHXc1DKwQ6AEwAHoECAYQAq#v=onepage&q=propiedades%20fisicoquimicas%20del%20suelo%202020&f=false>

ISBN: 9788491987727

ALBA López, Gerardo. Estudio comparativo de tres diferentes métodos de remediación de suelo tipo gley sol contaminado con hidrocarburos. Tesis (Maestría en ciencias y tecnología). México: Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica S. C (CIDETEQ), 2011. 165 pp.

Disponible en: https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/221/1/Comparaci%C3%B3n%20de%20la%20Electrorremediaci%C3%B3n%20de%20Suelo%20Tipo%20Gleysol%20Contaminado%20con%20Hidrocarburo%20con%20el%20m%C3%A9todo%20de%20lavado%20con%20Trit%C3%B3n%20X-114%20y%20la%20Biorremediaci%C3%B3n%20con%20Cultivo%20S%C3%B3lido_reees.pdf

BBC News Mundo, Isala Mauricio; se parte en dos buques japoneses que derramó toneladas de gasolina en el “paraíso ecológico” de África. [en línea] 16 agosto 2020. [Fecha de consulta: 30 de agosto de 2020].

Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-53799714>

BEESELEY, Luke, MORENO, Eduardo y GOMEZ, Jose. Efectos de las enmiendas de biocarbón y compost de desechos verdes sobre la movilidad, biodisponibilidad y toxicidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos en un suelo contaminado con múltiples elementos. *Science Direct* [en línea]. Junio 2010, vol.158 n.o.6. [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749110000643>

BENIMELI, María Florencia et al. El nitrógeno del suelo. Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 18 de octubre de 2020].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653515004336?via%3Dihub>

BEESELEY Luke et al. Influencia de las enmiendas de compostaje y biocarbón en la movilidad y toxicidad de metales y arsénico en suelo de mina contaminado. *Environmental Pollution* [en línea] Volume 186, marzo 2014, [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.envpol.2013.11.026>

BEST4SOIL, Materia orgánica del suelo [video en línea] Europa, red internacional para impulsar 4 mejores prácticas para la salud del suelo en Europa, 2020. (7.56 min.): son., col.

Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=TpTUYTY9S9A>

CARRERA Michell. El nuevo derrame de empresa petrolera peruana contamina el mar de Cabo Blanco [en línea] el 30 marzo 2020. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2020].

Disponible en: <https://es.mongabay.com/2020/03/peru-derrame-empresa-petrolera-savia-cabo-blanco/>

CORNEJO, Darwin. Mejoramiento de la calidad de suelos contaminados con Fracción de hidrocarburos F2 a partir de la fitorremediación empleando la *Typha*

latifolia (Totora) y biocarbón. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2016.

Disponible

en:

http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/891/Cornejo_EDW.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CONDEÑA Naventa, Edwin. Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA. HH Ramón Castilla – Callao 2017. Tesis de Titulación (Ingeniería ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2017. 90 pp.

Disponible en : [Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA.HH Ramón Castilla – Callao 2017 \(ucv.edu.pe\)](#)

CORIA, Ignacio. Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Universidad Abierta Interamericana: Centros de Altos Estudios Globales* [en línea]. Agosto 2007 [Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2020].

Disponible en: <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/UAIS-IGA-600-001%20-%20Remediacion.pdf>

DE LA CRUZ Carpio, Lidia. Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV, 2018. Tesis de Titulación (Ingeniería ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2017. 90 pp.

Disponible en: [Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV, 2018](#)

DE GRYZE, Steven et al. Simulating greenhouse gas budgets of four California cropping systems under conventional and alternative management. *Ecological Applications* [en línea]. 2010 [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2020], pp. 1805–1819. Disponible en: <https://acortar.link/wThm5>

ESCALANTE, Ariadna *et al.* Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, Historia, Fabricación y Uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* [en línea]. 2016, vol.34, n.o.3 [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2020].

Disponible en: [2395-8030-tl-34-03-00367.pdf \(scielo.org.mx\)](https://doi.org/10.21668/scielo.org/doi/ntn.2395-8030-tl-34-03-00367)

FAO. Propiedades físicas del suelo, guía para la descripción de suelo, 4a edición, 2006. [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020]

Disponible en: [Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](https://www.fao.org/soils-portal/soil-quality/soil-physics/soil-physics-4th-edition-2006/)

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Textura del suelo [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 06 de mayo de 2021].

Disponible en:

http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

GAO, Lin *et al.* Efectos del biocarbón sobre los nutrientes y la estructura de la comunidad microbiana de los suelos de plantación de tabaco. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* [en línea]. 2017, vol.17, n.o.4 [Fecha de consulta: 26 de septiembre de 2020], pp.884-896. Disponible en: [Effects of biochar on nutrients and the microbial community structure of tobacco-planting soils \(conicyt.cl\)](https://doi.org/10.1007/s12571-017-0884-8)

HERRERA, Eber *et al.* Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (Sapote). *Scientia Agropecuaria* [en línea]. 2018, vol.9, n.o.4 [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2020], pp.569-577. Disponible en: [Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* \(Sapote\) \(scielo.org.pe\)](https://doi.org/10.21668/scielo.org/doi/ntn.2077-9917.2018.09.04.00569)

ISSN 2077-9917.

HERNANDEZ, Roberto. Metodología de la Investigación. 6.ª ed. México: D.F.: Mcgraw-Hill, 2014. 634 pp.

ISBN: 978-1-4562-2396-0

Disponible en: <https://cutt.ly/6g3l2vO>

H. LYU, Y. Gong, R. Gurav y J. Tang. *Aplicación de biocarbón como enmienda de sistemas contaminados*. [en línea] 2016, [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2020]. Disponible en: [Potential Application of Biochar for Bioremediation of Contaminated Systems - ScienceDirect](#)

HURTADO, J. Metodología de la investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia (4a. ed.). Bogotá-Caracas: Ciea-Sypal y Quirón.2012.

IBI (International Biochar Initiative). 2012. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil.

Disponible en: https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf

Document reference code: IBI-STD-01.

IHS MARKIT [en línea] 2020. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://ihsmarkit.com/search/results.html?search=petroleum+202>

INSTITUTO Nacional de Investigación y Agricultura (INIA). *Semana de la ciencia y tecnología jornada de puertas abiertas*. Tacuarembò, Uruguay. Mayo 2015. [Fecha de consulta: 17 de setiembre de 2020] [en línea].

Disponible en: [www.inia.uy/Documentos/Públicos/INIA Tacuarembó/2015/El Suelo 20 de mayo.pdf](http://www.inia.uy/Documentos/Públicos/INIA_Tacuarembó/2015/El_Suelo_20_de_mayo.pdf)

INSTITUTO de defenza civil (INDECI). Proyecto escenarios de riesgos de desastres - PERD INDECI-PNUD-CESAL [en línea]. Marzo 2013, vol. 1,2 [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2020].

Disponible en: <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/fil20160516082630.pdf>

INFO AGRONOMO. Capacidad de intercambio catiónico del suelo. [en línea] 5 de setiembre del 2020, [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2020].

Disponible en: <https://infoagronomo.net/capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo/>

JANUS, A. *et al.* Do biochars influence the availability and human oral bioaccessibility of Cd, Pb, and Zn in a contaminated slightly alkaline soil? *Europe PMC* [en línea]. 2018, vol.190, n.o.4 [Fecha de consulta :16 de septiembre de 2020], pp. 218 - 213.

Disponible en: [Do biochars influence the availability and human oral bioaccessibility of Cd, Pb, and Zn in a contaminated slightly alkaline soil? | SpringerLink](#)

KOLTOWSKI, Michal y Oleszczuk, Patryk. Efecto del carbón activado o biocarbón en la toxicidad de diferentes suelos contaminados por mezcla de aromáticos policíclico nativo hidrocarburos y metales pesados. [en línea] Vol. 35, No. 5, 13 de septiembre del 2015. Fecha de consulta: [25 de octubre de 2012].

Disponible en: [Effect of activated carbon or biochars on toxicity of different soils contaminated by mixture of native polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals - Kołtowski - 2016 - Environmental Toxicology and Chemistry - Wiley Online Library](#)

LEHMANN, Johannes *et al.* A feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon?. *WCSS* [en línea]. Agosto 2002 [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/AhoqOsF>

LIN, Zhibin *et al.* Efectos de diferentes biochars en el crecimiento de *Pinus elliottii*, uso de N emisiones de N₂O y CH₄ al suelo y almacenamiento de C en la zona subtropical de China [en línea] 2 de enero 2017. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2020].

Disponible en: [Effects of Different Biochars on Pinus elliottii Growth, N Use Efficiency, Soil N₂O and CH₄ Emissions and C Storage in a Subtropical Area of China - ScienceDirect](#)

ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P

MOHAMMAD I, *et al.* Biochar de *Conocarpus* como enmienda para reducir la disponibilidad de metales pesados y la absorción por las plantas de maíz. [en línea]. 2014, [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2020].

Disponible en: [Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants - ScienceDirect](#)

MARTINSEN et al. Efectos del pH de la adición de tres biocarbones a suelos minerales indonesios ácidos. [en línea] 17 de junio del 2015. [fecha de consulta: 5 de julio de 2021].

Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00380768.2015.1052985>

MARTÍNEZ et al. Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Rev. Int. Contam. Ambie* [en línea]. Enero 2011 [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2020].

Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n3/v27n3a9.pdf>

MELENDEZ y SOTO, Taller de abonos organicos [en línea] . 3 y 4 de marzo del 2003. [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2020].

Disponible en: www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria_Taller_Abonos_Orgánicos.pdf

MINEM. Producción fiscalizada promedio de hidrocarburos al 31 de agosto del 2020 [en línea]. [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020].

Disponible en: [04PRODUCCION DE HC - AGOSTO 20.pdf \(minem.gob.pe\)](#)

MIDDELANIS, Thomas. El biocarbón aplicado al suelo retiene agua y nutrientes en los valles interandinos del Departamento de Cochabamba, Bolivia. *RevActaNova*. [online]. 2019, vol.9, n.3 [citado 2020-09-22], pp. 429-449 . Disponible en: [El biocarbón aplicado al suelo retiene agua y nutrientes en los valles interandinos del Departamento de Cochabamba, Bolivia \(scielo.org.bo\)](#)

ISSN 1683-0789

MÉNDEZ, A, TERRADILLOS, M y GASCO, G. Propiedades físico químicas y agronómicas del biocarbón de lodos residuales a diferentes temperaturas [en línea] 2013 [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2020].

Disponible en: [Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures - ScienceDirect](#)

MCLAUGHLIN Hugh, et al. No todos los biochars son iguales, y como diferenciarlos. [en línea] Versión 2, agosto 2009 [Fecha de consulta: 06 de octubre del 2020]. Disponible en: [All Biochars are Not Created Equal and How to Tell Them Apart.pdf \(shopify.com\)](#)

NUÑEZ, Laura et al. Remediación de residuos mineros ácidos con dos biochars y cal. *Programa Mexicano del Carbono* [en línea]. Estado de México, 2015 [Fecha de consulta: 18 de octubre de 2020]. Capítulo 5. Ecosistemas Terrestres Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Ayala4/publication/331686086_Costras_biológicas_y_respiración_edáfica_en_un_ecosistema_árido_del_noroeste_de_México/links/5c87eded92851c1df93d3b55/Costras-biológicas-y-respiración-edáfica-en-un-ecosistema-árido-del-noroeste-de-México.pdf#page=478](#)

OLMO Prieto, Manuel. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis Doctoral, Córdoba, Universidad de Córdoba-Campus de Rabanales 11 de enero de 2016. 156 pp. Disponible en: [https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1](#)

PANÉZ Delgado, Lizeth Antonia. Aplicación de Biochar de Rastrojos Vegetales para la Inhibición de la Biodisponibilidad de Cadmio (Cd) en Suelos Contaminados - 2017. Tesis de Titulación (Ingeniería ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2017. 70 pp.

Disponible en: repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32367/Panez_DL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PARRA, cibel. Propiedades químicas del suelo: Definición y cómo se manifiestan [en línea]. 2019 [Fecha de consulta:15 de junio del 2021].

Disponible en: <https://magicanaturaleza.com/c-suelos/propiedades-quimicas-del-suelo/>

PLITT, Laura ¿Cuál es el verdadero impacto de un derrame de petróleo? [en línea]. BBC NEWS MUNDO, 20 de abril del 2010. [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2020].

Disponible en [¿Cuál es el verdadero impacto de un derrame de petróleo? - BBC News Mundo](https://www.bbc.com/news/mundo-11111111)

REVISTA Dinero. La Opep revisa a la baja la demanda mundial de petróleo [en línea].2018 [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2020]. Disponible en: [Informe de Opep sobre la baja de demanda mundial del petróleo \(dinero.com\)](https://www.dinero.com/actualidad/energia/la-opep-revisa-a-la-baja-la-demanda-mundial-de-petroleo)

ROMERO Longwell, John Robert, Eficiencia en la inmovilización de plomo en el suelo mediante la aplicación de cantidades de biocarbón en el distrito San Mateo, Lima. Tesis (Título profesional de Ingeniero Ambiental) Lima, Perú. Universidad Cesar Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental 2017. 95 pp.

Disponible en: repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/3598/Romero_LJR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ROBLES Mayta, Allison. Eficiencia de la cachaza y guano de ovino en suelos contaminados con hidrocarburos en el Perú. Tesis (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad Científica del Sur, 2019.

Disponible en: [Eficiencia de la cachaza y guano de ovino en suelos contaminados con hidrocarburos en el Perú \(cientifica.edu.pe\)](https://cientifica.edu.pe/tesis/eficiencia-de-la-cachaza-y-guano-de-ovino-en-suelos-contaminados-con-hidrocarburos-en-el-peru)

SANZANO, Agustín. El fósforo del suelo. *Química del suelo* [en línea]. s.f. [fecha de consulta: 12 de mayo del 2021]

Disponible en:

[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/El%20Fosforo%20del%20suelo%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/El%20Fosforo%20del%20suelo%20(1).pdf)

SERNA, Edgar. Desarrollo e innovación en ingeniería [en línea]. 2ª ed. Medellín: Antioquia, 2017 [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2020].

Disponible

en

:

https://www.researchgate.net/profile/Jhon_Fredy_Narvaez/publication/320170890_Desarrollos_de_la_Ingenieria_ambiental_en_la_evaluacion_de_la_calidad_de_lo_s_recursos_naturales_y_la_salud_ambiental/links/59d26bfca6fdcc181ad611ce/Desarrollos-de-la-Ingenieria-ambiental-en-la-evaluacion-de-la-calidad-de-los-recursos-naturales-y-la-salud-ambiental.pdf#page=241

SHENG, Y., Zhu, L. El biocarbón altera la comunidad microbiana y el carbono potencial de secuestro a través de diferentes pH del suelo. Entorno total. 622, Prueba previa de diario *Elsevier* [en línea]. Mayo 2018, vol.622-623 [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020], pp.1391-1399.

Disponible en: [Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH - ScienceDirect](#)

SIMÓN M, Campillo F, Garcia I y Del Moral F. Inmovilización de arsénico por lodo de mármol y biochar [en línea] 1ª edición año 2015 [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2020].

Disponible

en:

<http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/4351/biochar%20y%20LM.pdf?sequence=1>

ISBN: 978-84-606-9409-0

SMEBYE, Andreas et al. Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition. *Chemosphere. Elsevier* [en línea]. 2016, vol.142 [Fecha de consulta: 25 de junio de 2021], pp. 100- 105.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.087>.

ISSN 0045-6535

SOCIEDAD Nacional de Minería, Petróleo y Energía, los hidrocarburos en el mundo [en línea] marzo 2016 [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2020]. Disponible en: [Los hidrocarburos en el mundo - SNMPE](#)

SOCIEDAD Nacional de Minería Petróleo y Energía. Boletín Estadístico Mensual Hidrocarburos. (Agosto, 2020).

Disponible en: <https://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/boletin-estadistico-mensual/hidrocarburos/6410-bolet%C3%ADn-estad%C3%ADstico-mensual-hidrocarburos-agosto-2020.html>

SONG, X.D, et al. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. *Chemosphere. Elsevier* [en línea]. Agosto, 2014, vol.109 [Fecha de consulta: 16 de septiembre de 2020], pp. 213 - 220.

Disponible en: [Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation - ScienceDirect](#)

TAMAYO, Carla y SILVA, Irene. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Universidad Católica los Ángeles de Chimbote [en línea]. s.f. [fecha de consulta: 12 de octubre de 2020].

Disponible en: [\(PDF\) UNIVERSIDAD CATÓLICA LOS ÁNGELES DE CHIMBOTE DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | Nano Rios Chavez - Academia.edu](#)

TAO et al. Combinación de enmienda de biocarbón y fitorremediación para la eliminación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo. *Springer Nature* [en línea]. Agosto 2016 [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2020].

Disponible en: [Combination of biochar amendment and phytoremediation for hydrocarbon removal in petroleum-contaminated soil | SpringerLink](#)

TENGDA, Ding et al. Adsorption desorption behavior of carbendazim by sewage sludge-derived biochar and its possible mechanism. *RSC Advances* [en línea]. 31 de octubre de 2019 [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2020].

Disponible en: [Adsorption–desorption behavior of carbendazim by sewage sludge-derived biochar and its possible mechanism - RSC Advances \(RSC Publishing\)](#)

UNIVERSIDAD Internacional de Riego. Laboratorio CSR. 3 de mayo del 2019. [Fecha de consulta: 17 de setiembre de 2020]. Disponible en: [La textura en los suelos agrícolas - Universidad de Riego. Plataforma de transferencia de conocimientos e innovación en riego](#)

VENTURA León, José Luis, ¿Población o muestra?: Una diferencia necesaria. [en línea] 27 de junio de 2017, [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2020].

Disponible en: [Microsoft Word - spu14417.doc \(sld.cu\)](#)

VELAZQUEZ Machuca, Martha Alicia et al. Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. *Terra Latinoam* [online]. 2019, vol.37, n.3 [citado 2020-09-13], pp.243-251. Disponible en: [Physical and chemical characterization of residual sludge biochar. | REVISTA TERRA LATINOAMERICANA](#)

WANG Mingming, et al. Uso de biocarbón para suelos contaminados con metales pesados Revisión sobre la utilización de biocarbón para suelos contaminados con metales y remediación de sedimentos [en línea] 2017. [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074217300864>

YAN, Cuixia et al. Effect of different pyrolysis temperatures on physico-chemical characteristics and lead (II) removal of biochar derived from chicken manure. *RSC Advances* [en línea]. 22 de enero de 2020 [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2020]. Disponible en: [Effect of different pyrolysis temperatures on physico-chemical characteristics and lead\(ii\) removal of biochar derived from chicken manure - RSC Advances \(RSC Publishing\)](#)

YUCHI, Zhong et al. Efectos del envejecimiento y la intemperie sobre la inmovilización de trazas de metales / metaloides en suelos modificados con biocarbón. *Ciencias ambientales: Procesos e impactos* [en línea]. 07 agosto 2020 [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2020].

Disponible en: [Effects of aging and weathering on immobilization of trace metals/metalloids in soils amended with biochar - Environmental Science: Processes & Impacts \(RSC Publishing\)](#)

ZEGARRA Torres, Stalin Eduardo, Uso de biocarbón elaborado con vísceras de pescado y lodos de laguna de oxidación para el mejoramiento de suelos áridos del distrito de Ancón-Lima-Peru. Tesis (Título profesional de Ingeniería Ambiental) Lima-Perú. Universidad Cesar Vallejo-Escuela académico profesional de ingeniería ambiental, 2015. 165 pp. Disponible en: repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/119/zegarra_ts.pdf?sequence=1&isAllowed=

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable(s)	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades/Escala de medición
VI/V1 USO DE BIOCHAR DE LODOS RESIDUALES	Es el producto que se obtiene de la termólisis de materiales orgánicos (biomasa), en condiciones anaeróbicas (pirólisis), empleando temperaturas inferiores a 700°C (Escalante, 2016).	El uso de Biochar de lodos residuales se determinó teniendo en cuenta los factores fisicoquímicos y dosis.	Factores Físicos	Temperatura de pirólisis	°C
				Tamaño de partícula	um
			Factores Químicos	PH (0-14)	-
				Relación C: N	-
			Dosis	Dosis 1: 5%	g
				Dosis 2: 10%	g
Dosis 3: 20 %:	g				
VD/V2 REDUCCIÓN DE HIDROCARBUROS EN SUELOS.	Para la reducción de hidrocarburos en el suelo, existen diversas técnicas de remediación, como tratamientos ex situ e in situ, empleando tecnologías térmicas, fisicoquímicas y mixtas (Robles, 2019).	La reducción de hidrocarburos en el suelo se calculó mediante la concentración de hidrocarburos de fracción ligera, media, pesada y los parámetros fisicoquímicos.	Concentración de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo	Concentración inicial de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo	mg/kg
				Concentración final de hidrocarburos de	mg/kg

			fracción ligera, media y pesada en el suelo	
		Propiedades fisicoquímicas del suelo	Textura	%
			Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	meq/100g
			PH (0-14)	-
			Materia Orgánica	%
			Nitrógeno	mg/kg
			Fosforo	mg/kg

Anexo 2. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN	TÉCNICAS	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es el nivel de reducción de hidrocarburos en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa, utilizando Biochar de lodos residuales?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>¿Cuál será la concentración de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar el nivel de reducción de Hidrocarburos utilizando biochar de lodos residuales en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>-Determinar la concentración de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa luego del tratamiento con biochar de lodos residuales.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>La aplicación de biochar de lodos residuales reduce en un 50% el nivel de concentración de hidrocarburos en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>H1: La mayor eficiencia de biochar de lodos será a una concentración de 20 % para la reducción de hidrocarburos de fracción ligera, media y pesada en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa, en un lapso de 45 días.</p> <p>H1: Las propiedades fisicoquímicas de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa, mejorará con el tratamiento de Biochar de lodos residuales.</p>	<p>VI:</p> <p>Uso de biochar de lodos residuales</p> <p>VD:</p> <p>Reducción de hidrocarburos en suelos</p> <p>Clasifica la variable</p> <p>Variable cuantitativa</p>	<p>Tipo:</p> <p>Aplicada</p> <p>Nivel:</p> <p>Explicativo</p>	<p>Es un área de estacionamiento de 1000 m2 de suelo contaminado por hidrocarburos en Huachipa.</p>	<p>Técnica de muestreo por composito</p>	<p>Recolectar datos.</p> <p>Se realizó mediante fichas de recolección de datos.</p> <p>Proceso de análisis de datos.</p> <p>Mediante Microsoft Excel se realizó los cuadros y tablas de los datos obtenidos, se utilizó estadística descriptiva e inferencial conforme corresponde, utilizando método estadístico ANOVA.</p>
				Diseño	Muestra	Instrumento	

<p>en Huachipa luego de su tratamiento con biochar de lodos residuales?</p> <p>¿Cuáles son las propiedades físicoquímicas de la muestra de suelos de un área de estacionamiento en Huachipa luego del tratamiento con biochar de lodos residuales?</p>	<p>-Determinar las propiedades físicoquímicas de la muestra de suelo de un área de estacionamiento en Huachipa luego del tratamiento con biochar de lodos residuales.</p>		<p>Continúa</p>	<p>Experimental.</p>	<p>20 kg de suelo contaminado por hidrocarburos de un área de estacionamiento en Huachipa.</p>	<p>Las hojas o fichas de registro de datos.</p>	
--	---	--	-----------------	----------------------	--	---	--

Anexo 3. Profundidad del suelo según el uso del suelo

Usos del suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo agrícola	0-30 cm(1) 30-60 cm
Suelo residencial/parques	0-10 cm (2) 10-30 cm(3)
Suelo comercial/Industrial/Extractivo	0-10 cm (2)

Fuente: Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente.
Dirección General de Calidad Ambiental. -- Lima: MINAM, 2014.

Anexo 4. Instrumentos de recolección de datos



FICHA N° 01: FICHA DE PRODUCCION DE BIOCHAR

Producción de Biochar			
Materia prima			
Cantidad de materia prima (kg)			
Temperatura de pirólisis (°C)		Fecha:	
Tiempo de pirólisis	Hora de Inicio		
	Hora de Terminó		
Peso de biochar producido (kg)			
Tamaño de partícula (um)			
PH (0-14)			
Relación <u>C:N</u>			
Uso de Biochar en muestras de suelo contaminado			
	Numero de repeticiones:		
	1	2	3
Dosis 1: 3% (g)			
Dosis 2: 10% (g)			
Dosis 3: 20% (g)			
Observaciones			

Validación de Expertos:

 Dr. Elmer G. Berites Alfaro CP 71008	 Dr. Juan Carlos... CP: 0847008	 Dr. Eusebio... CP N° 25400
--	--	---

FICHA N° 02: FICHA DE MUESTREO DE SUELOS

Nombre del lugar de estudio:		Departamento:
Dirección:		Provincia:
		Distrito:
Datos del punto de muestreo		
Coordenadas (UTM, WGS84)	X:	Descripción del terreno:
	Y:	
Técnica de muestreo:		
Profundidad		
Temperatura (°C)		
Puntos de muestreo		
Instrumentos usados:		
Datos de las muestras:		
Clave de la muestra		
Fecha		
Hora		
Cantidad de la muestra		
Medidas de conservación		
Tipos de muestra (simple/compuesta)		
Observación	Croquis	

Validación de Expertos:

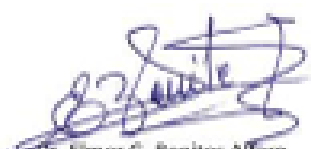


 Dr. Elmer G. Benites Alfaro CIP 71298	 Dr. Juan Antonio Rodríguez CIP 064730	 Dr. Eusebio-Horacio Acosta-Suarez CIP N° 25450
---	--	--



FICHA N° 03: FICHA DE REGISTRO DEL TRATAMIENTO DE MUESTRAS DE SUELO

	PARAMETROS	UNIDAD	CANTIDAD	OBSERVACION
Muestras de suelo sin Tratamiento	Concentración inicial de hidrocarburos de fracción ligera en el suelo	mg/kg		
	Textura	mm		
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	meq/100g		
	Potencial de Hidrógeno (0-14)	Intervalo		
	Materia Orgánica	%		
	Nitrógeno	%		
	Fósforo	%		
Muestras de suelo con Tratamiento	Concentración final de hidrocarburos de fracción ligera en el suelo	mg/kg		
	Textura	mm		
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	meq/100g		
	Potencial de Hidrógeno (0-14)	Intervalo		
	Materia Orgánica	%		
	Nitrógeno	%		
	Fósforo	%		

Validación de Expertos:

 Dr. Elmer G. Benites Alfaro CIP 71598	 Dr. Luis Alberto Acosta Suescater CIP 0647308	 Dr. Eusebio Florencio Acosta Suescater CIP N° 25450
---	---	---

Anexo 5. Validación de Instrumentos de recolección de datos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombre: BENITES ALFARO ELMER GONZALES
- b. Cargo e institución donde labora: Docente UCV.
- c. Especialidad o línea de investigación: Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de muestreo de suelos
- e. Autor (As) de Instrumento: Díaz Aguirre Juliana Allison y Pérez Pérez María Ayelen

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						BASTANTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. PROFUNDIDAD	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. COHERENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. CONSISTENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

99%

Lima, 29 de octubre del 2020


 Dr. Elmer G. Benites Alfaro
 CIP 1099



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: BENITES ALFARO ELMER GONZALEZ
- b. Cargo o institución donde labora: Docente UCV.
- c. Especialidad o línea de investigación: Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro del tratamiento de muestras de suelo
- e. Autor (As) de Instrumento: Díaz Agüero Juliana Alison y Pérez Pérez María Aydos

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						BENIGNAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X
5. REPERCENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para validar las variables de la Hipótesis.													X
7. COHERENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X
8. CONSISTENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 29 OCTUBRE ... del 2020


 Dr. Elmer G. Benites Alfaro
 09/2020

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **RENTES ALFARO ELMER GONZALES**
 1.2. Cargo o institución donde labora: **Docente UCV.**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los Recursos Naturales**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de producción de Biocar**
 1.5. Autor (As) de Instrumento: **Dña. Agilera Juliana Aldana y Pérez Pérez María Ayden**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						SEMIDIPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. EFECTIVIDAD	Tomó en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para validar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 29 OCTUBRE del 2020


 Dr. César G. Berrios Alfaro
 CP 1200

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

IX. DATOS GENERALES

- 9.1. Apellidos y Nombres: **ORDÓÑEZ GALVEZ JUAN JULIO**
- 9.2. Cargo e institución donde labora: **Docente UCV.**
- 9.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los Recursos Naturales**
- 9.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de registro del tratamiento de muestras de suelo**
- 9.5. Autor (As) de Instrumento: **Díaz Agüero Juliisa Aileen y Pérez Pérez María Aydee**

X. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para validar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adscripción al Método Científico.											X		

XI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

XII. PROMEDIO DE VALORACIÓN: |

90%


041 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

V. DATOS GENERALES

- 5.1. Apellidos y Nombres: **ORDOÑEZ GALVEZ JUAN JULIO**
 5.2. Cargo e institución donde labora: **Docente UCV.**
 5.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los Recursos Naturales**
 5.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de muestreo de suelos**
 5.5. Autor (As) de Instrumento: **Díaz Agüero Julissa Aileen y Pérez Pérez María Aydee**

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MEDIAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para validar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adscripción al Método Científico.												X	

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%



DR. ORDOÑEZ

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **ORDÓÑEZ GALVEZ JUAN JULIO**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente DCV.**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los Recursos Naturales**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de producción de Biochar**
 1.5. Autor (As) de Instrumento: **Dra. Agüero Juliana Aileen y Pérez Pérez María Aylde**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuando a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuando a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuando para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos idóneos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adscripción al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

90%



Dra. 08447308

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

IX. DATOS GENERALES

- 9.1. Apellidos y Nombres: ACOSTA SUASNABAR EUSTERIO HORACIO
 9.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV.
 9.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
 9.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro del tratamiento de muestras de suelo
 9.5. Autor (As) de Instrumento: Díaz Agüero Juliassa Adleen y Pérez Pérez María Aylee

X. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

XI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

XII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%



Dr. Eustasio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25482

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

V. DATOS GENERALES

- 5.1. Apellidos y Nombre: ACOSTA SUASNABAR EUSTERIO HORACIO
 5.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV.
 5.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
 5.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de muestreo de suelos
 5.5. Autor (As) de Instrumento: Díaz Agüero Juliana Aileen y Pérez Pérez María Aydee

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


 Dr. Eustasio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: ACOSTA SUASNABAR EUSTERIO HORACIO
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV.
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de producción de Biochar
 1.5. Autor (As) de Instrumento: Díaz Agüero Juliana Aileen y Pérez Pérez María Aydee

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MEDIAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para validar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


 Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

Anexo 5. Tomas fotográficas



Figura 1. Área de estacionamiento de carros



Figura 2. Suelo contaminado con hidrocarburos



Figura 3. Zona de la parte posterior del área de estacionamiento



Figura 4. Presencia del río Rímac en la parte posterior del área



Figura 5. Área contaminada, tomando la muestra de suelo



Figura 6. Homogenización de la muestra de suelo



Figura 7. Cuarteo en la muestra de suelo



Figura 8. Muestreo de suelos



Figura 9. Recolección de lodos de PTAR Santa Rosa



Figura 10. Lodos de PTAR Santa Rosa



Figura 11. Horno de pirolisis



Figura 12. Lodo colocado en el horno



Figura 13. Lodos de PTAR



Figura 14. Hoyo para colocar el horno



Figura 15. Colocando hojas de pacay secas



Figura 16. Horno de pirolisis prendido



Figura 17. Horno de pirolisis calentado



Figura 18. Horno de pirolisis calentado con su chimenea



Figura 19. Horno de pirolisis enfriado



Figura 20. Biochar de lodo obtenido



Figura 21. Tamizado de biochar



Figura 22. Pesado de biochar en porcentajes (5, 10 y 20%)



Figura 23. Pesado de las muestras de suelo para remediación

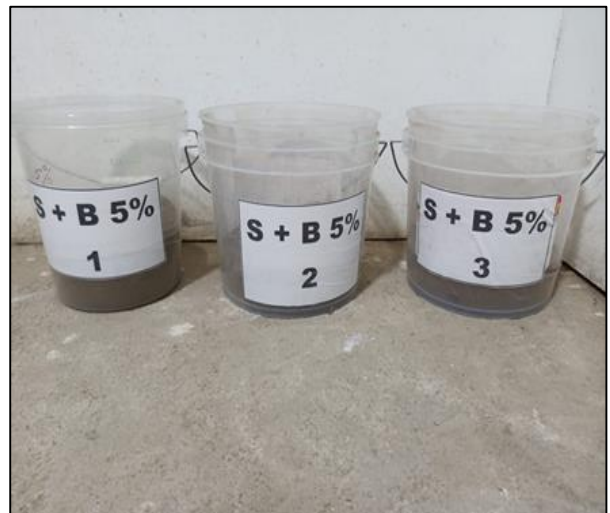


Figura 24. Macetas de remediación S+B5%



Figura 25. Macetas de remediación S+B10%



Figura 26. Macetas de remediación S+B20%



Figura 27. Vista satelital del área de estacionamiento en Huachipa.

Biochar de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA

AMBIENTAL

AUTORAS:

Diaz Agüero, Julissa Aileen (Orcid:0000 0001 8116 0235)

Pérez Pérez, María Aydee (Orcid:0000 0002 4100 5890)

ASESOR:

Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales (Orcid:000 0002 0225 5504)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA-PERÚ

2021

Resumen de coincidencias

7 %

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

- 1 repositorio.ucv.edu.pe 2 % >
Fuente de Internet
- 2 Entregado a Universida... 1 % >
Trabajo del estudiante
- 3 www.scielo.org.bo <1 % >
Fuente de Internet
- 4 es.mongabay.com <1 % >
Fuente de Internet
- 5 repositorio.oefa.gob.pe <1 % >
Fuente de Internet
- 6 Entregado a Escuela S... <1 % >