

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS  
NATURALES



## “BIOCARBON DE LODOS PARA LA INMOVILIZACIÓN DEL PLOMO EN SUELOS DEL AA.HH. VIRGEN DE GUADALUPE, MI PERÚ, 2022”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

APEÑA MILLA DARWIN ESTEBAN

CASTELO VEGA SAÚL ALDO

ASESOR:

Mg. RICHARD HUAPAYA PARDAVÉ

Handwritten signature of Darwin Esteban Apeña Milla.

Handwritten signature of Raúl Aldo Castelo Vega.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL AMBIENTE

Callao, 2022

PERÚ





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**  
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



III CICLO TALLER DE TESIS

ANEXO 3

**ACTA N° 015-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

**LIBRO 01 FOLIO No. 67 ACTA N°015-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

A los 20 días del mes de noviembre del año 2022, siendo las 14:00 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/wbt-okpc-qmv>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

<b>Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Mtra. Janet Mamani Ramos</b>	<b>: Secretaria</b>
<b>Mtro. Dan Skipper Anarcaya Torres</b>	<b>: Vocal</b>
<b>Dr. Miguel Ángel De La Cruz Cruz</b>	<b>: Suplente</b>
<b>Mg. Richard Joao Huapaya Pardavé</b>	<b>: Asesor</b>

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Darwin Esteban Apeña Milla y Saúl Aldo Castelo Vega, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **"BIOCARBON DE LODOS PARA LA INMOVILIZACIÓN DEL PLOMO EN SUELOS DEL AA.HH. VIRGEN DE GUADALUPE, MI PERÚ, 2022"**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Muy Bueno y calificación cuantitativa 16 la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 20:50 horas del día domingo 20 de noviembre del año en curso.

Presidente

Secretaria

Vocal

Asesor

## INFORMACIÓN BÁSICA

**FACULTAD:** Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** Unidad de investigación de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales.

**TÍTULO:** Biocarbón de lodos para la inmovilización del plomo en suelos del AA.HH. Virgen De Guadalupe, Mi Perú, 2022.

**AUTOR (es):** Darwin Esteban Apeña Milla, CODIGO ORCID: 0000-0002-5915-5694- DNI: 47261726. Saúl Aldo Castelo Vega CÓDIGO ORCID: 0000-0003-4595-6789 - DNI: 70440773.

**ASESOR(A):** Mg. Richard Huapaya Pardavé, CODIGO ORCID: 0000-0002-4997-2041 DNI: 44127158

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

**UNIDAD DE ANÁLISIS:** Kg de suelo contaminado por la industria, Callao, 2022.

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Aplicada.

**ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN:** Cuantitativo.

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:** Experimental

**TEMA OCDE:** 1.05.00-Ciencias de la Tierra y del Ambiente

## DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo constante  
durante mi carrera profesional.

**Apeña Milla, Darwin Esteban**

A mi familia por mostrarme el camino  
hacia la superación.

**Castelo Vega, Saúl Aldo**

## **AGRADECIMIENTO**

A la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, por habernos permitido realizar el desarrollo experimental de esta tesis en el laboratorio; A nuestro asesor Ing. Richard Huapaya Pardavé y co-asesor Ing. Luigi Bravo Toledo, por su dedicación, colaboración y motivación durante la elaboración de la presente tesis. A la Universidad Nacional del Callao por darme la oportunidad de cursar estudios superiores y de pertenecer a tan prestigiosa casa de estudios superior.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	5
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	6
<b>ÍNDICE</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	13
<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</b> .....	14
<b>RESUMEN</b> .....	15
<b>ABSTRACT</b> .....	16
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	18
<b>1.1. Descripción de la realidad problemática</b> .....	18
<b>1.2. Formulación del problema</b> .....	19
1.2.1. Problema general .....	19
1.2.2. Problemas específicos .....	20
<b>1.3. Objetivos</b> .....	20
1.3.1. Objetivo general .....	20
1.3.2. Objetivos específicos .....	20
<b>1.4. Justificación</b> .....	20
1.4.1. Justificación Económico .....	20
1.4.2. Justificación Ambiental .....	21
1.4.3. Justificación Teórica.....	21
<b>1.5. Limitantes de la investigación</b> .....	21
1.5.1. Teórico .....	21
1.5.2. Temporal .....	22

1.5.3. Espacial.....	22
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1. Antecedentes del estudio .....</b>	<b>22</b>
2.1.1. Internacionales.....	22
2.1.2. Nacionales.....	25
<b>2.2. Bases Teóricas .....</b>	<b>27</b>
2.2.1. Biocarbón .....	27
2.2.2. Pirólisis.....	28
2.2.3. Aplicaciones del biochar.....	30
2.2.4. Producción del biocarbón.....	32
2.2.5. Propiedades fisicoquímicas del suelo .....	33
<b>2.3. Marco conceptual .....</b>	<b>35</b>
2.3.1. Biocarbón de lodos.....	35
2.3.2. Inmovilización de plomo .....	36
<b>2.4. Definición de términos básicos.....</b>	<b>37</b>
2.4.1. Biocarbón .....	37
2.4.2. Enmienda orgánica .....	37
2.4.3. Exposición.....	37
2.4.4. Absorción .....	37
2.4.5. Inmovilización.....	37
<b>III. HIPOTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1. Hipótesis .....</b>	<b>39</b>
3.1.1. Operacionalización de variables.....	40
<b>IV. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1. Diseño Metodológico .....</b>	<b>41</b>
4.1.1. Tipo de investigación.....	41

4.1.2. Nivel de investigación.....	41
4.1.3. Diseño de la investigación.....	41
<b>4.2. Método de investigación.....</b>	<b>41</b>
4.2.1. Caracterización del suelo contaminado con plomo en AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú .....	42
4.2.2. Recolección de los lodos de la PTAR y Piscicultura .....	42
4.2.3. Preparación y caracterización de los biocarbones .....	42
4.2.4. Diseño experimental.....	42
4.2.5. Preparación de experimento .....	43
4.2.6. Muestreo y análisis del suelo tratado .....	43
<b>4.3. Población y muestra.....</b>	<b>44</b>
4.3.1. Población.....	44
4.3.2. Muestra .....	44
<b>4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado .....</b>	<b>45</b>
<b>4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información... ..</b>	<b>45</b>
<b>4.6. Análisis y procesamientos de datos .....</b>	<b>46</b>
<b>4.7. Aspectos éticos en investigación .....</b>	<b>46</b>
<b>V. RESULTADOS .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1. Resultados descriptivos .....</b>	<b>47</b>
5.1.1. Resultados de las características del suelo con Plomo.....	47
5.1.2. Resultados de concentración de fosforo en los lodos y biocarbón	47
5.1.3. Resultados de las características del biocarbón de lodos de PTAR y piscicultura .....	48
5.1.4. Resultados descriptivos de los experimentos.....	49
<b>5.2. Resultados Inferenciales .....</b>	<b>51</b>
5.1.1. Análisis de efectos preliminares para el modelo .....	51
5.1.2. Análisis ANOVA de los diseños factoriales .....	52

5.1.3. Análisis del modelo estadístico .....	53
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>56</b>
<b>6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados</b>	<b>56</b>
<b>6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares.....</b>	<b>57</b>
<b>6.3. Responsabilidad ética .....</b>	<b>58</b>
<b>VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
Anexo 1 Matriz de consistencia.....	67
Anexo 2 Registro fotográfico de la toma de muestra de lodos de Piscicultura y PTAR .....	68
Anexo 3 Registro fotográfico de la toma de muestra de suelo contaminado en AA.HH. Virgen de Guadalupe .....	68
Anexo 4 Registro fotográfico del proceso de secado de los lodos de piscicultura y PTAR en estufa.....	69
Anexo 5 Registro fotográfico del proceso de generación de Biocarbón de PTAR mediante proceso de pirolización a una temperatura de 550 °C en horno Pirolítico.....	70
Anexo 6 Registro fotográfico del proceso de generación de Biocarbón de Piscicultura mediante proceso de pirolización a una temperatura de 550 °C en horno Pirolítico.....	71
Anexo 7 Registro fotográfico de la mezcla de Biocarbón de PTAR y Piscicultura con suelo contaminado en macetas. ....	71
Anexo 8 Importación de base de datos al Software Design Expert.....	72
Anexo 9 Resultados de Análisis de Laboratorio de Caracterización de suelo con Plomo.....	73

Anexo 10 Resultados de Análisis de Laboratorio del Lodo y Biocarbón de PTAR y Piscicultura .....	77
Anexo 11 Resultados de Análisis de Laboratorio por ensayos físico químico para la determinación de Plomo. ....	80

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Rendimiento de obtención del biochar según el proceso de pirólisis	29
<b>Figura 2</b>	Aplicaciones del biochar.....	30
<b>Figura 3</b>	Tratamiento de aguas contaminadas utilizando biochar.....	32
<b>Figura 4</b>	Sistemas de producción del biocarbón.....	33
<b>Figura 5</b>	Espectros Infrarrojos FT-IR de los biocarbón de lodos de PTAR (a) y piscicultura (b).....	48
<b>Figura 6</b>	Grafica de efectos del tipo de biocarbón y el tiempo de aplicación ...	50
<b>Figura 7</b>	Grafica de probabilidad seminormal de los efectos de los parámetros de estudio.....	51
<b>Figura 8</b>	Diagrama de Pareto .....	52
<b>Figura 9</b>	Gráfica de la normalidad .....	54
<b>Figura 10</b>	Supuesto de homogeneidad de la varianza .....	55

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Definición operacional de las variables .....	40
<b>Tabla 2</b> Factores y niveles del diseño propuestos .....	43
<b>Tabla 3.</b> Cuadro de Técnicas e Instrumentos para la recolección de información .....	45
<b>Tabla 4.</b> Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	45
<b>Tabla 5.</b> Caracterización de la concentración de plomo en el suelo contaminado de la AA.HH. Virgen de Guadalupe .....	47
<b>Tabla 6</b> Caracterización del lodo de PTAR .....	47
<b>Tabla 7</b> Resultados de la matriz experimentales de los diferentes tratamientos en un diseño de mezcla .....	50
<b>Tabla 8.</b> Matriz ANOVA de inmovilización de plomo .....	53
<b>Tabla 9</b> Indicadores de ajuste del diseño factorial del experimento.....	53

## INDICE DE ABREVIATURAS

**AA.HH.** *Asentamientos Humanos*

**BC** *Biocarbón*

**DCA** *Diseño Completamente al Azar*

**DNI** *Documento Nacional de Identidad*

**FAO** *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*

**I.E.** *Institución Educativa*

**MINAM** *Ministerio del Ambiente*

**ORCID** *Open Research and Contributor ID*

**PTAR** *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*

**R.M.** *Resolución Ministerial*

**SIMA** *Servicios Industriales de la Marina*

**TCLP** *Procedimiento de lixiviación característica de toxicidad*

## RESUMEN

En esta investigación, se evaluó la aplicación del biocarbón de lodos en la inmovilización del plomo en los suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú. La metodología aplicada consistió en generar biocarbón de lodos de PTAR y de lodos de piscicultura por un proceso de pirólisis a una temperatura de 500 °C, luego se dosificó el biocarbón en el suelo contaminado con plomo a una dosis de 10% de biocarbón / suelo, los factores que se estudiaron fueron: (F1) Tipo de biocarbón, (F2) tiempo de aplicación del biocarbón aplicando un diseño factorial para los factores estudiados. Los resultados mostraron que las características del biocarbón del lodo PTAR y piscicultura tiene alto contenido de fósforo obteniéndose una máxima inmovilización de plomo de 50.83 % con el lodo de PTAR en 20 días a una dosis de 10% Biocarbón/Suelo. Mediante el diseño factorial aplicado se obtuvo un  $R^2$  de 0,85,  $R^2$  ajustado de 0,84,  $F$ -value de 80,31 y valores  $p$ -value inferiores a 0,001 (99%) indicando que el factor (F2) tiempo de aplicación es significativo para el tratamiento. Se concluyó que el biocarbón de PTAR tiene un alto potencial para la inmovilización de plomo en suelo contaminado AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú.

**Palabras claves:** Biocarbón, inmovilización, tiempo y porcentaje.

## ABSTRACT

In this research, the application of sludge biochar in the immobilization of lead in AA soils was evaluated. H H. Virgin of Guadalupe, My Peru. The applied methodology consisted of generating biochar from WWTP sludge and fish farming sludge by a pyrolysis process at a temperature of 500 °C, then the biochar was dosed in the soil contaminated with lead at a dose of 10% biochar / soil, the factors that were studied were: (F1) Type of biochar, (F2) biochar application time applying a factorial design for the factors studied. The results showed that the biochar characteristics of the WWTP and fish farming sludge have a high phosphorus content, obtaining a maximum lead immobilization of 50.83% with the WWTP sludge in 20 days at a dose of 10% Biochar/Soil. Using the factorial design applied, an  $R^2$  of 0.85, adjusted  $R^2$  of 0.84, F-value of 80.31 and p-values of less than 0.001 (99%) were obtained, indicating that the factor (F2) application time is significant for treatment. It was concluded that WWTP biochar has a high potential for lead immobilization in AA contaminated soil. H H. Virgin of Guadalupe, My Peru.

**Key Words:** Biochar, immobilization, time and percentage.

## INTRODUCCIÓN

Con la expansión de las actividades humanas en las últimas décadas, los metales pesados se convierten gradualmente en los principales contaminantes del suelo debido a su no degradabilidad y fuerte toxicidad. De los metales pesados que contaminan el suelo, el plomo puede persistir por mucho tiempo después de ingresar al sistema del suelo (Bolan et al. 2014), y la acumulación de plomo en el ser humano puede causar efectos negativos en el sistema nervioso y los órganos (Kang 2012).

En la Provincia Constitucional del Callao se evidencia la afectación al medio ambiente a consecuencia de contaminantes como ruido, vertimientos y emisiones. La contaminación ambiental en la Provincia Constitucional de Callao es crítica, razón por la que, en el año 2017 el MINAM declaró en Emergencia Ambiental por un plazo de 90 días, debido a que se viene superando el Estándar de Calidad Ambiental para suelo, en el parámetro de plomo (GORE 2022).

Ante la problemática de contaminación del suelo con plomo, la inmovilización química ha surgido como una estrategia importante para reducir el riesgo de Pb en los suelos contaminados mediante la inmovilización del Pb en fracciones estables y la reducción de su movilidad y biodisponibilidad (Turan et al. 2018). El biocarbón puede servir como fuente de fósforo y puede contribuir a la inmovilización del plomo en el suelo contaminado (Cui et al. 2022).

El presente proyecto se enfoca en la aplicación del Biocarbón como enmienda orgánica a partir de lodos de Piscicultura y PTAR, estudiando su aplicación en suelos contaminados para la inmovilización del Plomo mejorando sus propiedades físico químicas.

Por lo tanto, esta investigación investigó sobre la aplicación del biocarbón de lodos en la inmovilización del plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, encontrando como resultado que el tiempo de aplicación de biocarbón de lodos de PTAR tiene un efecto significativo en el tratamiento.

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción de la realidad problemática

El suelo contaminado por metales pesados es una preocupación creciente debido a la rápida industrialización mundial siendo una amenaza la salud de los animales y los seres humanos (Liang et al. 2022). De los metales pesados, el plomo es uno de los contaminantes más importantes debido a sus características físicas y químicas únicas y su amplio uso en la producción industrial en el mundo (Huang et al. 2018).

La causas de contaminación por plomo son principalmente el resultado de actividades antropogénicas como los procesos industriales, el tráfico vehicular, el uso de fertilizantes y la incineración de desechos (Dietrich, Huling y Krekeler 2018). Los contaminantes de plomo persisten en diferentes formas en la atmósfera, las plantas y el suelo debido a la característica no degradante del plomo. Las partículas que contienen plomo emitidas por fuentes antropogénicas pueden depositarse directamente en la superficie del suelo (Bi et al. 2018).

En las últimas décadas, la región Callao ha presentado lugares impactados por plomo, determinándose como la principal fuente de contaminación de suelo por los depósitos de concentrados de minerales en las zonas adyacentes como la zona del distrito Mi Perú (altos niveles de plomo en el aire) teniendo como fuente generadora los centros industriales dedicados a la fundición de metales y recuperación de plomo (Morales et al. 2018).

Los efectos de la absorción de plomo por plantas genera una fitotoxicidad por consiguiente un impacto adverso en los seres humanos debido a la transferencia de plomo a través de la cadena alimentaria (Pinho y Ladeiro 2012). La ingestión de plomo procedente de alimentos contaminados por plomo puede provocar dificultades de aprendizaje en los niños, toxicidad neuronal, enfermedades renales y cáncer (Tchounwou et al. 2012). La exposición al plomo por personas puede provocar una amplia gama de problemas de salud, como enfermedad renal, neuropatía periférica y encefalopatía, pérdida de la audición y deterioro de la función cognitiva (Zhu et al. 2010).

Entre las diversas técnicas para la remediación de suelos contaminados, la tecnología de inmovilización in situ se ha considerado un método eficaz y

respetuoso con el medio ambiente para disminuir la biodisponibilidad y la fitodisponibilidad de los metales pesados del suelo (Hamid et al. 2019). Al aplicar materiales estabilizadores, la biodisponibilidad de los metales pesados disminuye y evita su ingreso a la cadena alimentaria (Wang, Yu-Ying et al. 2019). Las técnicas de inmovilización in situ, que utilizan cal, fosfato y biocarbón, se consideran relativamente económicas y fáciles de manejar (Zeng et al. 2020). Esta técnica reduce la biodisponibilidad de metales pesados y la absorción de plantas a través de la adsorción y la formación de precipitados y complejos estables (Lwin et al. 2018).

El biocarbón inmoviliza los metales pesados por adsorción, intercambio iónico, coprecipitación, formación de complejos, interacciones electrostáticas y sorción física (Wang, Yue et al. 2019) y el uso de fosfatos forma precipitados insolubles como minerales de tipo piromorfita  $[Pb_5(PO_4)_3X; X=F, Cl, B \text{ u } OH]$  que reduce la movilidad del plomo (Kede et al. 2016). Por consiguiente, no está claro si la combinación fosfato con biocarbón o la aplicación de biocarbones generados de fuentes fosfatadas puedan aplicarse para la inmovilización con plomo y este sea superior a los métodos de inmovilización tradicionales individuales.

Por lo tanto, el propósito de este estudio es evaluar la eficacia de la inmovilización de plomo en el suelo contaminados de la Región Callao mediante biocarbón elaborado a partir de lodos de PTAR y lodos de piscicultura como fuentes de fosfatos. Planteamos que el biocarbón de los lodos como fuentes fosfatadas fosfato podría reducir la movilidad y la biodisponibilidad del plomo; por lo tanto, disminuyendo la transferencia potencial al ser humano a través de la cadena alimentaria.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿En qué medida la aplicación del biocarbón de lodos de Piscicultura y PTAR podrá inmovilizar el plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál será el efecto del tipo de biocarbón de Piscicultura y PTAR sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022?
- ¿Cuál será el efecto del tiempo de aplicación sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar en qué medida la aplicación del biocarbón de lodos inmoviliza el plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto del tipo de biocarbón sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.
- Determinar el efecto del tiempo de aplicación sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación Económico**

Actualmente los tratamientos físicos y avanzando del suelo representan un alto costo en su aplicación, por lo tanto, la inmovilización de suelos con agentes químicos es una alternativa más económica. Así también, el reaprovechamiento de lodos de PTAR o piscicultura permite realizar un enfoque de economía circular a estos residuos biocontaminados, permitiendo valorizarlos en el mercado como un producto comercializable, de acuerdo al enfoque de la nueva hoja de ruta el enfoque Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria (PRODUCE 2020).

### **1.4.2. Justificación Ambiental**

Frente a esta problemática de suelos contaminados con Plomo, se presenta como solución el uso de biocarbón como fuente de fosfatos, ya que estudios preliminares muestran que el biocarbón tiene gran capacidad de remediar suelos contaminados de manera eficiente y viable mejorando la fertilidad de los cultivos y plantas, así como la materia orgánica, pH y capacidad de retener nutrientes; además, está calificado como un buen material para el secuestro de carbono y diversos estudios evidencian su eficiencia para inmovilizar y dominar el porcentaje de plomo presentes en el suelo.

Por lo tanto, esta investigación aporta al conocimiento científico y genera una nueva propuesta para inmovilizar el plomo del suelo contaminado en el AA.HH Virgen de Guadalupe, este tipo de resultados permiten cumplir con los objetivos trazados en el Plan Multianual para la Vigilancia, Prevención y Control de la Exposición por Metales Pesados Región Callao, 2020-2022 donde enmarcan como zona de emergencia el AA.HH Virgen de Guadalupe (GORE 2020).

### **1.4.3. Justificación Teórica**

Los resultados de esta investigación aportan al conocimiento científico y se desarrolla teorías de biocarbón, procesos de pirolisis propiedades del suelo. Los resultados y la base teórica que lo sustenta permite proyectar un escalamiento de los resultados en base a la guía del CONCyTEC, pasando a una investigación en desarrollo y con posible financiamiento (CONCyTEC 2020).

## **1.5. Limitantes de la investigación**

### **1.5.1. Teórico**

Esta investigación se delimita en base a las teorías y estudios preliminares que han demostrado que los biocarbones relacionados con fosfatos pueden inmovilizar metales pesados. Esta tesis se delimita en las teorías que relacionan el biocarbón con el fósforo. Así también esta tesis, abarca la teoría del mecanismo de transporte del plomo en el suelo, las teorías de biocarbón y conceptos sobre el biocarbón en relación al fósforo.

### **1.5.2. Temporal**

La toma de muestra del suelo contaminado estará limitada para los meses de Julio-Agosto de 2022, periodo donde la humedad es alta y la concentración de smog es mayor, el smog influye al desplazamiento de los contaminantes en el aire por lo tanto se obtuvieron muestras representativas.

### **1.5.3. Espacial**

Existe una delimitación espacial debido a la accesibilidad de la zona donde se encuentran los suelos contaminados por plomo en el AA. HH. Virgen de Guadalupe, así como el tema de permisos institucionales, accesibilidad en la zona y la seguridad ciudadana.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del estudio**

#### **2.1.1. Internacionales**

*Beatrice* (Beatrice et al. 2022) en la investigación titulada “*Inmovilización de plomo en suelo contaminado simulado por fosfato soportado por biocarbón de abeto de Douglas*” tuvo como objetivo comparar la eficacia de inmovilización de plomo ( $Pb^{+2}$ ) del fosfato con soporte de biocarbón con los métodos convencionales de inmovilización de metales pesados in situ (con cal, biocarbón puro y fosfato). El fosfato con soporte de biocarbón se obtuvo mediante el tratamiento del biocarbón de abeto Douglas (BC) con cloruro de calcio anhidro y dihidrógeno fosfato de potasio. Los resultados mostraron de biocarbón con fosfato resultó en la cantidad más baja de  $NH_4NO_3Pb^{+2}$  extraíble ( $0.3 \pm 0.2$  mg/L). El mecanismo para la inmovilización de  $Pb^{+2}$  por biocarbón con fosfato ocurre a  $pH < 7$  a través de la disolución de hidroxiapatita incrustada durante la modificación del biocarbon, seguida por la precipitación de  $Pb_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  insoluble. La fracción de plomo residual en el suelo enriquecido con plomo aumentó en un 20,9 % luego de la enmienda con biocarbón con fosfato. Se concluye que el fosfato soportado por biocarbón es un candidato para reducir la movilidad del plomo (biodisponibilidad) en suelos contaminados. Esta modificación puede reducir la absorción de  $Pb^{+2}$  en las plantas al mismo tiempo

que minimiza el potencial de contaminación del agua debido a la movilidad del  $Pb^{+2}$ .

Ji (Ji et al. 2022) en la investigación titulada "*Biocarbón cargado de bacterias mixtas para la inmovilización de arsénico, plomo y cadmio en un sistema de suelo contaminado: Efectos y mecanismos*" tuvo como objetivo explorar el biocarbón cargado de bacterias mixtas en la inmovilización As, Pb y Cd. El biocarbón se sintetizó usando la fisorción y la encapsulación de alginato de sodio. Los resultados mostraron una colonización de bacterias mixtas en el biocarbón. Además, la adición de biocarbón con bacterias mixtas puede aumentar el pH del suelo al aumentar el tiempo de incubación. También se mejoró la fracción residual de metales pesados, las actividades físico-químicas en el suelo después de 28 días de incubación. Existió inmovilización de plomo (Pb) principalmente por coprecipitación, lo que significaba que el Pb podía convertirse en una forma cristalina consistente, como  $Pb_5(PO_4)_3OH$ . Se concluye que el biocarbón cargado de bacterias mixtas era una tecnología factible para la remediación de la contaminación por metales pesados en los suelos del sitio.

Li (Li et al. 2022) en la investigación titulada "*Inmovilización simultánea de arsénico, plomo y cadmio mediante biocarbón modificado con magnesio y aluminio en suelo minero*" tuvo como objetivo estudiar biocarbón modificado con Mg-Al e investigar sistemáticamente los efectos y mecanismos de inmovilización de As, Pb y Cd simultáneamente en el suelo minero de Gansu. los biochares modificados con Mg-Al (MAB) se sintetizaron a través de un método simple de pirólisis en un solo recipiente para inmovilizar los tres metales pesados. De acuerdo con el método de prueba BET (Brunauer-Emmett-Teller), los MAB tenían áreas de superficie específicas más grandes que el biocarbón. En comparación con los materiales obtenidos a 300 °C y 700 °C, el MAB con una temperatura de pirólisis de 500 °C (MAB 500) tuvo un efecto de inmovilización significativo sobre As, Pb y Cd en el área minera de Gansu. En comparación con BC, las eficiencias de eliminación de As, Pb y Cd aumentaron de -62 %, 17 % y 5 % a 52 %, 100 % y 66 %, respectivamente. y la toxicidad La prueba del procedimiento característico de lixiviación (TCLP) mostró que las concentraciones de lixiviación de los tres metales pesados en el suelo tratado eran todas inferiores al valor estándar. La espectroscopia de fotoelectrones de

rayos X y los experimentos cinéticos mostraron que había varios mecanismos en el proceso de inmovilización de los tres metales pesados, y la gran superficie específica y la multi-Mg/Al-OH de los MAB juegan un papel importante en este proceso. Más cargas fueron proporcionadas por una superficie específica más grande para el intercambio iónico con metales pesados. Además, un área de superficie específica más grande también proporcionó más sitios de adsorción. Mg/Al-OH proporcionó sitios más complejos para formar Mg/Al-OM y luego inmovilizar los metales pesados. En resumen, el mecanismo de inmovilización puede implicar atracción electrostática, precipitación/coprecipitación y complejación superficial.

Luo (Luo et al. 2022) en la investigación titulada “*Desarrollo de biocarbón compuesto de fósforo para mejorar simultáneamente el sumidero de carbono y la inmovilización de metales pesados en el suelo*” tuvo como objetivo producir biocarbón compuesto de fósforo para mejorar sincrónicamente el secuestro de carbono y la inmovilización de metales pesados. Se usaron materiales de fósforo de relaves,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  y  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ , fueron seleccionados como modificador para cargar en la biomasa antes de la pirólisis. Los resultados mostraron que la incorporación de P no solo aumentó la retención de C pirolítico en el biocarbón en un 36,1–50,1 %, sino que también obtuvo un biocarbón con mayor estabilidad mediante la formación química de C enlace simples de O, P, C- $\text{PO}_3$  y C<sub>2</sub>- $\text{PO}_2$ . Después de 90 días de incubación con suelo, se secuestró más C en el suelo enmendado con biocarbón P (59,6–67,0%) que en el biocarbón prístino (43,2–46,6 %). El  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  altamente soluble fue más eficiente que el  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$  en este sentido. Mientras tanto, el biocarbón compuesto de P exhibieron una mayor inmovilización de Pb/Cd (31,3–92,3 %) en comparación con el biocarbón prístino (9,5–47,2 %), lo que se debió principalmente a la formación de precipitados estables  $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$  y  $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ , especialmente para la modificación de  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ . Además, el biocarbón compuesto de P alteró “inteligentemente” la comunidad microbiana del suelo, es decir, suprimieron la proliferación de actinobacterias, que se correlaciona con la degradación del carbono, mientras promovieron el crecimiento de proteobacterias, lo que facilitó la disolución de fosfato para una rápida reacción

con metales pesados para formar precipitados, beneficiando la inmovilización de Pb y Cd.

### **2.1.2. Nacionales**

Ponce (Ponce Cruz 2020) en la investigación titulada *“Inmovilización de plomo en suelos mediante biocarbón por pirólisis de residuos orgánicos en zona agrícola del valle de Carapongo”* tuvieron como objetivo evaluar la inmovilización del plomo en suelos mediante biocarbón por pirolisis de residuos orgánicos en zona agrícola. Produjeron biocarbón de residuos orgánicos domésticos, excretas de cabra y residuos de poda, aplicaron al suelo contaminado con plomo en dosis de 10% y 20%, a los 120 y 180 días. Se usó el Diseño Experimental Completamente al Azar para la investigación del comportamiento del biocarbón en su proceso de descontaminación. Los resultados muestran que la mayor eficiencia lo realizó el biocarbón de excreta de cabra una inmovilización de plomo del 47%. Se concluyó que todos los tratamientos evidencian eficiencia, es decir, los diferentes biocarbones de residuos orgánicos son óptimos para adsorber el plomo en suelos agrícolas.

Silva (Silva Guerrero 2021) en la investigación titulada *“Efecto del biocarbón obtenido a partir de biomasa residual agrícola en la inmovilización de cadmio en el suelo en fase de laboratorio”* tuvieron como objetivo reducir los niveles de Cd en el suelo usando biocarbón. Caracterizaron el biocarbón obtenido a partir de tres tipos de biomasa residual agrícola: cáscara de *Theobroma cacao L.*, cascarilla de *Oryza sativa* y cascarilla de *Coffea arabica*. Se prepararon bolsas tipo maseta con suelo agrícola mezclado con biocarbón en proporciones de 6%, 8%, 10% se planteó un diseño experimental adaptado fue un DCA con arreglo factorial de 3x3 con 5 repeticiones más un tratamiento sin biocarbón como testigo. Los resultados mostraron que el biocarbón obtenido de la cascarilla de *C. arabica* y *O. sativa* presentaron efectos significativos en el número de hojas, diámetro de tallo y peso fresco de las plantas. El biocarbón disminuyó el contenido de Cd en las plantas, con efectos significativos en la cascarilla de *T. cacao* en proporciones de 6%, 8% y 10%. La mayor eficiencia de inmovilización de cadmio en el suelo se observó en la combinación del biocarbón de la cascarilla de *O. sativa* en una dosis de 8.0% con una inmovilización de 88.22%. Se concluye que la aplicación de biocarbón fue efectiva en la

inmovilización Cd en el suelo, de manera de poder reducir la biodisponibilidad en las plantas de *T. cacao*.

Romero (Romero Longwell 2017) en la investigación titulada “*Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima*” tuvieron como objetivo elaborar biocarbón a partir de excretas porcinas para que pueda ser utilizada como enmienda orgánica en la inmovilización o inhibición de plomo en el suelo agrícola. La metodología realizada se basó en la aplicación de diferentes cantidades de biocarbón (0%, 5%, 10% y 20%) en el suelo contaminado en las macetas porosas. Usaron como bioindicador “*Lactuca Sativa*”. Asimismo, se hicieron análisis de la concentración de plomo en el suelo, agua intersticial y en las raíces de las plantas al finalizar el experimento, el cual duró aproximadamente 2 meses. Los resultados mostraron que el biocarbón logra reducir la biodisponibilidad de este metal, alcanzando una Eficiencia Máxima de Inmovilización de Plomo en el 81.89% y 77,38% en el suelo y en el agua intersticial respectivamente con una cantidad aplicada del 20% de biocarbón. Las raíces de las plantas no presentaron concentración de plomo en los tratamientos a diferencia del Testigo en donde no se aplicó biocarbón, en el cual si presento una concentración de 0.7 kg/mg de Pb absorbido.

Vásquez (Vásquez Diaz 2020) en la investigación titulada “*Efecto del carbón activado de semillas de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.) en la estabilización del cadmio (cd) en el suelo y su acumulación en tejidos de plantones de cacao (Theobroma cacao L.)*”, evaluar el efecto del carbón activado de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) en la estabilización del cadmio (Cd) en el suelo y su acumulación en tejidos de plantones de cacao (*Theobroma cacao L.*). Usaron un Diseño Completamente al Azar (DCA) con (4) tratamientos y (3) repeticiones y un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por 3 plantones dispuestos en macetas, en total fueron 36 plantones para todo el experimento. Los resultados mostraron que las dosis de 30 y 50 % de carbón activado de semillas de aguaje (T2 y T3) fueron las que tuvieron un mayor efecto de Cd estabilizado en el suelo. El T2 estabilizó 4991,7 (47,54%) y el T3 7091,7 (67,54 %) ppm de Cd en el suelo. El efecto fue causado por la gran capacidad de adsorción de tiene el carbón elaborado, así como de las

propiedades físicas y químicas del suelo, y el material precursor de carbón (semillas de aguaje). Así mismo el cadmio (Cd) acumulado en los plantones de cacao con el T2 obtuvo un 42,3% de Cd siendo el mayor porcentaje, seguido por el T1 con 31,6 %, T3 con 30,9 % los mismos que fueron mayores al T0. Concluyeron que la planta de cacao fisiológicamente tiende a absorber y acumular el Cd en sus tejidos dependiendo de factores como: las propiedades físicas y químicas del suelo y el nivel de concentración de Cd en el suelo.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Biocarbón**

El biocarbón (BC) es un material orgánico rico en C, estabilizado a través de la pirólisis de subproductos de biomasa en una atmósfera de oxígeno limitado a temperatura elevada. Debido a la disponibilidad del precursor del biocarbón, la preparación de bajo costo, la gran superficie, la gran porosidad y la fácil modificación, el biocarbón se aplica ampliamente en varios campos de aplicación, como el suelo enmienda, secuestro de C y eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas residuales, además de metales pesados (Ok et al. 2015).

Los biocarbones crudos proporcionan una baja capacidad de adsorción de los contaminantes; Por lo tanto, se requerirán modificaciones adicionales para mejorar diferentes propiedades fisicoquímicas: área de superficie, estructura de poros y grupos funcionales de superficie. En este sentido, se puede investigar la activación física y química para mejorar la afinidad de eliminación de BC durante la aplicación ambiental. Entretanto, el biocarbón modificado preparado podría considerarse como adsorbente alternativo a varios materiales carbonosos (carbón activado, nanotubos de carbono y grafeno) con una capacidad de eliminación igualada para contaminantes orgánicos e inorgánicos. Otra propiedad importante de preparar biocarbón es deshacerse del problema de los desechos de biomasa, que se considera un desafío ambiental adicional (Ok et al. 2015).

### **2.2.1.1. Biocarbón y su origen**

El biocarbón es el producto sólido de la pirólisis de biomasa, se ha producido y utilizado durante varios miles de años y es mejor conocido como carbón vegetal (cuando se produce a partir de biomasa leñosa). La carbonización descompone partes de la biomasa, pero retiene una gran parte de su contenido de carbono. Las propiedades están alteradas; el producto se vuelve más carbonoso y, por lo tanto, más fácil de usar como sustituto en procesos técnicos. Las condiciones de la materia prima y la carbonización se eligen dependiendo de las propiedades deseadas del carbón. Además de las aplicaciones técnicas en generación de calor y energía, purificación de gas y agua y metalurgia, el biocarbón se ha utilizado como una enmienda del suelo para mejorar la fertilidad del suelo y secuestrar carbono. (Weber y Quicker 2018).

### **2.2.1.2. Producción de Biocarbón**

En la producción de biocarbón, el interés principal es el producto sólido carbonoso. La evaporación del agua y la liberación de componentes volátiles provocan un aumento en el contenido de carbono fijo relativo del sólido. Se cree que la polimerización de compuestos orgánicos en vapores y gases puede conducir a la formación de carbón secundario y aumenta el rendimiento sólido. La velocidad de calentamiento es baja y el tiempo de residencia es largo. En un proceso tradicional de producción de carbón (pozo de carbón), pueden pasar varias semanas hasta que se complete la carbonización. Las temperaturas típicas para la pirólisis lenta son de alrededor de 500 ° C, pero en última instancia dependen de las propiedades deseadas del producto. Un contenido de carbono muy alto de más del 95% puede requerir temperaturas de tratamiento cercanas a 1000 ° C, lo que se puede lograr para las materias primas leñosas, pero plantea problemas para los residuos agrícolas y otros materiales con bajas temperaturas de fusión de cenizas. Por lo tanto, normalmente no se tratan más allá de 700 ° C. La pirólisis en el rango de temperatura entre 200 y 300 ° C se denomina torrefacción. (Weber & Quicker, 2018).

### **2.2.2. Pirólisis**

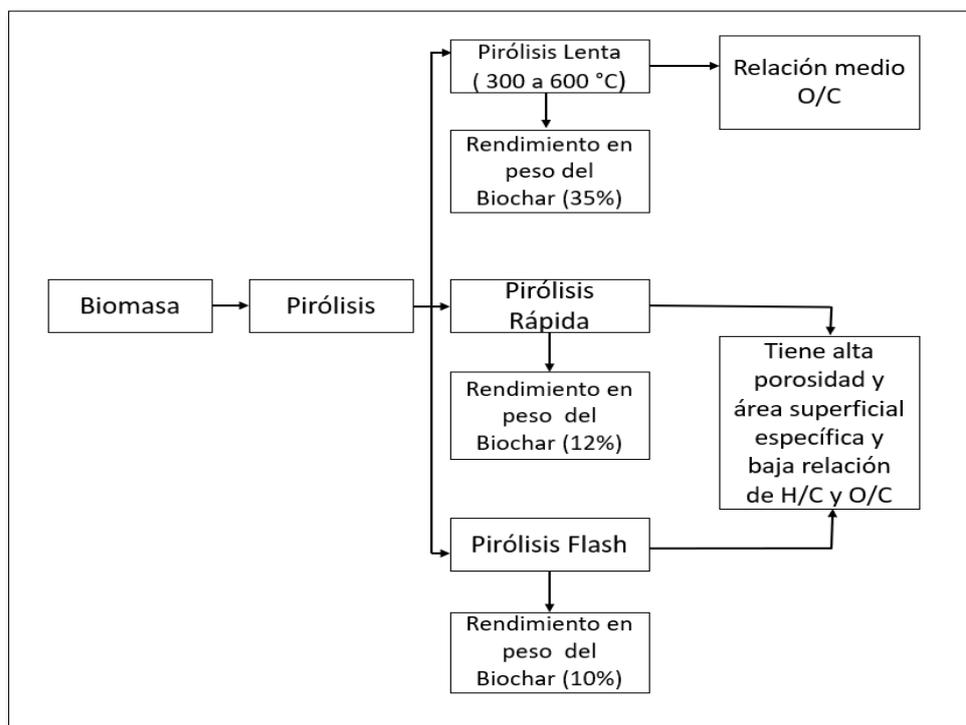
La pirólisis constituye una importante alternativa para la valorización de la biomasa residual y como resultado de este proceso se puede generar

compuestos de carácter sólido (materiales carbonosos), gaseoso (bio-gases), líquido (bio-aceites) o combinaciones entre estos (Salgado y Tarelho 2018). El proceso de pirólisis se puede dividir en lenta, rápida y flash, la diferencia entre los tres son las condiciones del proceso, que implican la velocidad del calentamiento, tiempo de residencia, temperatura (Canabarro et al. 2013) y el rendimiento en peso de biochar que producen.

Cabe resaltar que la pirólisis es un proceso viable en la zona de estudio por que presenta diversas formas para llevarse a cabo. Por ejemplo, (Iglesias Abad 2018) produjo biochar mediante dos formas, la primera mediante un horno pirolítico cuyo diseño se basa en una propuesta del Departamento de Montes de la FAO . Otro tipo de horno que puede aplicarse en la zona antes mencionada es el de (Remigio Ipanaque 2018) un diseño de horno pirolítico de doble tambor. Lo utilizó para lo producción de biochar a partir de excretas de porcina y avícola, horno similar al propuesto por (IBI 2018).

**Figura 1**

Rendimiento de obtención del biochar según el proceso de pirólisis



Nota. Adaptado de (Novotny et al. 2015)

El biochar es un material rico en carbono obtenido mediante la conversión térmica de la biomasa en condiciones limitantes de oxígeno y a temperaturas

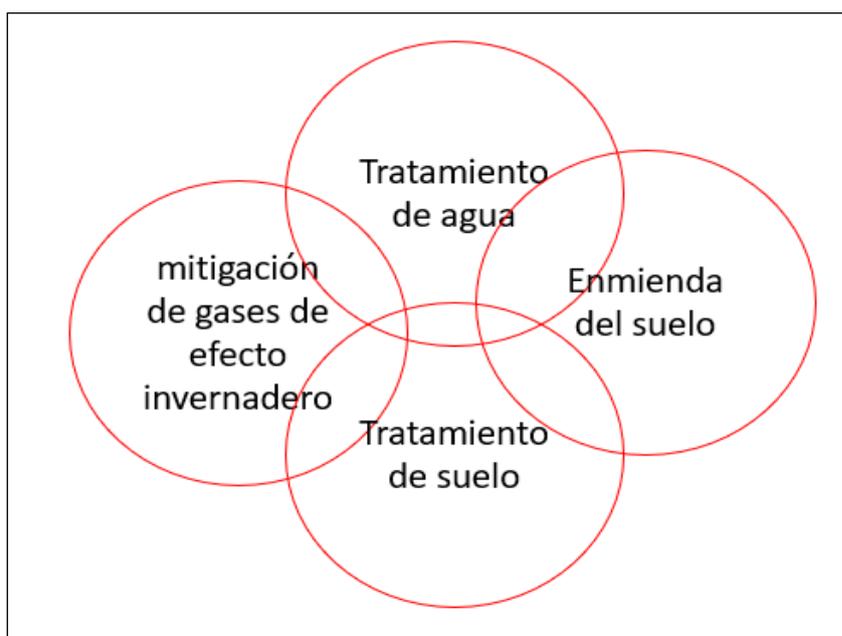
relativamente bajas (<700 °C) (Lehmann & Joseph, 2009). La pirolisis, gasificación y la carbonización hidrotérmica son los métodos comunes para la producción del biochar (J. Wang & Wang, 2019).

### 2.2.3. Aplicaciones del biochar

Las primeras investigaciones del biochar como las de (Lehmann, Gaunt y Rondon 2006) muestran que es una tecnología eficiente para el secuestro del carbono. Actualmente, El biochar es un producto multifacético ya que sus distintas aplicaciones abarcan temas generales cómo la mitigación del cambio climático, el manejo de residuos sólidos, la producción de energía, sorbente de contaminantes en agua y suelo y se posiciona como un gran enmendador para el suelo. Como, por ejemplo:

Figura 2

Aplicaciones del biochar



Nota. Adaptado (Khan et al. 2020)

#### 2.2.3.1. Sorción de contaminantes en el agua

La contaminación del agua es uno de los problemas globales más grandes hoy en día debido a la intensificación de las actividades humanas, incluida la industria y la agricultura (Li, Zhao y Zhang 2019). La sorción es el método preferido para la remoción de contaminantes aniónicos en el agua. Existen

diferentes adsorbentes tales como la zeolita, el carbón activado, la bentonita y el biochar (Ibrahimi y Sayyadi 2015).

El carbón activado probablemente es uno de los adsorbentes más utilizados para tratar aguas contaminadas. Sin embargo, cuando se hace la comparación entre el biochar y el carbón activado, el primero puede producirse a partir de una gran cantidad de residuos (Baltrėnaitė et al. 2017).

Además, demuestra ser una tecnología costo-efectiva. Se calcula que el costo de producción del biochar oscila entre 0.2 -0.5 \$/kg mientras que los adsorbentes como las resinas de intercambio iónico pueden llegar a costar hasta 150\$/Kg (Ahmed et al. 2015).

En ciertas ocasiones el biochar prístino tiene baja capacidad de adsorción en soluciones acuosas, es por eso que se han desarrollado métodos de ingeniería mediante la modificación física, química y biológica del biochar. La modificación química consiste en la adición de químicos a la biomasa y como resultado el área superficial y Capacidad de intercambio catiónico se incrementan, favoreciendo la capacidad de adsorción (Usman et al. 2016).

Por otro lado, la impregnación de elementos al biochar también ha resultado ser eficiente, Por ejemplo (Park et al. 2019) obtuvo una capacidad máxima de adsorción de 107 mg/g en el biochar de Astillas de madera impregnado con azufre elemental para la remoción de Hg (II) en aguas contaminadas. Cabe resaltar que la presencia de celulosa, hemicelulosa, proteínas, azúcares y lípidos en los residuos agropecuarios proporciona una gran variedad de grupos funcionales que pueden activarse físicamente mediante pirólisis proporcionando una gran capacidad de adsorción de metales pesados (Inyang et al. 2011).

**Figura 3**

Tratamiento de aguas contaminadas utilizando biochar



Nota. Extraído de (Das, Ghosh y Avasthe 2020)

#### **2.2.4. Producción del biocarbón**

La pirólisis constituye una importante alternativa para la valorización de la biomasa residual y como resultado de este proceso se puede generar compuestos de carácter sólido (materiales carbonosos), gaseoso (bio-gases), líquido (bio-aceites) o combinaciones entre estos (Salgado y Tarelho 2018).

El proceso de pirólisis se puede dividir en lenta, rápida y flash, la diferencia entre los tres son las condiciones del proceso, que implican la velocidad del calentamiento, tiempo de residencia, temperatura el rendimiento en peso de biocarbón que producen. Cabe resaltar que la pirólisis es un proceso viable en la zona de estudio por que presenta diversas formas para llevarse a cabo (Canabarro et al. 2013).

El proceso de pirólisis se puede dividir en lenta, rápida y flash, la diferencia entre los tres son las condiciones del proceso, que implican la velocidad del calentamiento, tiempo de residencia, temperatura y el rendimiento en peso de biocarbón que producen. Cabe resaltar que la pirólisis es un proceso viable en la zona de estudio por que presenta diversas formas para llevarse a cabo.

## Figura 4

Sistemas de producción del biocarbón



Nota. Extraído de (IBI 2020)

### 2.2.5. Propiedades fisicoquímicas del suelo

**Textura:** Se refiere a la proporción relativa en que se encuentran las clases de partículas con diámetro menor a 2 mm en un volumen de suelo dado. Se reconocen tres clases principales de partículas.

**Densidad aparente (D.A.):** La densidad de un cuerpo se define como la masa por unidad de volumen. El suelo, por ser un material poroso, presenta dos densidades: densidad real y densidad aparente.

#### **Potencial de hidrógeno (pH):**

Se refiere al grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, dado por la proporción de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y de oxidrilos ( $OH^-$ ). Químicamente, se define como el logaritmo del inverso de la actividad de iones de hidrógeno ( $H^+$ ), bajo la forma de hidronio ( $H_3O^+$ ), presentes en la solución suelo; se expresa mediante la siguiente fórmula (Volke [sin fecha]).

#### **Conductividad eléctrica (C.E.):**

Mide la habilidad de la solución suelo para transportar la corriente eléctrica. Los cationes ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , y  $NH_4^+$ ) y aniones ( $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ , y  $HCO_3^-$ ), que resultaron de las sales disueltas en el agua del suelo, son los que transportan las cargas eléctricas y conducen la corriente eléctrica. En consecuencia, la concentración de los iones mencionados determina la C.E. del suelo, lo cual, en la agricultura, se lo utiliza como la medida de salinidad del suelo. La presencia de estas sales puede interferir en la capacidad de intercambio de iones, resultando en una deficiencia nutricional para el

crecimiento de las plantas; por ello, lo mejor es tener un suelo con baja cantidad de sales (Gąsior y Tic 2016).

### **Contenido de macronutrientes:**

Las plantas necesitan de un conjunto de nutrientes para su desarrollo. Existen elementos que son requeridos en grandes cantidades, sobre los 500 ppm, llamados macronutrientes; mientras que otros son requeridos en menor cantidad, usualmente menos de 50 ppm, llamados micronutrientes. Son tres macronutrientes principales que determinan la fertilidad del suelo:

**Nitrógeno (N):** Promueve el desarrollo de las hojas y el crecimiento de brotes. Se presenta en el protoplasma celular y constituye las proteínas, clorofila, nucleótidos, alcaloides, enzimas, hormonas y vitaminas. Asimismo, el nitrógeno es alimento de los microorganismos del suelo, lo que favorece a la descomposición de la materia orgánica por un proceso de desnitrificación. El N puede ser asimilado por las plantas solo en su forma aniónica de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y catiónica de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).

### **Fósforo (P):**

Contribuye a la formación de las raíces, frutos y semillas, y a la floración. Es constituyente de la célula viva, nucleótidos, lecitinas y enzimas. Este elemento participa en las transferencias de energía. El P existe en la solución del suelo como ion ortofosfato:  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  - en condiciones ácidas, y  $\text{HPO}_4^{2-}$  en condiciones alcalinas. Las formas disponibles para las plantas representan solo una pequeña fracción del P total contenido en la solución del suelo.

### **Materia orgánica (M.O.):**

Son todos los residuos de origen animal y vegetal descompuestos por los microorganismos del suelo. Su contenido es variable y está condicionado principalmente por el clima, la fisiografía del medio local y el sistema de manejo. Las propias plantas son una fuente principal de materia orgánica, y su calidad y cantidad están en función del tipo de vegetación. La presencia de ella se mide en porcentaje, y constituye un almacén de energía y de alimento disponible para las plantas y otros organismos, así como una fuente de formación de los coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo.

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Biocarbón de lodos**

#### **En su definición**

*“El Biocarbón es denominado también como “Biochar”, en el idioma inglés. Esta palabra ha sido incluida recientemente, por lo que es una temática relativamente nueva. El Biocarbón hace referencia a un tipo de producto en forma de granos finos y porosos, de manera similar al carbón de origen vegetal (Romero Longwell 2017).”*

*“El Biocarbón es un material carbonoso que ha sido reconocido a nivel mundial por su aplicabilidad en diferentes campos de las ciencias ambientales y que puede ser un gran mitigador de gases de efecto invernadero debido a su potencial por secuestrar carbono de la atmosfera (IBI 2020).”*

#### **En su alcance**

*“El tipo y la composición de la biomasa son algunos de los factores más cruciales responsables de las características fisicoquímicas del biocarbón (Tag et al. 2016).”*

*“El tipo de biomasa de materia prima es incluso más crítico que la temperatura de pirólisis (Mukome et al. 2013).”*

*“La aplicación de biocarbón disminuye significativamente la actividad y la biodisponibilidad de los metales pesados en los suelos (Lu et al. 2017).”*

#### **En su amplitud**

*El mecanismo para la inmovilización de  $Pb^{+2}$  por biocarbón con fosfato ocurre a  $pH < 7$  a través de la disolución de hidroxapatita incrustada durante la modificación del biocarbon, seguida por la precipitación de  $Pb_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  insoluble (Beatrice et al. 2022).*

*“La mayor eficiencia lo realizó el biocarbón de excreta de cabra una inmovilización de plomo del 47%. Se concluyó que todos los tratamientos evidencian eficiencia, es decir, los diferentes biocarbones de residuos orgánicos son óptimos para adsorber el plomo en suelos agrícolas (Ponce Cruz 2020).”*

### 2.3.2. Inmovilización de plomo

#### En su definición

*“La inmovilización química puede reducir la movilidad y la eficacia biológica de los metales pesados a través de una serie de reacciones (que incluyen: intercambio iónico, adsorción, complejación y precipitación) (Fan et al. 2020).”*

#### En su alcance

*“La biodisponibilidad del biocarbón con fósforo puede verse influenciada por las condiciones ambientales físicas y químicas, como el pH y los tipos y concentraciones de cationes y aniones (Buss et al. 2020).”*

*“El plomo se puede encontrar en el suelo principalmente como  $Pb(OH)_2$ ,  $PbCO_3$  o  $Pb_3(PO_4)_2$ . Pb es más nocivo en suelos ácidos, porque el ácido puede disolver el Pb de los precipitados de Pb insolubles (Cuixia et al. 2020). Diferentes estudios realizan la aplicación de biochar para inmovilizar plomo en el suelo (Liu et al. 2021) donde aplica biocarbón y estiércol para reducir concentraciones de plomo en suelos contaminados.”*

*“El fósforo (P) en el suelo es principalmente  $PO_4^{-3}$  y juega un papel vital en la inmovilización de metales pesados, especialmente para la precipitación de Pb. El  $PO_4^{-3}$  podría inmovilizar el Pb en el suelo formando especiaciones moleculares altamente estables como el  $Pb_5(PO_4)_3(OH)$  con una  $K_{sp}$  muy baja ( $K_{sp} = \sim 10^{-78}$ ) (Cao et al. 2009).”*

El Biocarbón es un material carbonoso de granos finos que ha sido reconocido a nivel mundial por su aplicabilidad en diferentes campos de las ciencias ambientales (IBI 2020). Los factores más críticos que determinan las características y la calidad del biocarbón son el **tipo de biocarbón** (Mukome et al. 2013) y el **tiempo de aplicación** en un suelo contaminado (Lu et al. 2017). Los tipos de biocarbón carbonosos tienen un alto potencial en absorber contaminantes, aún más relevantes los tipos de biocarbones con presencia de fosfatos se especializan en la remoción de plomo en el suelo contaminado, por lo tanto, las fuentes carbonosas y fosfatadas como lodos de plantas de

tratamiento y los lodos provenientes de un proceso de piscicultura cuentan con elementos importantes para la inmovilización de metales pesados.

La biodisponibilidad del biocarbón con fósforo puede verse influenciada por las **propiedades físicas y químicas**, como el pH y los tipos y concentraciones de cationes y aniones (Buss et al. 2020), estas características influyen en la **inmovilización** del metal transformándolo en complejos, precipitándolos y convirtiéndolos en especies altamente estables.

## **2.4. Definición de términos básicos**

### **2.4.1. Biocarbón**

Material estable rico en carbono que se produce por el calentamiento de la biomasa en un entorno con poco oxígeno. El biocarbón puede agregarse a los suelos para mejorar las funciones del suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la biomasa y los suelos, así como para el secuestro de carbono (IBI 2020).

### **2.4.2. Enmienda orgánica**

Es una “sustancia o mezcla de sustancias de carácter mineral u orgánico, que incorporada al suelo modifique favorablemente sus características fisicoquímicas, sin tener en cuenta su valor como fertilizante (IBI 2020).

### **2.4.3. Exposición**

Co-ocurrencia del contacto entre el agente estresante y el componente ecológico (MINAM 2016).

### **2.4.4. Absorción**

Proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas de las células de un organismo a través de la piel, pulmones, tracto digestivo o branquias y luego es transportado hacia otros órganos (MINAM 2016).

### **2.4.5. Inmovilización**

La inmovilización química no elimina ni extrae contaminantes del suelo, se basa en la movilidad/solubilidad de los metales pesados y sus concentraciones en el agua de los poros del suelo, disminuyendo su

concentración absorbida, lo que minimiza su posible transporte a plantas, microorganismos y aguas (Tajudin, Azmi y Nabila 2016).

### **III. HIPOTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **Hipótesis general**

La aplicación de biocarbón de lodos de Piscicultura y PTAR inmoviliza el plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.

##### **Hipótesis específica**

- El tipo de biocarbón de lodos de Piscicultura y PTAR tiene un efecto significativo sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.
- El tiempo de aplicación tiene un efecto significativo sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.

### 3.1.1. Operacionalización de variables

Tabla 1

Definición operacional de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
<b>Independiente:</b> Biocarbón de lodos	El biocarbón hace referencia a un tipo de producto en forma de granos finos y porosos, de manera similar al carbón de origen vegetal (Romero Longwell 2017). El biocarbón de lodos es un producto que se puede obtener a base de lodos de piscicultura y PTAR como fuentes de fosfatos.	El biocarbón de lodos como fuente de fosfatos se medirá en función de los tipos de biocarbón generados a partir de lodos de Piscicultura y PTAR y el tiempo de aplicación.	Tipo de biocarbón	Biocarbón de lodos de PTAR	Nominal		
				Biocarbón de piscicultura			
			Tiempo de aplicación	10	días		
				20			
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD		
<b>Dependiente:</b> Inmovilización de Plomo	La inmovilización química puede reducir la movilidad y la eficacia biológica de los metales pesados a través de una serie de reacciones (que incluyen: intercambio iónico, adsorción, complejación y precipitación) (Fan et al. 2020).	La inmovilización de plomo se evaluará en función del cambio de las propiedades físicas y químicas del suelo y la remoción del plomo.	Propiedades Físicas	Granulometria	%	Hipotético - Deductivo	Observación experimental
				Textura	%		
				Densidad	%		
				Conductividad electrica	dS/cm		
			Propiedades Químicas	Materia Orgánica	%		
				Ph	Uni		
				Capacidad de intercambio catiónico	%		
				P	ppm		
				k	ppm		
				Carbonatos	%		
Inmovilización de Plomo	Porcentaje de remoción de Plomo	%					

## **IV. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Diseño Metodológico**

#### **4.1.1. Tipo de investigación**

Esta investigación es de tipo aplicada. Según Ñaupas et al. (2014), la investigación aplicada, recibe este nombre porque nos orienta a mejorar, perfeccionar u optimizar el funcionamiento de los sistemas, los procedimientos, normas, reglas tecnológicas actuales a la luz de los avances de la ciencia y la tecnología; por lo tanto, este tipo de investigación no se presta a la calificación de verdadero, falso o probable sino a la de eficiente, deficiente, ineficiente, eficaz o ineficaz.

#### **4.1.2. Nivel de investigación**

Según el tipo de investigación aplicada esta investigación es de nivel explicativo, o nivel causa-efecto. Según Ñaupas et al. (2014) el nivel explicativo es el nivel más complejo, más profundo y más riguroso en la investigación básica, que tiene como objetivo principal la verificación de hipótesis causales o explicativas; el descubrimiento de nuevas leyes, teorías que pueden ser explicadas por relaciones causales de las propiedades o dimensiones de los hechos.

#### **4.1.3. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación de esta investigación es experimental. Según Ñaupas et al. (2014) con un porte cuasi-experimental, pues no se ha diseñado usando un control. Como parte del diseño, se ha desarrollado un diseño experimental factorial.

### **4.2. Método de investigación**

El método aplicado en la presente tesis fue el Hipotético-Deductivo Anselmo et al., (2019), el cual a partir de deducciones se busca refutar o falsear las hipótesis. Este método permitió demostrar la Hipótesis General usando una secuencia deductiva donde el cumplimiento de las Hipótesis específicas demostraron la Hipótesis general. Según los resultados de esta investigación, de

las 2 hipótesis específicas planteadas una hipótesis específica fue aceptada y la otra hipótesis fue rechazada, por la aplicación del método de deducción se dio por aceptado la hipótesis general.

Para el cumplimiento de hipótesis se siguen una serie de procedimientos, que mediante su ejecución permitirán la corroboración de las hipótesis. Este procedimiento experimental se muestra a continuación:

#### ***4.2.1. Caracterización del suelo contaminado con plomo en AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú***

La zona a evaluar está constituida por zonas impactadas en la región Callao, Distrito Mi Perú. La zona afectada en Mi Perú se encuentra aledaña a la zona industrial, los asentamientos humanos como Virgen de Guadalupe. Se realizó 5 puntos de muestreo, las muestras se homogenizaron, para el ingreso a un laboratorio acreditado. Los indicadores de caracterización fueron parámetros físicos, químicos y concentración de plomo.

#### ***4.2.2. Recolección de los lodos de la PTAR y Piscicultura***

Siguiendo los lineamientos de la R.M. N°093-2018-VIVIENDA que aprueba el protocolo de Monitoreo de Biosólidos y Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Se recolectó 20 L de lodos de PTAR de Payet y 20 L de lodos de Piscicultura Paríamarca.

#### ***4.2.3. Preparación y caracterización de los biocarbones***

Se utilizó los lodos secos de PTAR y piscicultura como materia prima, se colocaron en un horno tubular programable y se pirolizaron en condiciones de vacío a 500 °C a una velocidad de pirólisis de 25°C/min durante 90 min (Wang et al. 2022). El biocarbón obtenido se caracterizó mediante la técnica de Fourier (FT-IR).

#### ***4.2.4. Diseño experimental***

El planteamiento de diseño experimental se hizo mediante un diseño factorial. Los factores estudiados es el Tipo de Biocarbón que cuenta con 2 niveles

(Biocarbón de lodos de PTAR y biocarbón de lodos de Piscicultura), la dosis de Biocarbón (10%) (Ponce, 2020), y el tiempo de aplicación con 2 niveles (10 y 20 días). El diseño experimental contempló 4 tratamientos con 3 repeticiones y 2 puntos centrales un tratamiento de control siendo un total de 16 tratamientos (Tabla 2).

**Tabla 2**

Factores y niveles del diseño propuestos

<b>Tratamiento</b>	<b>Tipo de biocarbon</b>	<b>Tiempo de aplicación</b>
Tratamiento 1	B-Piscicultura	10
Tratamiento 2	B-PTAR	20
Tratamiento 3	B-PTAR	10
Tratamiento 4	B-Piscicultura	10
Tratamiento 5	B-Piscicultura	15
Tratamiento 6	B-Piscicultura	20
Tratamiento 7	B-PTAR	10
Tratamiento 8	B-PTAR	20
Tratamiento 9	B-PTAR	10
Tratamiento 10	B-PTAR	15
Tratamiento 11	B-Piscicultura	15
Tratamiento 12	B-PTAR	10
Tratamiento 13	B-Piscicultura	20
Tratamiento 14	B-PTAR	15
Tratamiento 15	B-Piscicultura	20
Tratamiento 16	B-Piscicultura	15

#### **4.2.5. Preparación de experimento**

El experimento se llevó a cabo en macetas donde se trató 0.5 kg de suelo contaminado de acuerdo al diseño experimental planteado, se mezcló una dosis de ambos biocarbones al (10%). Se mantuvo a una humedad en el suelo del 60%.

#### **4.2.6. Muestreo y análisis del suelo tratado**

La duración de los ensayos experimentales fue de 20 días. La porción de suelo tratado muestreado estuvo sujeto al requerimiento de laboratorio externo

acreditado. Los indicadores de caracterización final fueron parámetros físicos, químicos y concentración de plomo.

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

En la presente tesis tuvo como población del estudio el suelo contaminado por plomo del AA-HH virgen de Guadalupe en la región Callao, 2022.

#### **4.3.2. Muestra**

Para esta tesis se usó un muestreo estratificado de la población, los estratos son las zonas contaminadas AA-HH virgen de Guadalupe. Estas zonas fueron elegidas según los siguientes criterios de elegibilidad.

- Según el Plan anual de evaluación y fiscalización 2023 de la región Callao en el AA.HH Virgen de Guadalupe presenta los más altos niveles de plomo en el Suelo, siendo el parque y vía principal el que reporta un concentración alta de 0.152 kg/kg de suelo.

Las tomas de muestra del suelo en la fase experimental, fue un tipo de muestreo compuesto por conveniencia, se tomó (15 kg) a una profundidad de 20 cm siguiendo la metodología propuesta para el muestreo en suelos en la Guía Para el Muestreo de Suelos. De acuerdo Ñaupas et al. (2014) la muestra, se considera al subconjunto representativo de una población. Unidad de Análisis confiabilidad Técnicas, Además, este se escoge según la calidad y cuan representativo se requiera en el estudio de población y para ello existen tres tipos, aleatoria, estratificada, sistemática. Se toma como referencia los resultados de muestreo de suelos con niveles altos de plomo, según el Informe N°084-2020-GRC/DESA/DEPAYSO/EPA/VCAR emitido por el personal profesional de la Dirección de Ecología, Protección del Ambiente y Salud Ocupacional, sobre el monitoreo de metales pesados en suelo, realizado en inmediaciones de la población del distrito de Mi Perú en la fecha 16 y 18 de Octubre del 2021.

#### 4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Todos los experimentos se realizaron en el laboratorio de análisis químico de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

#### 4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

La técnica que se empleó en la presente tesis fue la observación experimental (Ñaupas et al. 2014), ya que la presente tesis es experimental en el cual se tuvo que tener la capacidad para manipular las variables en los tratamientos tipo de biocarbón para la inmovilización del plomo.

**Tabla 3.**

Cuadro de Técnicas e Instrumentos para la recolección de información

<b>Etapas</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Muestreo de lodos de Piscicultura y PTAR	Experimentación	Registro de recolección de datos en campo
Muestreo de suelos	Experimentación	Registro de recolección de datos en campo
Análisis del suelo contaminado con Plomo	Observación	Informes de ensayos de características físicas, químicas y concentración de plomo
Análisis del suelo tratado	Observación	Informes de ensayos de características físicas, químicas y concentración de plomo

Así mismo, la siguiente tabla resume los métodos de análisis de laboratorio de los parámetros que se midieron:

**Tabla 4.**

Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Equipo y/o instrumento</b>	<b>Método</b>
pH	-	Potenciómetro	NOM21-AS-02
Temperatura	°C		
Humedad	%	Horno estufa	

Color	Nominal		
Olor	Nominal		
Presencia de vectores	Nominal		
pH	-	Potenciómetro	NOM21-AS-02
Materia orgánica	%	Mufla	NOM21-AS-07
Humedad	%	Horno estufa	
CIC	meq/100g	Materiales para volumetría	Volumetría
CE	dS/cm	Conductímetro	APHA 2510 B - Versión 2017
N, P, K	%	Instrumentos de laboratorio	Digestión Koroleff, Vanadomolibdato, Kalignost turbidimétric
Concentración de plomo en el suelo	mg/kg	Espectrómetro	Espectrometría UV - Visible

#### 4.6. Análisis y procesamientos de datos

Para el procesamiento de datos se usó el software Microsoft Excel en su versión 2019, donde se crearon los gráficos de la concentración del plomo en variación con el tiempo por cada tipo de biocarbón.

Así mismo, se usó del software desing expert v.11 para el análisis inferencia se calculó la varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0.05, validando los supuestos como la normalidad de los residuos (Prueba de Shapiro Wilk) y la homogeneidad de las varianzas (Test de Levene), así también de realizó el análisis de regresión lineal para obtener un  $R^2$ ,  $R^2$  ajustado y obtener una ecuación representativa del comportamiento de los datos.

#### 4.7. Aspectos éticos en investigación

La presente tesis cumple con el reglamento de propiedad intelectual (Res. 1206-2019-R) y el código de ética del investigador (Res. 260-2019-CU), respetando la propiedad intelectual de los autores que se mencionan como referencia.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Resultados de las características del suelo con Plomo

La Tabla 5 muestra las concentraciones en los distintos puntos de muestreo del suelo contaminado con plomo en el AA.HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú. Según el estándar de calidad ambiental para suelo la concentración de plomo permitida para suelo con viviendas es de 140 mg/kg y de acuerdo a la Tabla 5, de los 5 puntos muestreados el punto P1 sobrepasa el ECA-Suelo. El experimento se llevó a cabo con la muestra del punto P1.

**Tabla 5.**

Caracterización de la concentración de plomo en el suelo contaminado de la AA.HH. Virgen de Guadalupe

Punto	Coordenadas (UTM)		Plomo (mg/Kg)
	Norte	Este	
P1	268959	8688300	198.76
P2	269085	8688154	4.69
P3	268912	8688095	50.63
P4	268882	8688225	136.23
P5	268905	8688183	69.53

#### 5.1.2. Resultados de concentración de fósforo en los lodos y biocarbón

La recolección del lodo se llevó a cabo en la PTAR de Payet y piscigranja de Paríamarca. La Tabla 6 muestra las concentraciones de fósforo del lodo de PTAR, lodos de la piscicultura y de los biocarbones generados con ambos lodos.

**Tabla 6**

Caracterización del lodo de PTAR

Tipo de lodo	Coordenadas		Unidades	Fósforo
	Norte	Este		
Lodo de PTAR	277343.85	8675928.48	%	
Lodo de Piscicultura	321013.2	8730196.6	%	0.57
Biocarbón-PTAR	-	-	%	2.73
Biocarbón -Piscicultura	-	-	%	1.22

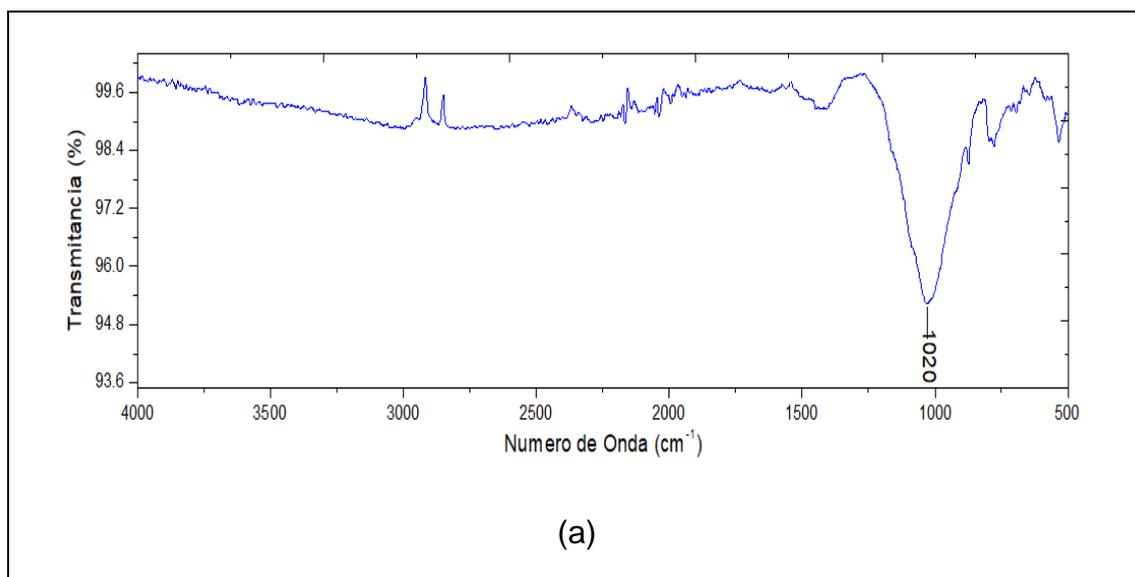
### 5.1.3. Resultados de las características del biocarbón de lodos de PTAR y piscicultura

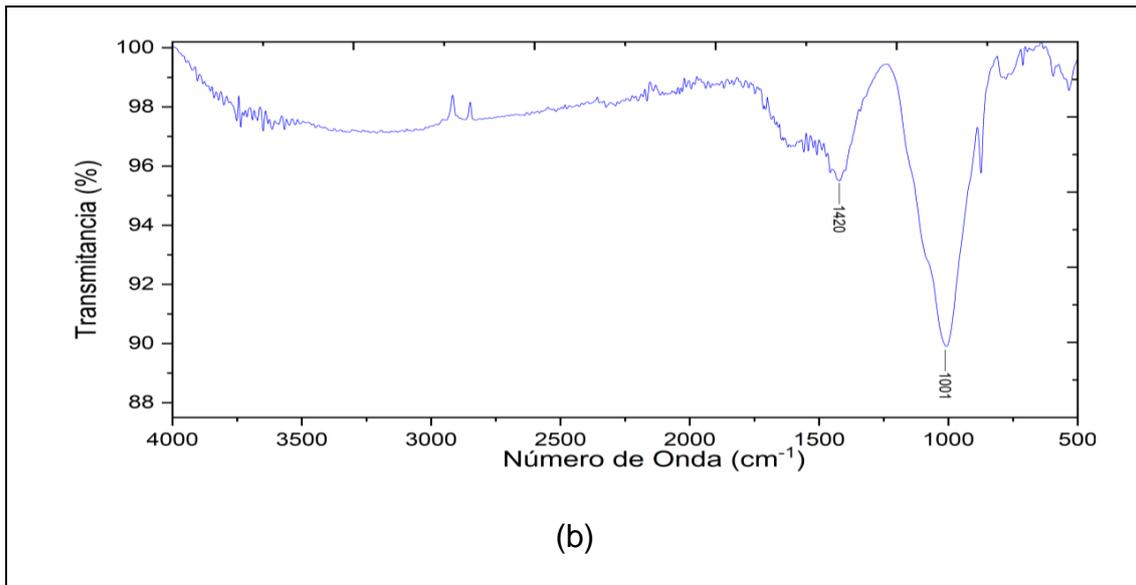
La producción de biocarbón de PTAR y Piscicultura se elaboró mediante un horno pirolítico automatizado donde se puede controlar la temperatura de producción. Se produjo un total de 1 Kilogramo de biocarbón de lodos de PTAR y la misma cantidad de lodos de piscicultura a 500°C. La caracterización de los biocarbones de los lodos se realizó mediante el análisis de espectroscopia infrarroja FT-IR, esta metodología permite la medición de los grupos funcionales formados en el biocarbón.

En la Figura 5a y Figura 5b se muestra los espectros infrarrojos de Fourier de biocarbón (BC) de PTAR y piscicultura 500 °C. El BC-PTAR y BC-piscicultura muestran una mínima intensidad de grupos alcanos C-H a 2920  $\text{cm}^{-1}$ , existe una diferencia significativa de los grupos carboxilos C-O-C a 1419.1  $\text{cm}^{-1}$ , siendo el biocarbón de PTAR más intenso, por último, ambos presentan grupos éteres C-O-C a 1000.0  $\text{cm}^{-1}$ . Existe mayor presencia de grupos alcanos y carboxilos en el BC-PTAR respecto al BC-piscicultura.

**Figura 5**

Espectros Infrarrojos FT-IR de los biocarbón de lodos de PTAR (a) y piscicultura (b)





Nota. Lado Horizontal (Número de Onda  $\text{cm}^{-1}$ )-Lado Vertical (Transmitancia %)

#### 5.1.4. Resultados descriptivos de los experimentos

La producción de biocarbón en base a los lodos residuales de la PTAR que se pudieron conseguir durante la etapa de operación de la planta y con ella se produjo 1.5 kg de biocarbón por cada temperatura de producción. Para los diferentes experimentos solo fue necesario el uso de 0.5 kg de cada producción.

La Tabla 8 muestra los 16 tratamientos experimentales en una combinación aleatoria por el tipo de biocarbón (biocarbón-PTAR, biocarbón-piscicultura) y el tiempo de aplicación. Los tratamientos incluyen 3 repeticiones, el efecto del bloque y la variable respuesta como el porcentaje de inmovilización de plomo (%Pb).

Como se muestra en la matriz experimental (Tabla 8) la inmovilización máxima de plomo alcanzó un 50.83% con un arreglo experimental del biocarbón de PTAR a 20 días de su aplicación.

La Figura 6 muestra el gráfico de la variación del tipo de biocarbón y el tiempo de aplicación, ambos biocarbones disminuyen en función del tiempo, la mayor inmovilización es generada por el biocarbón de PTAR.

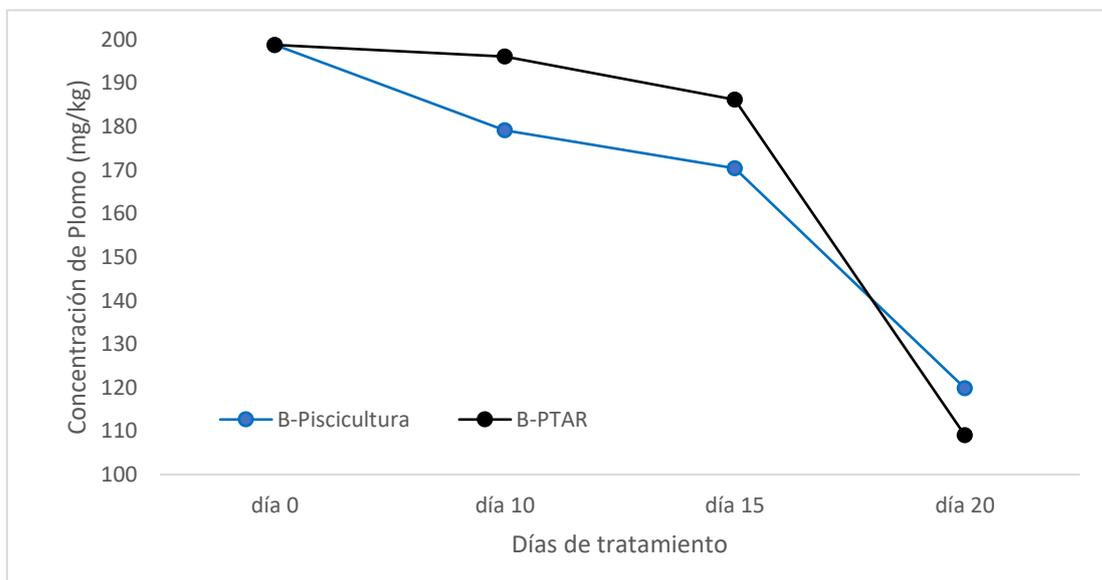
**Tabla 7**

Resultados de la matriz experimentales de los diferentes tratamientos en un diseño de mezcla

Tratamiento	Tipo de biocarbon	Tiempo de aplicación	Concentración final (mg/kg)	Concentración final (%)
Tratamiento 1	B-Piscicultura	10	177.73	10.58
Tratamiento 2	B-PTAR	20	97.73	50.83
Tratamiento 3	B-PTAR	10	183.38	7.74
Tratamiento 4	B-Piscicultura	10	180.47	9.20
Tratamiento 5	B-Piscicultura	15	166.8	16.08
Tratamiento 6	B-Piscicultura	20	118.9	40.18
Tratamiento 7	B-PTAR	10	194.35	2.22
Tratamiento 8	B-PTAR	20	120.36	39.44
Tratamiento 9	B-PTAR	10	194.66	2.06
Tratamiento 10	B-PTAR	15	177.3	10.80
Tratamiento 11	B-Piscicultura	15	173.39	12.76
Tratamiento 12	B-PTAR	10	189.06	4.88
Tratamiento 13	B-Piscicultura	20	121.19	39.03
Tratamiento 14	B-PTAR	15	175.03	11.94
Tratamiento 15	B-Piscicultura	20	119.52	39.87
Tratamiento 16	B-Piscicultura	15	170.94	14.00

**Figura 6**

Grafica de efectos del tipo de biocarbón y el tiempo de aplicación



## 5.2. Resultados Inferenciales

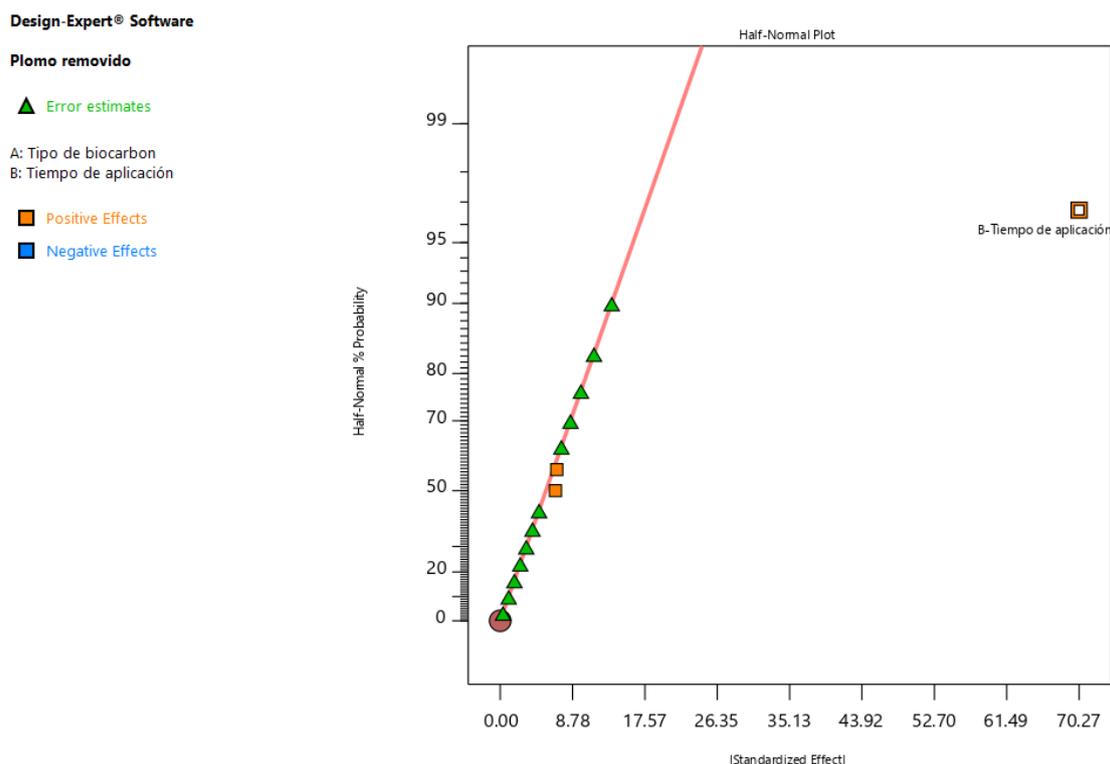
Para realizar el análisis inferencial se deben identificar los efectos factoriales significativos y separarlos de los efectos no significativos y del error. Una vez que se seleccionan los términos, se puede probar la importancia del modelo con el análisis ANOVA.

### 5.1.1. Análisis de efectos preliminares para el modelo

Para seleccionar el modelo la Figura 7 muestra la probabilidad seminormal que permitirá analizar en una primera instancia los parámetros con mayores efectos. La codificación por colores proporciona detalles sobre si los efectos son positivos. En la Figura 7 se muestra que la B-tiempo de aplicación son los que presentan una alta magnitud del efecto.

**Figura 7**

Grafica de probabilidad seminormal de los efectos de los parámetros de estudio

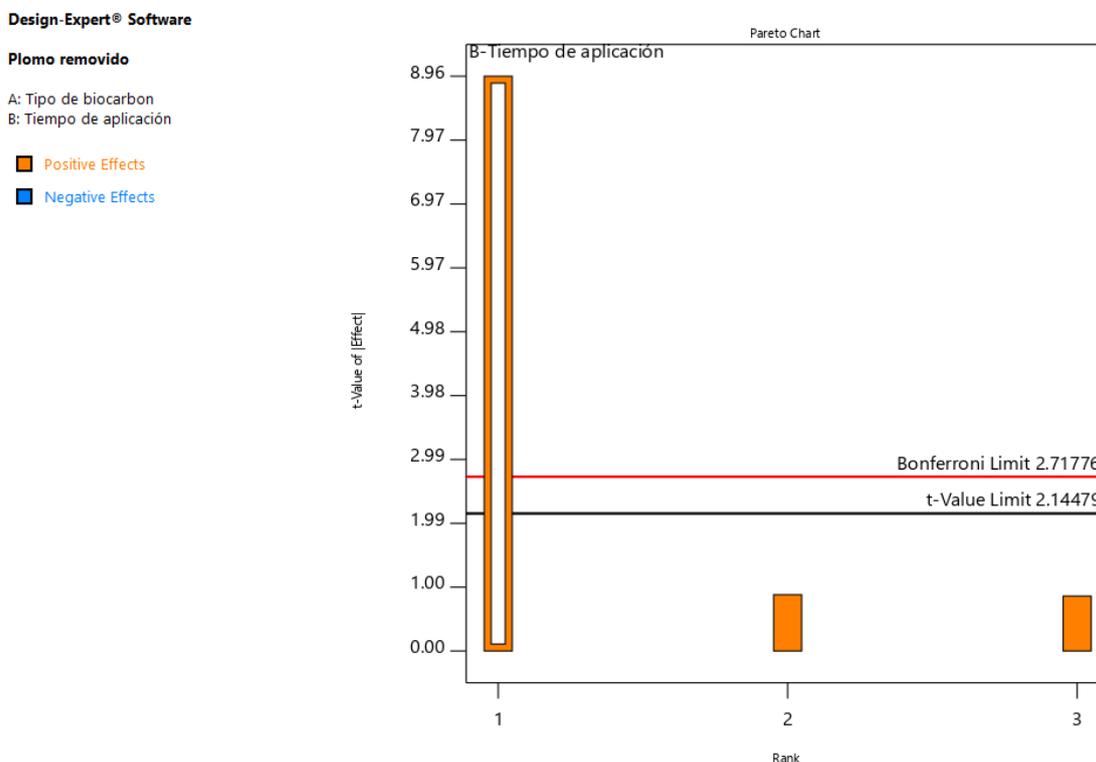


Así también para la selección de los efectos en función del error la figura 8 muestra el diagrama de Pareto. El diagrama de Pareto se usa mejor para determinar si los parámetros de estudio y sus interacciones deben ser parte del modelo o debe quedar fuera del modelo y combinarse con las estimaciones de

error. Según la Figura 8, el diagrama de Pareto muestra que el factor B: Tiempo de aplicación tiene un efecto significativo en el modelo.

**Figura 8**

Diagrama de Pareto



### 5.1.2. Análisis ANOVA de los diseños factoriales

Para determinar la significancia de los parámetros en el modelo estadístico se aplicó el análisis de la varianza. La Tabla 9 muestra los estadísticos del análisis de la varianza del modelo. Según la Tabla 9 el valor F del modelo de 80.31 implica que el modelo es significativo. Solo hay una probabilidad del 0.01 % de que se produzca un valor F tan grande debido al ruido.

Los valores  $p$  inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso, B-Tiempo de aplicación es un término modelo significativo. Los valores superiores a 0.10 indican que los términos del modelo no son significativos.

**Tabla 8.**

Matriz ANOVA de inmovilización de plomo

Recursos	Suma de cuadrados	GL	Suma de medias	F-value	p-value
<b>Model</b>	3375.37	1	3375.37	80.31	< 0.0001
B-Tiempo de aplicación	3375.37	1	3375.37	80.31	< 0.0001
<b>Residual</b>	588.38	14	42.03		
Lack of Fit	494.16	4	123.54	13.11	0.0005
Pure Error	94.22	10	9.42		
<b>Cor Total</b>	3963.75	15			

**5.1.3. Análisis del modelo estadístico**

En el modelo estadístico utilizado se calculó la ecuación en términos de factores codificados, esta ecuación se puede usar para hacer predicciones sobre la respuesta para niveles dados de cada factor. De forma predeterminada, los niveles altos de los factores se codifican como +1 y los niveles bajos se codifican como -1. La ecuación codificada de la interacción de esta tesis es la siguiente:

$$\text{Plomo removido (\%)} = +73.27 + 35.13 (\text{Tiempo de aplicación})$$

Para la determinación de la repetitividad de la ecuación se calcula el  $R^2$  previsto de 0.8112, este valor está razonablemente de acuerdo con el  $R^2$  ajustado de 0.8410; es decir, la diferencia es inferior a 0.2. El indicador *Adeq Precision* mide la relación señal/ruido es deseable una relación superior a 4 del valor estimado la relación de 15.33 indica una señal adecuada. Este modelo se puede utilizar para navegar por el espacio de diseño.

**Tabla 9**

Indicadores de ajuste del diseño factorial del experimento

Indicadores	% Plomo inmovilizado
$R^2$	0.8586
$R^2$ ajustado	0.8410
$R^2$ predictivo	0.8112
Presición Adeq	15.3289

### a. Análisis de la normalidad

Este análisis nos permite evidenciar la distribución de los valores en la recta normal. Como se muestra en la Figura 09 la tendencia de los resultados sigue la recta normal.

**Figura 9**

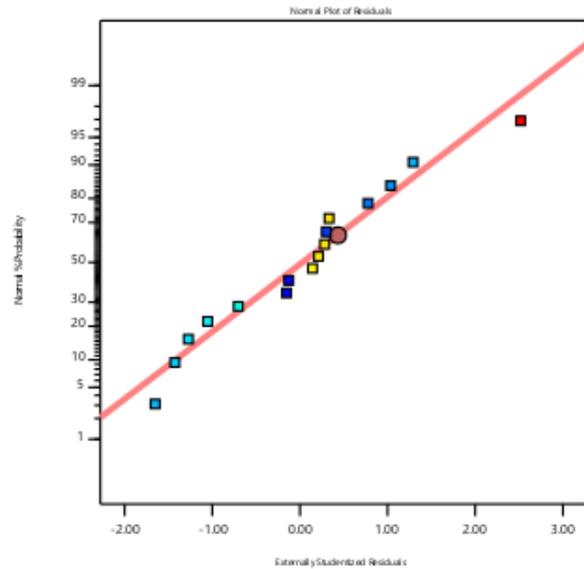
Gráfica de la normalidad

**Design-Expert® Software**

**Plomo removido**

Color points by value of  
Plomo removido:

2.06279  50.8301



### b. Homogeneidad de la varianza

En la Figura 10 se grafican los residuales contra los valores ajustados para los datos de la % inmovilización de plomo. Las distribuciones de los resultados no presentan una tendencia, la varianza de las observaciones no se incrementa cuando la magnitud de la observación se incrementa. Por lo tanto, no es el caso si el error o ruido de fondo del experimento fuera un porcentaje constante de la magnitud de la observación.

**Figura 10**

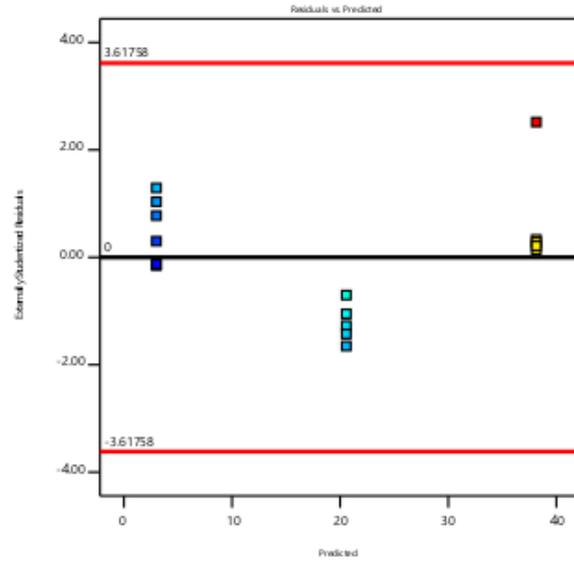
Supuesto de homogeneidad de la varianza

**Design-Expert® Software**

**Plomo removido**

Color points by value of  
Plomo removido:

2.06279  50.8301



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Esta investigación se formuló la primera hipótesis específica que consiste en afirmar que el tipo de biocarbón de lodos de Piscicultura y PTAR tiene un efecto significativo sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe. De acuerdo a los resultados obtenidos en la gráfica de probabilidad seminormal (Figura 7) y la gráfica de Pareto (Figura 8) el factor tipo de biocarbón se encuentra se concentra en la curva normal y está por debajo del umbral de significancia según el diagrama de Pareto, por lo tanto, el factor tipo de biocarbón no tiene un efecto significativo sobre el factor de respuesta que es la inmovilización del Plomo, este mismo análisis se corrobora cuantitativamente en la Tabla 7 donde se muestra el análisis de la varianza (ANOVA) del factor tipo de biocarbón donde su significancia es un  $p > 0.05$ . Por lo tanto, se rechaza la hipótesis del investigador y se acepta la hipótesis nula.

Se formuló la segunda hipótesis específica que consiste en afirmar que el tiempo de aplicación de lodos de Piscicultura y PTAR tiene un efecto significativo sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe. De acuerdo a los resultados obtenidos en la gráfica de probabilidad seminormal (Figura 7) y la gráfica de Pareto (Figura 8) el factor tiempo de aplicación del biocarbón se encuentra alejado a la concentración en la curva normal y está por encima del umbral de significancia según el diagrama de Pareto, por lo tanto, el factor tiempo de aplicación del biocarbón si tiene un efecto significativo sobre el factor de respuesta que es la inmovilización del Plomo, este mismo análisis se corrobora cuantitativamente en la Tabla 7 donde se muestra el análisis de la varianza (ANOVA) del factor tiempo de aplicación del biocarbón donde su significancia tiene un  $p < 0.05$ . Por lo tanto, se acepta la hipótesis del investigador y se rechaza la hipótesis nula.

La hipótesis general señala que la aplicación de biocarbón de lodos de Piscicultura y PTAR inmoviliza el plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe. Según las hipótesis específicas: la primera hipótesis fue rechazada y la segunda fue aceptada, de acuerdo al método hipotético deductivo, se puede

deducir que al tener una hipótesis afirmativa se da por aceptada la hipótesis general.

## **6.2. Contratación de los resultados con estudios similares**

Los lodos de piscicultura y PTAR han demostrado que pueden ser aprovechadas para preparar biocarbón, el cual además de poseer un valor económico accesible permite su uso para mejorar las propiedades del suelo contaminado. El biocarbón en diferentes cantidades permite lograr la inmovilización de plomo en el suelo, sin embargo, es necesario conocer la cantidad adecuada que permita reducir la disponibilidad de este metal sin comprometer otras funciones del suelo.

De acuerdo a los resultados, el biocarbón derivado de los lodos de PTAR tuvo un mayor contenido de fósforo (2.73 %) que el biocarbón derivado de lodos de piscicultura (1.22%), según los reportes de Luo, (2022) el rendimiento de biocarbón aumenta significativamente cuanto mayor el contenido de fósforo, por lo que el biocarbón de lodos PTAR tiene mayor contenido de fósforo que el de piscicultura siendo mayor su rendimiento.

Los antecedentes reportan inmovilizaciones de plomo de 47% (Ponce, 2020), inmovilización de cadmio 88.22% (Silva, 2021), plomo de 81.89% (Romero, 2017), teniendo este estudio una eficiencia máxima de 50.83% en la inmovilización de Plomo, los estudios mencionados reportan tiempo de aplicación mayores a los 100 días, que coincide con el efecto significativo del tiempo reportado en este estudio, a mayor tiempo de aplicación de biocarbón mejora la inmovilización de metales.

Según la investigación de Li, (2022) los mecanismos de estabilización de los metales pesados por biocarbón fueron principalmente los siguientes: (i) atracción electrostática con la superficie cargada (ii) precipitación/coprecipitación, incluidos los carbonatos e hidróxidos de metales pesados, y precipitación entre metales pesados, y (iii) complejación con grupos funcionales que contienen oxígeno. Esta investigación ha desarrollado una caracterización FTIR de los biocarbones presentando el biocarbón de PTAR mayor grupos funcionales oxigenado que el biocarbón de lodos de piscicultura

como grupos carboxilos C-O-C a  $1419.1\text{ cm}^{-1}$ , y grupos éteres C-O-C a  $1000.0\text{ cm}^{-1}$ , maximizando su eficiencia en la inmovilización.

### **6.3. Responsabilidad ética**

La presente tesis titulada, "Biocarbón de lodos para la inmovilización del plomo en suelos del AA.HH. Virgen De Guadalupe, Mi Perú, 2022" los tesisistas señalamos que se cumple fielmente con el código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por RDU N° 210-2017-CU.

## VII. CONCLUSIONES

- Se puede concluir que el biocarbón preparado a partir de lodos de piscicultura y PTAR a una temperatura de 500°C durante un tiempo de carbonización de 1 Hora con 30 min permite obtener una enmienda orgánica con la capacidad de inmovilizar el plomo en el suelo contaminado. De los dos lodos la eficiencia máxima de inmovilización de plomo en el suelo fue de 50.83% desarrollado por el biocarbón de PTAR a 20 días con una dosis de 10%.
- Se logró determinar el efecto del tipo de biocarbón sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, resultando que el factor (F1) tipo de biocarbón tuvo un efecto no significativo en la inmovilización de plomo con un  $0.05 > p$ .
- Se logró determinar el efecto del tiempo de aplicación sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, resultando que el factor (F2) Tiempo de aplicación fue significativo en la inmovilización de plomo con un  $p < 0.05$  con modelo cuyo  $R^2$  ajustado de 0.8410.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Para siguientes investigaciones se recomienda complementar a evaluación con un mayor tiempo de aplicación de biocarbón, para maximizar su remoción del Plomo. Así también se recomienda análisis de caracterización cuantitativa como el análisis de componentes elementales en el biocarbón y análisis complementarios como el análisis SEM para entender la estructura del suelo y como ha cambiado su morfología por la absorción.
- En base a estos resultados se recomienda a los tomadores de decisiones en la gestión municipal o privados el uso del biocarbón a una mayor escala de aplicación combinando con otras técnicas como fitorremediación.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, M.B., ZHOU, J.L., NGO, H.H. y GUO, W., 2015. Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater: Progress and challenges. *Science of the Total Environment*, The, vol. 532, pp. 112-126. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2015.05.130.
- ANSELMO, F., FLORES, S. y DE REVISIÓN, A., 2019. Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos Epistemic Fundamentals of Qualitative and Quantitative Research: Consensus and Dissensus Fundamentos epistémicos da pesquisa qualitativa e quantitativa: consensos. , vol. 13, no. 1, pp. 102-122. ISSN 2223-2516. DOI 10.19083/ridu.2019.644.
- BALTRÉNAITÉ, E., BALTRÉNAS, P., BHATNAGAR, A., VILPPO, T., SELENIUS, M., KOISTINEN, A., DAHL, M. y PENTTINEN, O.P., 2017. A multicomponent approach to using waste-derived biochar in biofiltration: A case study based on dissimilar types of waste. *International Biodeterioration and Biodegradation*, vol. 119, pp. 565-576. ISSN 09648305. DOI 10.1016/j.ibiod.2016.10.056.
- BEATRICE, A., VARCO, J.J., DYGERT, A., ATSAR, F.S., SOLOMON, S., THIRUMALAI, R.V.K.G., PITTMAN JR., C.U. y MLSNA, T., 2022. Lead immobilization in simulated polluted soil by Douglas fir biochar-supported phosphate. *Chemosphere* [en línea], vol. 292, pp. 133355. ISSN 0045-6535. DOI <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133355>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521038297>.
- BI, C., ZHOU, Y., CHEN, Z., JIA, J. y BAO, X., 2018. Heavy metals and lead isotopes in soils, road dust and leafy vegetables and health risks via vegetable consumption in the industrial areas of Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, vol. 619, pp. 1349-1357. ISSN 0048-9697.
- BOLAN, N., KUNHIKRISHNAN, A., THANGARAJAN, R., KUMPIENE, J., PARK, J., MAKINO, T., KIRKHAM, M.B. y SCHECKEL, K., 2014. Remediation of heavy metal (loid) s contaminated soils—to mobilize or to immobilize? *Journal of hazardous materials*, vol. 266, pp. 141-166. ISSN 0304-3894.
- BUSS, W., BOGUSH, A., IGNATYEV, K. y MASEK, O., 2020. Unlocking the fertilizer potential of waste-derived biochar. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 8, no. 32, pp. 12295-12303. ISSN 2168-0485.
- CANABARRO, N., SOARES, J.F., ANCHIETA, C.G., KELLING, C.S. y MAZUTTI, M. a, 2013. Thermochemical processes for biofuels production from biomass. *Sustainable Chemical Processes*, vol. 1, no. 1, pp. 22. ISSN 2043-7129. DOI 10.1186/2043-7129-1-22.
- CAO, X., MA, L., GAO, B. y HARRIS, W., 2009. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. *Environmental science & technology*, vol. 43, no. 9, pp. 3285-3291. ISSN 0013-936X.
- CUI, H., DONG, T., HU, L., XIA, R., ZHOU, Jing y ZHOU, Jun, 2022. Adsorption and immobilization of soil lead by two phosphate-based biochars and phosphorus release risk assessment. *Science of The Total Environment* [en línea], vol. 824, pp. 153957. ISSN 0048-9697. DOI

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153957>. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972201049X>.

- CUIXIA, Y., YINGMING, X., LIN, W., XUEFENG, L., YUEBING, S. y HONGTAO, J., 2020. Effect of different pyrolysis temperatures on physico-chemical characteristics and lead (ii) removal of biochar derived from chicken manure. *RSC advances*, vol. 10, no. 7, pp. 3667-3674.
- DAS, S.K., GHOSH, G.K. y AVASTHE, R., 2020. Biochar application for environmental management and toxic pollutant remediation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp. 1-12. ISSN 2190-6823.
- DIETRICH, M., HULING, J. y KREKELER, M.P.S., 2018. Metal pollution investigation of Goldman Park, Middletown Ohio: Evidence for steel and coal pollution in a high child use setting. *Science of the Total Environment*, vol. 618, pp. 1350-1362. ISSN 0048-9697.
- FAN, J., CAI, C., CHI, H., REID, B.J., COULON, F., ZHANG, Y. y HOU, Y., 2020. Remediation of cadmium and lead polluted soil using thiol-modified biochar. *Journal of hazardous materials*, vol. 388, pp. 122037. ISSN 0304-3894.
- GAŞIOR, D. y TIC, W.J., 2016. Biochar application in the mercury ions adsorption from aqueous solutions. *Economic and Environmental Studies*, vol. 16, no. 4 (40), pp. 803-818. ISSN 1642-2597.
- GORE, 2022. Plan de evacuación y fiscalización ambiental 2023. [en línea]. Callao: Disponible en:  
<http://prototipo.regioncallao.gob.pe/contenidos/contenidosGRC/filesContenido/file74506.pdf>.
- HAMID, Y., TANG, L., YASEEN, M., HUSSAIN, B., ZEHRA, A., AZIZ, M.Z., HE, Z. y YANG, X., 2019. Comparative efficacy of organic and inorganic amendments for cadmium and lead immobilization in contaminated soil under rice-wheat cropping system. *Chemosphere*, vol. 214, pp. 259-268. ISSN 0045-6535.
- HUANG, Y., CHEN, Q., DENG, M., JAPENGA, J., LI, T., YANG, X. y HE, Z., 2018. Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soils in a typical peri-urban area in southeast China. *Journal of environmental management*, vol. 207, pp. 159-168. ISSN 0301-4797.
- IBI, 2018. Biochar Production Technologies. *Biochar production systems are generally classified as either pyrolysis or gasification systems*.
- IBI, 2020. Biochar Technology. .
- IBRAHIMI, M.M. y SAYYADI, A.S., 2015. Application of natural and modified Zeolites in removing heavy metal cations from aqueous media : an overview of including parameters affecting the process. *Ijgaes*, vol. 3, no. 2, pp. 1-7. ISSN 2348-0254.
- IGLESIAS ABAD, S.F., 2018. Aplicación de Biochar a partir de biomasa residual de Eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano. ,
- INYANG, M., GAO, B., DING, W., PULLAMMANAPPALLIL, P., ZIMMERMAN, A.R. y CAO, X., 2011. Enhanced lead sorption by biochar derived from

- anaerobically digested sugarcane bagasse. *Separation Science and Technology*, vol. 46, no. 12, pp. 1950-1956. ISSN 0149-6395.
- JI, X., WAN, J., WANG, X., PENG, C., WANG, G., LIANG, W. y ZHANG, W., 2022. Mixed bacteria-loaded biochar for the immobilization of arsenic, lead, and cadmium in a polluted soil system: Effects and mechanisms. *Science of The Total Environment* [en línea], vol. 811, pp. 152112. ISSN 0048-9697. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152112>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721071886>.
- KANG, K.-S., 2012. The cause of highly efficient lead removal with silica spheres modifying the surface by a base catalyst. *Industrial & engineering chemistry research*, vol. 51, no. 10, pp. 4101-4104. ISSN 0888-5885.
- KEDE, M., PÉREZ, D.V., MOREIRA, J.C. y MARQUES, M., 2016. Effect of phosphates on the bioavailability and phytotoxicity of Pb and Cd in contaminated soil and phytoextraction by Vetiver grass. *J. Environ. Eng*, vol. 143, pp. 3-11.
- KHAN, Anwarzeb, KHAN, S., LEI, M., ALAM, M., KHAN, M.A. y KHAN, Ajmal, 2020. *Biochar characteristics, applications and importance in health risk reduction through metal immobilization*. noviembre 2020. S.l.: Elsevier B.V.
- LEHMANN, J., GAUNT, J. y RONDON, M., 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 11, no. 2, pp. 403-427. ISSN 13812386. DOI 10.1007/s11027-005-9006-5.
- LI, Q., LIANG, W., LIU, F., WANG, G., WAN, J., ZHANG, W., PENG, C. y YANG, J., 2022. Simultaneous immobilization of arsenic, lead and cadmium by magnesium-aluminum modified biochar in mining soil. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 310, pp. 114792. ISSN 0301-4797. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114792>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722003656>.
- LI, X., ZHAO, C. y ZHANG, M., 2019. Biochar for anionic contaminants removal from water. *Biochar from biomass and waste*. S.l.: Elsevier, pp. 143-160.
- LIANG, W., WANG, G., PENG, C., TAN, J., WAN, J., SUN, P., LI, Q., JI, X., ZHANG, Q. y WU, Y., 2022. Recent advances of carbon-based nano zero valent iron for heavy metals remediation in soil and water: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 426, pp. 127993. ISSN 0304-3894.
- LIU, L., LI, J., WU, G., SHEN, H., FU, G. y WANG, Y., 2021. Combined effects of biochar and chicken manure on maize (*Zea mays* L.) growth, lead uptake and soil enzyme activities under lead stress. *PeerJ*, vol. 9, pp. e11754. ISSN 2167-8359.
- LU, K., YANG, X., GIELEN, G., BOLAN, N., OK, Y.S., NIAZI, N.K., XU, S., YUAN, G., CHEN, X. y ZHANG, X., 2017. Effect of bamboo and rice straw biochars on the mobility and redistribution of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in contaminated soil. *Journal of environmental management*, vol. 186, pp. 285-292. ISSN 0301-4797.
- LUO, Y., LI, Z., XU, H., XU, X., QIU, H., CAO, X. y ZHAO, L., 2022. Development of phosphorus composite biochar for simultaneous enhanced carbon sink

- and heavy metal immobilization in soil. *Science of The Total Environment* [en línea], vol. 831, pp. 154845. ISSN 0048-9697. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154845>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722019386>.
- LWIN, C.S., SEO, B.-H., KIM, H.-U., OWENS, G. y KIM, K.-R., 2018. Application of soil amendments to contaminated soils for heavy metal immobilization and improved soil quality—A critical review. *Soil science and plant nutrition*, vol. 64, no. 2, pp. 156-167. ISSN 0038-0768.
- MA, Q.Y., TRAINA, S.J., LOGAN, T.J. y RYAN, J.A., 1993. In situ lead immobilization by apatite. *Environmental Science & Technology*, vol. 27, no. 9, pp. 1803-1810. ISSN 0013-936X.
- MINAM, 2016. GLOSARIO DE TÉRMINOS Sitios Contaminados. . S.l.:
- MORALES, J., FUENTES-RIVERA, J., BAX, V. y MATTA, H.H., 2018. Niveles de plomo sanguíneo y factores asociados en niños residentes de un distrito del Callao. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, vol. 38, no. 2, pp. 135-144. ISSN 0798-0264.
- MUKOME, F.N.D., ZHANG, X., SILVA, L.C.R., SIX, J. y PARIKH, S.J., 2013. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 61, no. 9, pp. 2196-2204. ISSN 0021-8561.
- ÑAUPAS, H., MEHÍA, E., NOVOA, E. y VILLAGÓMEZ, A., 2014. *Metodología de la investigación Cuantitativa-cualitativa y redacción de la Tesis*. 4 Edición. Bogotá: s.n. ISBN 978-958-762-188-4.
- NOVOTNY, E.H., MAIA, C.M.B. de F., CARVALHO, M.T. de M. y MADARI, B.E., 2015. Biochar: carbono pirogênico para uso agrícola-uma revisão crítica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 39, pp. 321-344. ISSN 1806-9657.
- OK, Y.S., UCHIMIYA, S.M., CHANG, S.X. y BOLAN, N., 2015. *Biochar: Production, characterization, and applications*. S.l.: CRC press. ISBN 1482242303.
- PARK, J.-H., WANG, J.J., ZHOU, B., MIKHAEL, J.E.R. y DELAUNE, R.D., 2019. Removing mercury from aqueous solution using sulfurized biochar and associated mechanisms. *Environmental pollution*, vol. 244, pp. 627-635. ISSN 0269-7491.
- PINHO, S. y LADEIRO, B., 2012. Phytotoxicity by Lead as Heavy Metal Focus on Oxidative Stress. *Journal of Botany*, ISSN 2090-0120.
- PONCE CRUZ, S., 2020. Inmovilización de plomo en suelos mediante biocarbón por pirólisis de residuos orgánicos en zona agrícola del valle de Carapongo.
- REMIGIO IPANAQUE, S.R., 2018. Uso del biochar de excretas porcina y avícola en la reducción de cadmio en suelo agrícola contaminado, Huaral, 2018. ,
- ROMERO LONGWELL, J.R., 2017. Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima. ,
- SALGADO, M.A.H. y TARELHO, L.A.C., 2018. Biochar production as an

- alternative for energetic valorization or residual biomass generated in the Ecuadorian agroindustrial sector: a participative approach. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, no. 49, pp. 6-11. ISSN 2172-6094.
- SILVA GUERRERO, C.M., 2021. Efecto del biocarbón obtenido a partir de biomasa residual agrícola en la inmovilización de cadmio en el suelo en fase de laboratorio. ,
- TAG, A.T., DUMAN, G., UCAR, S. y YANIK, J., 2016. Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 120, pp. 200-206. ISSN 0165-2370.
- TAJUDIN, S.A.A., AZMI, M.A.M. y NABILA, A.T.A., 2016. Stabilization/solidification remediation method for contaminated soil: a review. *IOP conference series: materials science and engineering*. S.I.: IOP Publishing, pp. 12043. ISBN 1757-899X.
- TCHOUNWOU, P.B., YEDJOU, C.G., PATLOLLA, A.K. y SUTTON, D.J., 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology*, pp. 133-164.
- TURAN, V., KHAN, S.A., IQBAL, M., RAMZANI, P.M.A. y FATIMA, M., 2018. Promoting the productivity and quality of brinjal aligned with heavy metals immobilization in a wastewater irrigated heavy metal polluted soil with biochar and chitosan. *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 161, pp. 409-419. ISSN 0147-6513.
- USMAN, A.R.A., AHMAD, M., EL-MAHROUKY, M., AL-OMRAN, A., OK, Y.S., SALLAM, A.S., EL-NAGGAR, A.H. y AL-WABEL, M.I., 2016. Chemically modified biochar produced from conocarpus waste increases NO<sub>3</sub> removal from aqueous solutions. *Environmental geochemistry and health*, vol. 38, no. 2, pp. 511-521. ISSN 1573-2983.
- VÁSQUEZ DIAZ, N.K., 2020. Efecto del carbón activado de semillas de Aguaje (*Mauritia flexuosa* Lf) en la estabilización del Cadmio (Cd) en el suelo y su acumulación en tejidos de plantones de Cacao (*Theobroma cacao* L.). ,
- VOLKE, T., [sin fecha]. Tecnologías de remediación para suelos contaminados/T. Volke Sepúlveda, JA Velasco Trejo. ,
- WANG, Yu-Ying, JI, H.-Y., LYU, H.-H., LIU, Y.-X., HE, L.-L., YOU, L.-C., ZHOU, C.-H. y YANG, S.-M., 2019. Simultaneous alleviation of Sb and Cd availability in contaminated soil and accumulation in *Lolium multiflorum* Lam. After amendment with Fe–Mn-Modified biochar. *Journal of cleaner production*, vol. 231, pp. 556-564. ISSN 0959-6526.
- WANG, Y.-Y., YOU, L.-C., LYU, H.-H., LIU, Y.-X., HE, L.-L., HU, Y.-D., LUO, F.-C. y YANG, S.-M., 2022. Role of biochar–mineral composite amendment on the immobilization of heavy metals for *Brassica chinensis* from naturally contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation* [en línea], vol. 28, pp. 102622. ISSN 2352-1864. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102622>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001845>.
- WANG, Yue, WANG, H.-S., TANG, C.-S., GU, K. y SHI, B., 2019. Remediation of heavy-metal-contaminated soils by biochar: a review. *Environmental*

- Geotechnics*, vol. 9, no. 3, pp. 135-148. ISSN 2051-803X.
- WEBER, K. y QUICKER, P., 2018. Properties of biochar. *Fuel*, vol. 217, pp. 240-261. ISSN 00162361. DOI 10.1016/j.fuel.2017.12.054.
- ZENG, X., XU, H., LU, J., CHEN, Q., LI, W., WU, L., TANG, J. y MA, L., 2020. The immobilization of soil cadmium by the combined amendment of bacteria and hydroxyapatite. *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, pp. 1-8. ISSN 2045-2322.
- ZHU, L., TANG, J., LEE, B., ZHANG, Y. y ZHANG, F., 2010. Lead concentrations and isotopes in aerosols from Xiamen, China. *Marine pollution bulletin*, vol. 60, no. 11, pp. 1946-1955. ISSN 0025-326X.

**ANEXOS**

**Anexo 1** Matriz de consistencia

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>TÉCNICA</b>
¿En qué medida la aplicación del biocarbón de lodos de Piscicultura y PTAR podrá inmovilizar el plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022?	Evaluar en qué medida la aplicación del biocarbón de lodos inmoviliza el plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.	La aplicación de biocarbón de lodos de Piscicultura y PTAR inmoviliza el plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.	<b>Independiente:</b> Biocarbón de lodos	Tipo de biocarbón	Biocarbón de lodos de PTAR Biocarbón de piscicultura	Nominal		
				Tiempo de aplicación	10 20	días		
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS EXPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDAD</b>	Hipotético - Deductivo	Observación experimental
¿Cuál será el efecto del tipo de biocarbón de Piscicultura y PTAR sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022?  ¿Cuál será el efecto del tiempo de aplicación sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022?	Determinar el efecto del tipo de biocarbón sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.  Determinar el efecto del tiempo de aplicación sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.	El tipo de biocarbón de lodos de Piscicultura y PTAR tiene un efecto significativo sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.  El tiempo de aplicación tiene un efecto significativo sobre la inmovilización del plomo del suelo contaminado con plomo del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.	<b>Dependiente:</b> Inmovilización de Plomo	Propiedades Físicas	Granulometria Textura Densidad	% % %		
				Propiedades Químicas	Conductividad electrica Materia Orgánica Ph Capacidad de intercambio catiónico P k Carbonatos	dS/cm % Uni % ppm ppm %		
				Inmovilización de Plomo	Porcentaje de remoción de Plomo	%		

**Anexo 2** Registro fotográfico de la toma de muestra de lodos de Piscicultura y PTAR



**Anexo 3** Registro fotográfico de la toma de muestra de suelo contaminado en AA.HH. Virgen de Guadalupe



25 jul. 2022 11:16:46 a. m.  
Vía sin nombre  
A.h Virgen de Guadalupe  
Ventanilla  
Callao

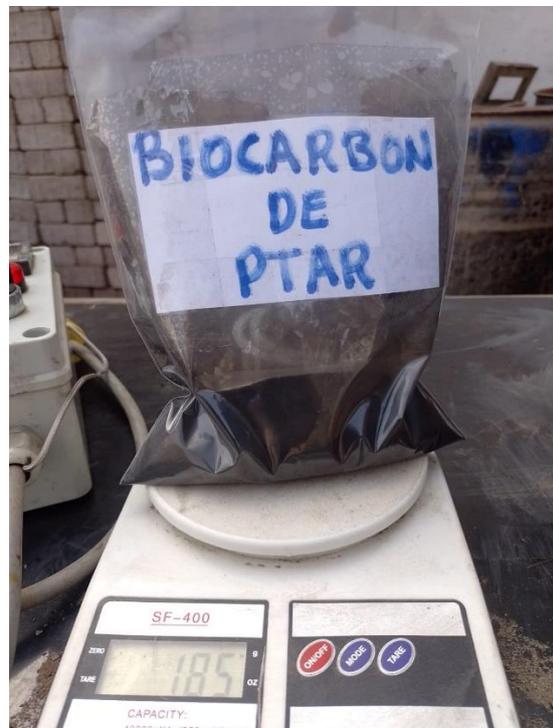


25 jul. 2022 10:38:32 a. m.  
Virgen De Guadalupe  
A.h Virgen de Guadalupe  
Ventanilla  
Callao

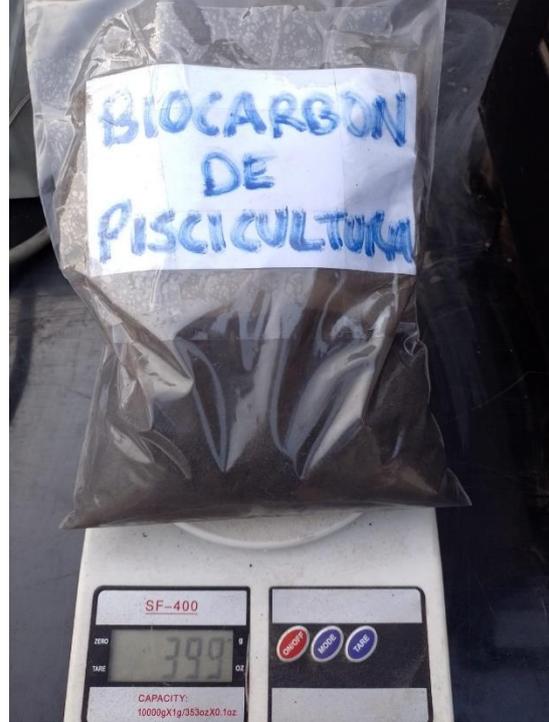
**Anexo 4** Registro fotográfico del proceso de secado de los lodos de piscicultura y PTAR en estufa.



**Anexo 5** Registro fotográfico del proceso de generación de Biocarbón de PTAR mediante proceso de pirolización a una temperatura de 550 °C en horno Pirolítico.



**Anexo 6** Registro fotográfico del proceso de generación de Biocarbón de Piscicultura mediante proceso de pirolización a una temperatura de 550 °C en horno Pirofítico.



**Anexo 7** Registro fotográfico de la mezcla de Biocarbón de PTAR y Piscicultura con suelo contaminado en macetas.



## Anexo 8 Importación de base de datos al Software Design Expert

The screenshot displays the Design Expert software interface. The main window shows a data table with the following columns: Std, Run, Factor 1 (A:Tipo de bioca...), Factor 2 (B:Tiempo de ap... días), and Response 1 (Plomo removido %). The data rows are as follows:

Std	Run	Factor 1 A:Tipo de bioca...	Factor 2 B:Tiempo de ap... días	Response 1 Plomo removido %
7	1	B-Psicultura	20	10.5806
5	2	B-PTAR	10	50.8301
10	3	B-PTAR	20	7.73798
9	4	B-Psicultura	20	9.20205
8	5	B-Psicultura	15	16.0797
1	6	B-Psicultura	10	40.1791
12	7	B-PTAR	20	2.21876
4	8	B-PTAR	10	39.4446
6	9	B-PTAR	20	2.06279
14	10	B-PTAR	15	10.7969
13	11	B-Psicultura	15	12.7641
11	12	B-PTAR	20	4.88026
3	13	B-Psicultura	10	39.027
16	14	B-PTAR	15	11.939
2	15	B-Psicultura	10	39.8672
15	16	B-Psicultura	15	13.9968

The interface also includes a Navigation Pane on the left with sections for Design (Actual), Information, Analysis, Optimization, and Post Analysis. The Design Properties section at the bottom left shows the Run 1 properties, including Comment and Row Status (Normal).

## Anexo 9 Resultados de Análisis de Laboratorio de Caracterización de suelo con Plomo.



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



Registro N° LE - 096

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-15558

N° Id.: 0000059235

#### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : Saúl Aldo Castelo Vega  
2.-DIRECCIÓN : Calle Fernando Wielland #246 Callao Urb. Los Pilares mz f lote 7  
3.-PROYECTO : CARACTERIZACIÓN DE SUELO CON PLOMO, A.A.H.H VIRGEN GUADALUPE  
4.-PROCEDENCIA : NO INDICA  
5.-SOLICITANTE : SAÚL ALDO CASTELO VEGA  
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000004364-2022-0000  
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA  
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE  
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2022-09-16

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Suelos  
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 5  
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2022-09-09  
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2022-09-09 al 2022-09-16

INFORME NO OFICIAL

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

**SEDE PRINCIPAL**  
Av. Guardia Chalaca 1877,  
Bellavista, Callao P (+511)  
7175810 / Anexo 112 Cel.:  
940 598 572  
[www.Alab.com.pe](http://www.Alab.com.pe)

**SEDE AREQUIPA:**  
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR  
P (+073) 616843  
Cel.: 932646642  
[www.Alab.com.pe](http://www.Alab.com.pe)

**SEDE PIURA:**  
Calle Los Ébanos Mz G LT 17 Urb.  
Miraflores II Etapa - Ref. Costado  
del colegio San Ignacio de Loyola. P  
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133  
[www.Alab.com.pe](http://www.Alab.com.pe)

Pág.1 de 4

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-15558**

N° Id.: 0000059235

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales en Suelos ICPOES <sup>(*)</sup>	EPA Method 3050B, Rev. 2,1996/EPA Method 200.7, Rev. 4.4,1994 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: B, Si, SiO2(por calculo) As, Bi, Ce, Li, P, Se, Sn,Sr, Ti, U), 2021.	METALES TOTALES: Ag, Al, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Ti, V, Zn, B, Si, SiO2(por calculo), As, Bi, Ce, Li, P, Se, Sn,Sr, Ti, U). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Solis / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

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

**SEDE PRINCIPAL**  
Av. Guardia Chalaca 1877,  
Bellavista, Callao P (+511)  
7175810 / Anexo 112 Cel.:  
940 598 572  
[www.Alab.com.pe](http://www.Alab.com.pe)**SEDE AREQUIPA:**  
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR  
  
P (+073) 616843  
Cel.: 932646642  
[www.Alab.com.pe](http://www.Alab.com.pe)**SEDE PIURA:**  
Calle Los Ébanos Mz G LT 17 Urb.  
Miraflores II Etapa - Ref. Costado  
del colegio San Ignacio de Loyola. P  
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133  
[www.Alab.com.pe](http://www.Alab.com.pe)

Pág 2 de 4

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-15558**

N° Id.: 0000059235

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-47088	M-22-47089	M-22-47090	M-22-47091			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	N1	N2	N3	N4			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	SUELOS						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	02-08-2022	02-08-2022	02-08-2022	02-08-2022			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
<b>Metales Totales en Suelos ICPOES</b>							
Plomo (*)	mg/Kg MS	1,00	3,00	198,76	4,69	50,63	136,23

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

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

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

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-15558**

N° Id.: 0000059235

<b>ITEM</b>				<b>5</b>
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-47092
CÓDIGO DEL CLIENTE:				N5
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				SUELOS
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				02-08-2022
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>
Metales Totales en Suelos ICPOES				
Plomo (*)	mg/Kg MS	1,00	3,00	69,53

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

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

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

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

# Anexo 10 Resultados de Análisis de Laboratorio del Lodo y Biocarbón de PTAR y Piscicultura



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS  
QUÍMICOS S.A.C. SLAB

## INFORME DE ENSAYO IE-300922-02

### 1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : SAUL ALDO CASTELO VEGA  
1.2 RUC/DNI : 70440773  
1.3 Dirección : No Precisa

### 2. FECHAS

2.1 Inicio : 30 de Septiembre de 2022  
2.2 Fin : 06 de Octubre de 2022  
2.3 Emisión de informe : 07 de Octubre de 2022

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

3.1 Temperatura : 20.0 °C  
3.2 Humedad Relativa : 54.4 %

### 4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1 Ensayo solicitado / Método o Técnica utilizada : Espectroscopia Infrarroja FTIR-ATR / ASTM E1252 Práctica estándar para técnicas generales de obtención de espectros infrarrojos para análisis cualitativo.  
Determinación de Fósforo / Absorción Atómica.

### 5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Tabla N°1: DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-4941	Lodo	MUESTRA DE LODO PISCICULTURA
S-4942	Biocarbón	BICARBON DE PISCICULTURA
S-4943	Biocarbón	BICARBON DE PTAR

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
DIEGO ROMÁN VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**6. RESULTADOS**

**6.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE ESPECTROSCOPIA INFRAROJA (BIOCARBONES)**

- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo - Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 380  $\text{cm}^{-1}$  a 4000  $\text{cm}^{-1}$

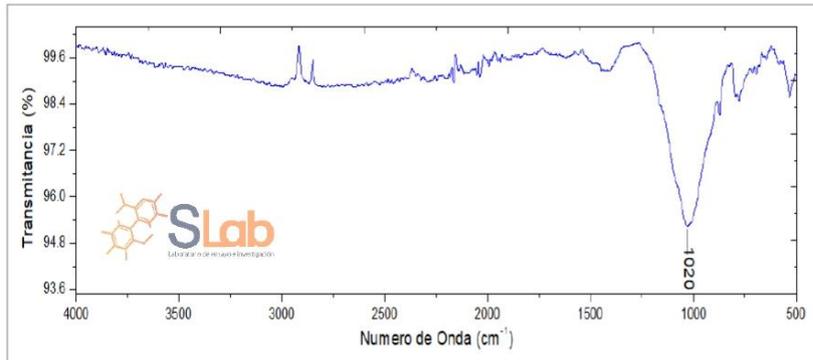


Figura N°1: Espectro Infrarrojo de la muestra S-4942

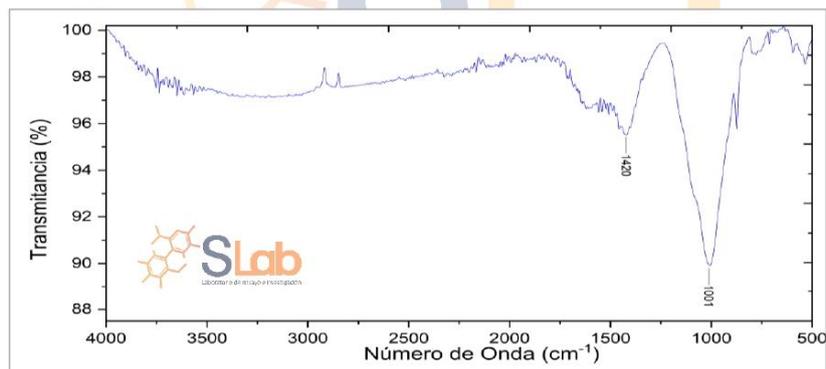


Figura N°2: Espectro Infrarrojo de la muestra S-4943

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
 DIEGO ROMANO VERGARAY FERRERO  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337

## 6.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE FÓSFORO

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Parámetro	UNIDAD	Resultado (S-4941)	Resultado (S-4942)	Resultado (S-4943)
Determinación de Fósforo	%	0.57	1.22	2.73

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

# Anexo 11 Resultados de Análisis de Laboratorio por ensayos físico químico para la determinación de Plomo.



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS  
QUÍMICOS S.A.C. SLAB

## INFORME DE ENSAYO IE-260922-03-01

1. DATOS DEL CLIENTE
  - 1.1 Cliente : SAUL ALDO CASTELO VEGA
  - 1.2 RUC/DNI : 70440773
  - 1.3 Dirección : --
2. FECHAS
  - 2.1 Inicio : 26 de Setiembre de 2022
  - 2.2 Fin : 06 de Octubre de 2022
  - 2.3 Emisión de informe : 07 de Octubre de 2022
3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO
  - 3.1 Temperatura : 20.2 °C
  - 3.2 Humedad Relativa : 55 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA
  - 4.1. ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA
Determinación de Plomo (Pb)	Absorción atómica

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Tabla N° 1: Datos de la Muestra Analizada

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-4958	Suelo	T1 SUELO CON BIOCARBON
S-4959	Suelo	T3 SUELO CON BIOCARBON
S-4960	Suelo	T4 SUELO CON BIOCARBON
S-4961	Suelo	T5 SUELO CON BIOCARBON
S-4962	Suelo	T7 SUELO CON BIOCARBON
S-4963	Suelo	T9 SUELO CON BIOCARBON
S-4964	Suelo	T12 SUELO CON BIOCARBON

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
DIEGO ROMÁN VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**6. RESULTADOS**

**6.1. Resultados Obtenidos**

**Tabla N°2: Resultados Fisicoquímicos**

Código Interno de Muestra	Parámetro	Unidad	Método de ensayo	Resultados
S-4958	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	177.73
S-4959	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	183.38
S-4960	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	180.47
S-4961	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	166.80
S-4962	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	194.35
S-4963	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	194.66
S-4964	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	189.06

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



**DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO**  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**INFORME DE ENSAYO  
IE-300922-03**

1. **DATOS DEL CLIENTE**
  - 1.1 Cliente : SAUL ALDO CASTELO VEGA
  - 1.2 RUC/DNI : 70440773
  - 1.3 Dirección : --
2. **FECHAS**
  - 2.1 Inicio : 30 de Septiembre de 2022
  - 2.2 Fin : 06 de Octubre de 2022
  - 2.3 Emisión de informe : 07 de Octubre de 2022
3. **CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**
  - 3.1 Temperatura : 20.2 °C
  - 3.2 Humedad Relativa : 55 %

4. **ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**
  - 4.1. **ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS**

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA
Determinación de Plomo (Pb)	Absorción atómica

5. **DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Tabla N°1: Datos de la Muestra Analizada

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-4944	Suelo	T 10 SUELO CON BICARBON
S-4945	Suelo	T 11 SUELO CON BICARBON
S-4946	Suelo	T 14 SUELO CON BICARBON
S-4947	Suelo	T 16 SUELO CON BICARBON

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
**DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO**  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1. Resultados Obtenidos

Tabla N°2: Resultados Fisicoquímicos

Código Interno de Muestra	Parámetro	Unidad	Método de ensayo	Resultados
S-4944	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	177.30
S-4945	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	173.39
S-4946	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	175.03
S-4947	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	170.94

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



  
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**INFORME DE ENSAYO**  
**IE-031022-04**

1. **DATOS DEL CLIENTE**
  - 1.1 Cliente : SAUL ALDO CASTELO VEGA
  - 1.2 RUC/DNI : 70440773
  - 1.3 Dirección : --
2. **FECHAS**
  - 2.1 Inicio : 03 de Octubre de 2022
  - 2.2 Fin : 06 de Octubre de 2022
  - 2.3 Emisión de informe : 06 de Octubre de 2022
3. **CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**
  - 3.1 Temperatura : 20.2 °C
  - 3.2 Humedad Relativa : 52 %

4. **ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**
  - 4.1. **ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS**

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA
Determinación de Plomo (Pb)	Absorción atómica

5. **DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Tabla N°1: Datos de la Muestra Analizada

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-4909	Suelo	Tratamiento 2_ B-PTAR Muestra de suelo combinado con Biocarbón
S-4910	Suelo	Tratamiento 6_ B-Piscicultura Muestra de suelo combinado con Biocarbón
S-4911	Suelo	Tratamiento 8_ B-PTAR Muestra de suelo combinado con Biocarbón
S-4912	Suelo	Tratamiento 13_ B-Piscicultura Muestra de suelo combinado con Biocarbón
S-4913	Suelo	Tratamiento 15_ B-Piscicultura Muestra de suelo combinado con Biocarbón

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



**DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO**  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**6. RESULTADOS**

**6.1. Resultados Obtenidos**

**Tabla N°2: Resultados Físicoquímicos**

Código Interno de Muestra	Parámetro	Unidad	Método de ensayo	Resultados
S-4909	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	97.73
S-4910	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	118.90
S-4911	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	120.36
S-4912	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	121.19
S-4913	Plomo, Pb	mg/Kg	Absorción atómica	119.52

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337