



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**RECUPERACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO POR
PLOMO, A PARTIR DE BIOCHAR DE BAGAZO DE CAÑA
DE AZÚCAR, EN EL CANTÓN CAMILO PONCE
ENRÍQUEZ**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA: MERY PAOLA PAGUAY ROMERO

DIRECTOR: DR. SERGIO FERNANDO IGLESIAS ABAD PH.D

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

RECUPERACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO POR PLOMO, A
PARTIR DE BIOCHAR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, EN EL
CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA: MERY PAOLA PAGUAY ROMERO

DIRECTOR: DR. SERGIO FERNANDO IGLESIAS ABAD PH.D

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Mery Paola Paguay Romero, portadora de la cédula de ciudadanía N° 0106728579. Declaro ser la autora de la obra: "Recuperación del suelo contaminado por plomo, a partir de biochar de bagazo de caña de azúcar, en el cantón Camilo Ponce Enríquez", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada, cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 09 de mayo de 2023

F: 

Mery Paola Paguay Romero

0106728579

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mery Paola Paguay Romero, bajo mi supervisión.



Sergio Fernando Iglesias Abad

DIRECTOR

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a:

Mis padres Mariela y Walter, quienes fueron mis pilares fundamentales, que; con amor, esfuerzo y paciencia, me ayudaron a cumplir este gran sueño de ser ingeniera ambiental. Gracias por apoyarme en las adversidades y recordarme en cada caída, que, con Dios y esfuerzo, todo es posible.

Mi hermana Gisela, por apoyarme y recordarme que todo en esta vida es posible cuando se pone empeño y dedicación.

Y finalizo dedicando este trabajo de titulación, a mis profesores que me enseñaron el valor de aprendizaje; a mis compañeros y amigos, por extenderme su mano cuando más lo necesitaba y el gran cariño que me han brindado cada día, durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS

“¡Ten confianza en el Señor! ¡Ten valor, no te desanimas! ¡Sí, ten confianza en el Señor!”

Salmos 27:14

En primera instancia, agradezco a Dios por guiarme, protegerme y darme fuerzas para salir adelante y cumplir este gran sueño.

En segunda, quiero dar las gracias a mis padres, quienes, con su apoyo y amor, hicieron todo lo posible para verme triunfar y ser una gran profesional. También quiero agradecer a la Dirección de Carrera de Ingeniería Ambiental, a mi tutor y a mis queridos profesores, quienes han sido para mí, una luz en la oscuridad y gracias a ellos, aprendí y mejoré mis conocimientos y hoy cumplo mi sueño de ser una gran ingeniera.

Finalmente, quiero agradecer a mis compañeros y amigos, por compartir momentos inolvidables: risas, enojos, llantos, pero sobretodo; encontrar grandes personas de calidad humana.

RESUMEN

Esta investigación se realizó, en la vía San Gerardo de Chaupitranca - Barranco Colorado, perteneciente al cantón Camilo Ponce Enríquez, como consecuencia del derrame de relaves mineros.

En la zona de estudio, se tomó una muestra de suelo, por cada margen de la vía. Se determinó la concentración del plomo de 80.33 mg/kg al lado izquierdo y 58.76 mg/kg al lado derecho. El límite máximo permitido para suelo agrícola, es de 60 mg/kg, vigente actualmente en el COA (Código Orgánico del Ambiente). También se analizaron las propiedades físico-químicas más importantes del suelo (pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica), para conocer su línea base.

Además, se realizó biochar de bagazo de caña de azúcar y se determinó sus propiedades físico-químicas más importantes. Respecto al diseño de los tratamientos, se colocó 3 kg de suelo, más sus dosis respectivas de biochar (10 %, 30 % y 50 %) y una muestra control (0 %), cada uno 4 con repeticiones, con el fin de determinar la disminución de plomo, mediante el proceso de adsorción del biochar. Las muestras fueron analizadas a los 30 y 60 días respectivamente.

Al comparar los tratamientos con la muestra testigo, se deduce que, el tratamiento MT3 con dosis de biochar al 50 %, al transcurrir 60 días, presentó una disminución del 86.27 %, esto indica que, a mayor tiempo y mayor cantidad de biochar que se añada al suelo, mayor es la adsorción de plomo.

Palabras clave: biochar, plomo, suelo, recuperación, bagazo de caña de azúcar.

ABSTRACT

This investigation was conducted on the San Gerardo de Chaupitranca - Barranco Colorado road, belonging to the Camilo Ponce Enríquez canton, due to the mine tailings spill.

A soil sample was taken from each side of the road in the study area. The lead concentration was determined to be 80.33 mg/kg on the left side and 58.76 mg/kg on the right side. The maximum allowable limit for agricultural soil is 60 mg/kg, currently in force in the Organic Code on the Environment (COA by its Spanish acronym). The essential physical-chemical properties of the soil (pH, organic matter, cation exchange capacity, and electrical conductivity) were also analyzed to determine its baseline.

In addition, sugarcane bagasse biochar was prepared, and its most critical physicochemical properties were determined. Regarding the design of the treatments, 3 kg of soil plus their respective doses of biochar (10%, 30%, and 50%) and a control sample (0%) were placed, each one with four replicates to determine the decrease of lead through the adsorption process of the biochar. The samples were analyzed at 30 and 60 days, respectively.

When comparing the treatments with the control sample, it is deduced that the MT3 treatment with a 50% dose of biochar, after 60 days, showed a decrease of 86.27%, which indicates that the longer the time and the greater the amount of biochar added to the soil, the greater the adsorption of lead.

Keywords: biochar, lead, soil, recovery, sugar cane bagasse.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABLAS	XIII
LISTA DE ANEXOS	XV
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	- 2 -
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	- 3 -
1.3 JUSTIFICACIÓN	- 3 -
1.4 OBJETIVOS	- 5 -
1.4.1 GENERAL	- 5 -
1.4.2 ESPECÍFICOS	- 5 -
CAPÍTULO II	- 6 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA	- 6 -
2.1. SUELO	- 6 -
2.1.1. DEFINICIÓN DE SUELO.	- 6 -
2.1.2. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO.	- 6 -
A. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	- 6 -
B. MATERIA ORGÁNICA	- 6 -
C. PH	- 6 -
D. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)	- 7 -
2.1.3. CONTAMINACIÓN DEL SUELO	- 7 -
2.1.4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO Y SALUD HUMANA	- 7 -
2.2. PLOMO	- 8 -
2.2.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR PLOMO	- 8 -
2.2.2. CONSECUENCIAS DE PLOMO EN LA SALUD	- 9 -
2.3. MINERÍA	- 9 -
2.3.1. MINERÍA ILEGAL	- 10 -
2.3.2. MINERÍA EN EL ECUADOR.	- 10 -
2.3.3. CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ.	- 11 -
A. CLIMA	- 11 -
B. PRECIPITACIÓN	- 11 -
C. TEMPERATURA	- 11 -
D. USO DE SUELO	- 11 -
2.3.4. MINERÍA EN EL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ	- 11 -
2.4. RECUPERACIÓN DEL SUELO	- 12 -
2.4.1. RECUPERACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO POR PLOMO	- 12 -
2.5. BIOCARBÓN (BIOCHAR)	- 12 -

2.5.1.	DEFINICIÓN.	- 12 -
2.5.2.	COMPOSICIÓN DEL BIOCHAR.	- 12 -
2.5.3.	PROPIEDADES FÍSICAS DEL BIOCHAR.	- 13 -
2.5.4.	DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS.	- 13 -
2.5.5.	ADSORCIÓN DEL BIOCHAR EN METALES PESADOS	- 13 -
A.	ADSORCIÓN DE PLOMO (Pb)	- 14 -
2.5.6.	OBTENCIÓN DE BIOCHAR: PIRÓLISIS.	- 14 -
A.	PIRÓLISIS LENTA.	- 15 -
B.	PIRÓLISIS RÁPIDA.	- 15 -
2.6.	BIOMASA	- 15 -
2.6.1.	BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.	- 16 -
A.	ESTRUCTURA FÍSICA DEL BAGAZO DE LA CAÑA	- 16 -
B.	ESTRUCTURA QUÍMICA DEL BAGAZO DE CAÑA	- 16 -
I.	LIGNINA	- 17 -
II.	CELULOSA	- 17 -
III.	HEMICELULOSA	- 17 -
2.1.	VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA CRITERIOS DE REMEDIACIÓN	- 17 -
2.1.	MARCO LEGAL	- 17 -
CAPÍTULO III		- 19 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS		- 19 -
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO	- 19 -
3.1.	TOMA DE MUESTRAS DE SUELO	- 20 -
3.2.	GEOLOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	- 20 -
3.2.1.	MATERIALES USADOS EN LA TOMA DE MUESTRAS DE SUELO	- 21 -
3.2.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	- 21 -
A.	POBLACIÓN	- 21 -
B.	MUESTRA	- 21 -
3.3.	PROCESAMIENTO DE MUESTRAS DE SUELO	- 21 -
3.4.	ELABORACIÓN DEL HORNO DE PIRÓLISIS	- 22 -
3.5.	ELABORACIÓN DE BIOCHAR, MEDIANTE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	- 23 -
3.5.1.	RECOLECCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL	- 23 -
3.5.2.	SECADO DEL RESIDUO	- 23 -
3.5.3.	PIRÓLISIS	- 23 -
3.5.4.	ENFRIAMIENTO DEL PRODUCTO	- 24 -
3.5.5.	TRITURACIÓN O MOLIDO DEL PRODUCTO	- 24 -
3.6.	PROCESAMIENTO DE BIOCHAR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	- 24 -
3.7.	ELABORACIÓN DE TRATAMIENTOS PARA APLICACIÓN DE BIOCHAR	- 25 -
3.8.	APLICACIÓN DE BIOCHAR AL SUELO CONTAMINADO	- 25 -
3.8.1.	PRIMERA APLICACIÓN:	- 25 -
3.8.2.	SEGUNDA APLICACIÓN:	- 26 -
3.8.3.	TERCERA APLICACIÓN:	- 26 -
3.8.4.	CUARTA APLICACIÓN:	- 27 -
3.9.	DISEÑO EXPERIMENTAL	- 28 -
3.10.	TIEMPO DE APLICACIÓN	- 29 -
3.11.	ENVÍO DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS AL LABORATORIO	- 29 -
3.12.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	- 29 -
CAPÍTULO IV		- 30 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		- 30 -
4.1	CONCENTRACIÓN INICIAL DEL PLOMO (Pb)	- 30 -
4.2	ANÁLISIS INICIAL DEL SUELO CONTAMINADO POR PLOMO	- 31 -

4.3	OBTENCIÓN DEL BIOCHAR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR DE AZÚCAR _____	- 31 -
4.4	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE BIOCHAR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR _____	- 32 -
4.5	RESULTADOS DE LABORATORIO, DESPUÉS DE 30 DÍAS DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR AL SUELO - 33 -	
4.6	CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO, POSTERIOR A LOS 30 DÍAS DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR _____	- 34 -
4.7	RESULTADOS FINALES DE LA CONCENTRACIÓN DEL PLOMO, A LOS 30 DÍAS DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR AL SUELO CONTAMINADO _____	- 36 -
4.8	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO, DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO DEL SUELO, CON LAS RESPECTIVAS DOSIS DE BIOCHAR, A LOS 60 DÍAS DE SU APLICACIÓN. _____	- 37 -
4.9	RESULTADOS FINALES DE LA CONCENTRACIÓN DEL PLOMO, A LOS 60 DÍAS DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR, AL SUELO CONTAMINADO. _____	- 40 -
4.10	RESULTADOS FINALES, A LOS 30 Y 60 DÍAS DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR, CON SUS DOSIS RESPECTIVAS _____	- 41 -
4.11	ADSORCIÓN DE Pb _____	- 42 -
4.11.1	<i>Adsorción de Plomo en el suelo contaminado</i> _____	- 43 -
4.11.2	<i>Propiedades químicas y físicas del suelo después de 30 y 60 días de aplicación de las dosis respectivas por cada tratamiento</i> _____	- 45 -
4.11.2.1.	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i> _____	- 45 -
4.11.2.2.	<i>Materia Orgánica (MO)</i> _____	- 48 -
4.11.2.3.	<i>Conductividad Eléctrica</i> _____	- 50 -
4.11.2.4.	<i>Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)</i> _____	- 52 -
CAPÍTULO V _____		- 55 -
5. CONCLUSIONES _____		- 55 -
CAPÍTULO VI _____		- 56 -
6. RECOMENDACIONES _____		- 56 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____		- 57 -
ANEXOS _____		- 63 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala del pH _____	- 7 -
Figura 2. Estructura química del bagazo _____	- 16 -
Figura 3. Ubicación de la zona de estudio _____	- 19 -
Figura 4. Geolocalización de los puntos de muestreo en cada margen de la vía de estudio ____	- 20 -
Figura 5. Esquema del horno pirolítico _____	- 22 -
Figura 6. Pesaje de los 3000 g de suelo _____	- 25 -
Figura 7. Pesaje de 300 g de biochar _____	- 26 -
Figura 8. Pesaje de 900 g de biochar _____	- 27 -
Figura 9. Pesaje de 1500 g de biochar _____	- 27 -
Figura 10. Diseño experimental de los respectivos tratamientos _____	- 28 -
Figura 11. Concentración de plomo a los 30 días de aplicación de biochar al 10 % _____	- 34 -
Figura 12. Concentración de plomo a los 30 días de la aplicación de biochar al 30 % _____	- 35 -
Figura 13. Concentración de plomo, a los 30 días de ser aplicado el biochar al 50% _____	- 36 -
Figura 14. Resultados de la disminución de Pb, 30 días después de la aplicación de biochar	- 37 -
Figura 15. Concentración de plomo a los 60 días de la aplicación de biochar al 10 % _____	- 38 -
Figura 16. Concentración de plomo, después de 60 días de aplicar biochar al 30 % _____	- 39 -
Figura 17. Concentración de plomo a los 60 días de la aplicación de biochar al 10 % _____	- 40 -
Figura 18. Resultados de la disminución de Pb, 60 días después de la aplicación de biochar	- 41 -
Figura 19. Resultados finales de la concentración de Pb respecto a la MTE _____	- 42 -
Figura 20. Porcentaje de plomo adsorbido en el suelo de todos los tratamientos, con sus dosis respectivas _____	- 43 -
Figura 21. Variación del pH _____	- 46 -
Figura 22. Materia Orgánica (MO) _____	- 49 -
Figura 23. Conductividad Eléctrica (CE) _____	- 51 -
Figura 24. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) _____	- 53 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estructura química de biomasas _____	- 16 -
Tabla 2. Criterios de la calidad del suelo (valores máximos permitidos) _____	- 17 -
Tabla 3. Profundidad para el muestreo según el uso del suelo _____	- 20 -
Tabla 4. Geolocalización de los puntos de muestreo de los márgenes de la vía _____	- 20 -
Tabla 5. Materiales usados en la toma de muestras _____	- 21 -
Tabla 6. Metodología usada para la determinación de parámetros físicos y químicos del suelo. _____	- 22 -
-	
Tabla 7. Metodologías usadas en el laboratorio para análisis de biochar _____	- 24 -
Tabla 8. Tabla resumen de cada tratamiento elaborado, con sus respectivas repeticiones _____	- 28 -
Tabla 9. Concentración inicial de Pb, de los márgenes, izquierdo y derecho de la vía _____	- 30 -
Tabla 10. Criterios para Remediación de Suelos Contaminados, según el Anexo 2 del libro VI, del TULSMA _____	- 30 -
Tabla 11. Resultados del análisis de los parámetros físico - químicos del suelo _____	- 31 -
Tabla 12. Resultados de la producción de biochar de bagazo de caña de azúcar _____	- 32 -
Tabla 13. Resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas del biochar _____	- 32 -
Tabla 14. Parámetros físico - químicos del suelo, con 10 % de biochar _____	- 33 -
Tabla 15. Parámetros físico - químicos del suelo, con 30 % de biochar _____	- 33 -
Tabla 16. Parámetros físicos - químicos del suelo, con 50 % de biochar _____	- 33 -
Tabla 17. Tratamiento 1: Concentración de plomo del suelo con 10 % de biochar, a los 30 días de su aplicación _____	- 34 -
Tabla 18. Tratamiento 2: Concentración de plomo en el suelo con 30 % de biochar, 30 días después de su aplicación _____	- 35 -
Tabla 19. Tratamiento 3: Concentración de plomo del suelo con 50 % de biochar, después de 30 días de su aplicación _____	- 35 -
Tabla 20. Resumen de la disminución del Pb, a los 30 días de ser aplicado el biochar en distintas dosis _____	- 36 -
Tabla 21. Tratamiento 1: Concentración de plomo del suelo, con 10 % de biochar, después de 60 días de ser aplicado _____	- 37 -
Tabla 22. Tratamiento 2: Concentración del plomo en el suelo, con 30 % de biochar, a los 60 días de su aplicación _____	- 38 -
Tabla 23. Tratamiento 3: Concentración de plomo del suelo, con 50 % de biochar, a los 60 días de su aplicación _____	- 39 -
Tabla 24. Disminución de plomo, después de 60 días de la aplicación de las distintas dosis del biochar al suelo _____	- 40 -
Tabla 25. Tabla resumen de los resultados finales, a los 30 y 60 días de la aplicación de biochar, con sus dosis respectivas _____	- 41 -
Tabla 26. Porcentaje de Pb adsorbido en el suelo _____	- 43 -
Tabla 27. Resultados del pH a los 30 y 60 días de aplicar el 10 % de biochar en el suelo _____	- 45 -
Tabla 28. Resultados del pH del suelo después de 30 y 60 días de la aplicación del 30 % de biochar _____	- 45 -
Tabla 29. Resultados del pH del suelo después de 30 y 60 días de la aplicación del 50 % de biochar _____	- 46 -
Tabla 30. Resumen del pH a los 30 y 60 días con respecto a la muestra testigo (MTE) _____	- 46 -
Tabla 31. Resultados de MO del suelo, después de 30 y 60 días de la aplicación de biochar al 10% _____	- 48 -
Tabla 32. Resultados de la MO del suelo, después de 30 días de la aplicación de biochar al 30 % _____	48 -
Tabla 33. Resultados de la MO del suelo, después de 30 días de la aplicación del 50 % de biochar de bagazo de caña de azúcar _____	- 48 -
Tabla 34. Tabla resumen de la MO, a los 30 y 60 días, con respecto a la muestra testigo (MTE) _____	- 49 -

Tabla 35. Conductividad eléctrica, 30 y 60 días después de aplicar biochar al suelo, en un 10 %_	-
50 -	
Tabla 36. Conductividad eléctrica, 30 y 60 días después de aplicar biochar al suelo, en un 30 %_	-
50 -	
Tabla 37. Conductividad eléctrica, 30 y 60 días después de aplicar biochar al suelo, en un 50 %_	-
50 -	
Tabla 38. Tabla Resumen de la CE, a los 30 y 60 días, respecto a la muestra testigo (MTE) _	- 51 -
Tabla 39. CIC del suelo, después de 30 y 60 días de aplicar biochar al 10% en el suelo _____	- 52 -
Tabla 40. Resultados de la CIC del suelo, después de 30 y 60 días de aplicar biochar al 30% en el suelo _____	- 52 -
Tabla 41. Resultados de la CIC del suelo, después de 30 y 60 días de aplicar biochar al 50% en el suelo _____	- 53 -
Tabla 42. Tabla resumen de la CIC, a los 30 y 60 días, respecto a la muestra testigo (MTE) _	- 53 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Distrito Minero Aurífero San Gerardo _____	- 63 -
Anexo 2. Recolección de suelo contaminado por plomo _____	- 63 -
Anexo 3. Vía San Gerardo – Chaupitranca Barranco Colorado _____	- 63 -
Anexo 4. Camiones transportadores de relaves mineros _____	- 64 -
Anexo 5. Plantaciones de cacao cercanas a la zona de estudio _____	- 64 -
Anexo 6. Recolección de bagazo de caña de azúcar _____	- 64 -
Anexo 7. Bagazo de caña de azúcar _____	- 64 -
Anexo 8. Secado al sol del bagazo de caña de azúcar _____	- 65 -
Anexo 9. Chimenea del horno _____	- 65 -
Anexo 10. Reactor de pirolisis _____	- 65 -
Anexo 11. Cilindro de combustión _____	- 65 -
Anexo 12. Horno de pirolisis _____	- 66 -
Anexo 13. Llenado del reactor de pirólisis con el bagazo de caña de azúcar _____	- 66 -
Anexo 14. Colocación del reactor en el horno de pirólisis _____	- 66 -
Anexo 15. Llenado del horno con leña _____	- 67 -
Anexo 16. Extracción del biochar de bagazo de caña _____	- 67 -
Anexo 17. Biochar de bagazo de caña de azúcar _____	- 67 -
Anexo 18. Balanza digital y maceta _____	- 68 -
Anexo 19. Pesaje del suelo a partir de una maceta y una balanza digital. _____	- 68 -
Anexo 20. Trituración del biochar _____	- 68 -
Anexo 21. Pesaje de 3 kg de suelo (3000 g) _____	- 69 -
Anexo 22. Pesaje de 0.3 kg de biochar (300 g) _____	- 69 -
Anexo 23. Pesaje de 3 kg de suelo (3000 g) _____	- 69 -
Anexo 24. Pesaje de 0.9 kg de biochar (900 g) _____	- 70 -
Anexo 25. Mezcla de biochar con suelo _____	- 70 -
Anexo 26. Pesaje de 3 kg de suelo (3000 g) _____	- 70 -
Anexo 27. Pesaje de 1.5 kg de biochar (1500 g) _____	- 71 -
Anexo 28. Suelo y biochar pesados _____	- 71 -
Anexo 29. Mezcla de biochar con el suelo _____	- 71 -
Anexo 30. Tratamientos _____	- 72 -
Anexo 31. Tratamientos con sus respectivas etiquetas _____	- 72 -
Anexo 32. Remoción de cada tratamiento _____	- 72 -
Anexo 33. Tratamiento 1: Pesaje de 125 g por cada maceta _____	- 73 -
Anexo 34. Tratamiento 1: 500 g de suelo con biochar en funda Ziploc _____	- 73 -
Anexo 35. Tratamiento 2: Pesaje de 125 g por cada maceta _____	- 73 -
Anexo 36. Tratamiento 2: 500 g de suelo con biochar en funda Ziploc _____	- 74 -
Anexo 37. Tratamiento 3. Pesaje de 125 g por cada maceta _____	- 74 -
Anexo 38. Tratamiento 3. 500 g de suelo con biochar en funda Ziploc. _____	- 74 -
Anexo 39. Resultados de análisis de laboratorio _____	- 75 -
Anexo 40. Resultados de análisis de laboratorio _____	- 76 -
Anexo 41. Resultados de análisis de laboratorio _____	- 77 -
Anexo 42. Resultados de análisis de Laboratorios Bionika _____	- 78 -
Anexo 43. Resultados de análisis de Laboratorios Bionika _____	- 79 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo es una situación alarmante, que se ha visto afectado por causas como: el incremento demográfico, el calentamiento global y la actividad antropogénica. El hombre realiza actividades como: expansión de la frontera agrícola, agroindustrial, ganadería, deforestación, actividad petrolera y minera, incidiendo de manera directa en los diferentes usos, aplicados al suelo como: en el sector minero y agroindustrial, el cual, al realizarse en sitios pequeños, provocan una degradación fuerte en el recurso suelo (Geoecuador, 2008).

La actividad antrópica que predomina en el cantón Camilo Ponce Enríquez, es la minería, debido a que existen metales con gran validez, encontrados en sus yacimientos; sin embargo, cuando se transportan los relaves mineros, son derramados al suelo, causando la migración de contaminantes sin ninguna o poca intención, siendo el origen principal de la contaminación del suelo. Según un estudio realizado por Ampuero (2017); en un punto de la zona de estudio, se presenció en el momento que se transportaban relaves minero metalúrgicos, un derrame con alta presencia de metales tóxicos, motivo por el cual, realizó un análisis del suelo, con la finalidad de conocer el nivel de concentración de plomo (Pb), concluyendo que, éste se encontraba contaminado, excediendo los límites máximos, que permite la norma ecuatoriana ambiental del TULSMA (Anexo 2), vigente en el COA.

Es importante mencionar que, el plomo, al ser un metal tóxico, provoca una gran contaminación, tanto en la naturaleza como en la salud humana, principalmente en niños y mujeres en edad fértil.

Para la elaboración del biochar, se usó biomasa residual de bagazo de caña de azúcar, mismo, que cuando es quemado o desechado, en zonas donde su descomposición libera tóxicos como: óxido de nitrógeno, metano, monóxido de carbono, entre otros, que provocan graves daños en el medio y afecciones en la salud del hombre. Su causa principal, es por el desconocimiento del manejo de este desecho, El bagazo puede ser usado para elaborar biochar, ya que, según varios estudios, es una enmienda orgánica que ayuda a la mejora de la producción de cultivos y a la adsorción de metales como el plomo, disminuyendo su disponibilidad y toxicidad en los suelos ambientalmente.

Debido a este gran problema ambiental, que causa la minería en el suelo y el mal manejo de residuo de bagazo de caña, se propone este tema investigativo, con el objetivo

de comprobar, que el biochar de bagazo de caña, ayuda a reducir la concentración de Pb en el suelo estudiado. Se hizo un análisis de laboratorio, para conocer su concentración antes y posterior al aplicar biochar, a partir de muestras de suelo, recogidas del área de estudio.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A pesar de que existen muchos procedimientos para remediar suelos que se encuentran contaminados por metales, en la actualidad, se ven afectados los suelos en Ecuador, debido a la mala gestión de medios contaminantes para su cuidado. El suelo, recepta gran parte de los desechos que genera la humanidad (Bonilla, 2015). Estos desechos se generan de fuentes procedentes de: la actividad agrícola, minerías, derrames, industrias, quema de combustibles, entre otras, provocando la contaminación del suelo (Panéz-Delgado, 2017).

La minería es una actividad antropogénica, que provoca problemas de carácter: ambiental, social, cultural y económico, por la carencia de control en la industria minera, en el incumplimiento de normas y en la inadecuada gestión de residuos. Esto ha provocado, una gran preocupación por el fuerte impacto ambiental, poniendo en peligro, la salud de las personas, que viven cerca de las zonas en la que se practica esta actividad, provocando la contaminación del suelo (Latorre & Tovar, 2017).

El plomo, metal tóxico que, al exponerse un individuo, incluso en niveles bajos, puede causar problemas dañinos para la salud, pudiendo provocar la muerte. Las personas más vulnerables a los daños neurotóxicos del plomo son principalmente adultos mayores y niños, en los cuales provoca, graves dificultades a lo largo de la vida. En los adultos aparecen enfermedades cardiovasculares, de manera generalmente, asintomática. Al relacionar dosis y respuesta del plomo respecto a su toxicidad, hay una diferencia significativa sobre los síntomas que aparecen, tanto en niños como en adultos (OMS, 2022). El plomo tiene una estimación de exposición del 0.6 % de la carga de morbilidad a nivel mundial, con la carga más alta en las regiones en desarrollo. (WHO, 2017).

El sector agroindustrial ha impulsado el progreso: ambiental, social y económico, con la condición de que se conserve y proteja el ambiente y a la vez haya una estabilidad en todos los procesos de la actividad que se realice. Sin embargo, el mal manejo de los desechos que se generan en la agroindustria, causa alteraciones al ambiente. Al aprovechar estos desechos, se brinda una propuesta a las distintas problemáticas que se presentan en el ambiente, ayudando a reducir la utilización de recursos naturales (Vargas-Corredor & Pérez-Pérez, 2018). Las agroindustrias, debido a la falta de conciencia sobre

su cuidado, generan problemas ambientales severos. El 46 % de estas empresas, no gestionan adecuadamente sus desechos (MINSAL, 2017).

La cantidad excesiva de bagazo de caña en el Ecuador, se ha vuelto un problema en ciertas zonas, como en el cantón la Troncal, lo cual contamina considerablemente los recursos de la naturaleza, por su disposición final. Muchas familias campesinas, debido a la falta de conocimiento, proceden a quemar o dejar el bagazo en un lugar adecuado para su descomposición, liberando tóxicos como: óxido de nitrógeno, metano y monóxido de carbono causando afecciones al medio y a los seres vivos. Uno de los problemas fundamentales, es la carencia de capacitación para el manejo de este desecho, el cual puede ser usado como materia prima, para la obtención de biochar, visto ambientalmente, como enmienda orgánica, para remediar un suelo contaminado (Villacis, 2019).

Tanto la agroindustria como la minería, son actividades que provocan el deterioro del suelo; motivo por el cual, se planteó este tema de investigación, con el propósito de valorar el efecto del biochar, en la zona contaminada.

1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Esta investigación, se basó en la utilización de diferentes dosis de biochar de bagazo de caña, aplicadas a muestras de suelo contaminadas por Pb; las mismas que fueron recolectadas, en el área estudiada, para su posterior análisis.

En la zona de estudio se presencié un derrame de relaves mineros con alta presencia, de metales tóxicos, mientras se transportaban; motivo por el cual, el autor Ampuero, Jaime. (2017), realizó un estudio y se comprobó la contaminación por plomo en el lugar. Basándose en este estudio, se presentó este tema de investigación.

La aplicación de biochar de bagazo de caña, es una alternativa amigable con el ambiente, ya que se aprovecha este residuo como materia prima y a la vez, al aplicar en suelos contaminados por plomo, puede ayudar a reducir su concentración, según varios estudios realizados.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo investigativo, presenta una propuesta de solución desde un punto de vista ambiental, mediante la aplicación de biochar, elaborado de biomasa residual de bagazo de caña, para la recuperación de suelos contaminados por Pb, en la zona de estudio.

El plomo, al ser un metal pesado muy tóxico, contamina el aire, agua y suelo. Cuando este metal se acumula en el suelo, puede provocar una degradación. Según la PAHO (Organización Panamericana de la Salud), el 95% de plomo que se halla en el ambiente, es generado por el hombre (ATSDR, 2020). El plomo es un tóxico, que puede causar un gran riesgo en la salud de las personas. (Guartantanga & Sigüencia, 2019).

La contaminación del suelo, en la actualidad, es considerado un problema de primer orden. El suelo es un recurso que no puede ser renovado, por lo tanto, debe ser cuidado y preservado, sin embargo, debido a la actividad antropogénica, este recurso ha sido contaminado sin consideración alguna (Moreno, 2018).

El biochar tiene parámetros físicos y químicos muy importantes que permite la adsorción de metales (ej.: el plomo), reduciendo la biodisponibilidad y su toxicidad en el suelo. Una solución a los inconvenientes de un suelo contaminado, es el biochar, debido a su gran capacidad de la retención de los metales, inmovilización e inhibición de diversos metales pesados, lo cual reducirá la acumulación de contaminantes tóxicos en los suelos (Panéz-Delgado, 2017).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

- a. Evaluar el efecto de biochar obtenido de bagazo de caña de azúcar, en la recuperación de suelos contaminados por plomo, en un tramo de la vía San Gerardo de Chaupitranca – Barranco Colorado del cantón Camilo Ponce Enríquez durante el mes de noviembre de 2021.

1.4.2 ESPECÍFICOS

- a. Determinar las características fisicoquímicas del biochar obtenido, mediante biomasa residual de bagazo de caña de azúcar.
- b. Medir el efecto de 3 dosis de biochar sobre la concentración de plomo, en suelos provenientes del área de estudio.
- c. Comparar los resultados de las propiedades fisicoquímicas del suelo, obtenidos antes y después de la aplicación de biochar en el suelo, a los 30 y 60 días respectivamente.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Suelo

2.1.1. Definición de suelo.

Natural Resources Conservation Service (2006), define al suelo como: “Un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que se encuentra en la superficie de la tierra; ocupa espacio y se caracteriza por tener horizontes o capas, como resultado de: adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o la capacidad de sustentar plantas enraizadas en un entorno natural”.

2.1.2. Parámetros físicos y químicos del suelo.

Los parámetros físicos y químicos del suelo más importantes y que se analizaron en el presente estudio son:

a. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) se expresa como, la capacidad que tiene un material, para transferir una corriente eléctrica; su unidad es, miliSiemens por cada metro (mS/m). Las mediciones de CE del suelo también se presentan en deciSiemens por cada metro (dS/m), que es igual a la lectura en mS/m dividida por 100. La (CE) es una medida, que se correlaciona con las características y parámetros del suelo, que afectan la producción de cultivos, incluida la capacidad del intercambio catiónico (CIC), la textura del suelo, el nivel de la materia orgánica, las condiciones para drenar, salinidad y las propiedades del suelo (Grisso et al., 2009).

b. Materia orgánica

Comprende la descomposición, transformación y resíntesis de desechos originarios de animales y vegetales encontrados en el suelo; es decir, todo material resultante de organismos muertos (Corbella & Fernández de Ullivarri, 2011). La materia orgánica mejora la productividad de los suelos para un buen aprovechamiento de los cultivos (Villasanti et al., 2013).

c. pH

El pH indica el nivel de la acidez de un suelo, lo cual expresa, la concentración de hidrogeniones H⁺ que existen en los suelos. El pH determina gran cantidad de actividades, que han sido desarrolladas en el suelo, las mismas que afectan a las propiedades químicas, biológicas y físicas. El valor máximo es 14 en la escala del pH, en donde 7 es el valor

neutro. Son ácidos aquellos valores menores a 7 y básicos, mayores a éste (Lozano-Rivas, 2018).



Figura 1. Escala del pH
Fuente: E. Vásquez (2016)

d. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

El suelo tiene la capacidad de inmovilizar o retener cationes, a esto se le conoce como, capacidad de intercambio catiónico (CIC). Estos cationes son retenidos por la arcilla cargada negativamente y las partículas de material orgánico en el suelo, por medio de fuerzas electrostáticas (en el suelo, las partículas negativas atraen a los cationes positivos). Los cationes en la CIC de las partículas del suelo, son fácilmente intercambiables con otros cationes y, como resultado, están disponibles para las plantas. Por lo tanto, la CIC de un suelo representa, una cantidad de cationes totales intercambiables, que puede adsorber el suelo (Chapman, 2016).

2.1.3. Contaminación del suelo

El contaminar el suelo, se relaciona con la disposición de las sustancias que, si sobrepasa su concentración normal; esto provoca efectos adversos sobre los organismos vivos. La contaminación del suelo en muchos casos, no puede observarse de manera directa o ser evaluada al instante, por este motivo; es un peligro oculto para el ambiente. Las principales fuentes que contaminan el suelo, provienen de las actividades antrópicas como: las industrias, ganadería, agricultura, residuos domiciliarios y productos procedentes del petróleo, que; al ser liberados al ambiente, ya sea de manera intencional o accidental, provocan graves impactos al suelo (Rodriguez et al., 2019).

2.1.4. Contaminación del suelo y salud humana

Los suelos son imprescindibles en la salud de la humanidad, puesto que, son reconocidos por sus contribuciones, en áreas de suministro de cantidades adecuadas de: productos alimenticios nutritivos, medicamentos y por su asistencia en el desarrollo del sistema inmunológico humano. Los impactos negativos para la salud también ocurren, cuando los alimentos se cultivan en suelos que tienen deficiencias de nutrientes o cuando las personas están expuestas a niveles tóxicos de sustancias químicas u organismos

patógenos a través del contacto con el suelo o los productos del suelo. Aunque algunos metales son fundamentales en el crecimiento de la vegetación (cobre, hierro, zinc, etc.), su presencia en altas concentraciones, puede inducir toxicidad para las plantas y exponer a la población humana afectando varios sistemas, entre ellos: la sangre, riñones, pulmones, hígado y el cerebro y así, puede provocar procesos degenerativos neurológicos y físicos (trastorno de Parkinson y Alzheimer) y cáncer (Brevik et al., 2020).

Los metales pesados son considerados parte del suelo; sin embargo, causan graves daños al suelo y las plantas cuando están muy concentrados (Alengebawy et al., 2021).

2.2. Plomo

El plomo es considerado un metal muy tóxico, este se halla en la capa terrestre de forma natural. El procesamiento, uso y eliminación del plomo, puede generar un gran impacto en la contaminación del ambiente y graves problemas en la salud humana (WHO, 2017).

El plomo (Pb) es una potente neurotoxina. Este metal, se ha extraído durante siglos, para su uso, en una variedad de productos y se combina con otros metales para formar aleaciones. El plomo a menudo, se libera al medio ambiente durante los procesos de: minería, fundición y reciclaje de plomo (Bernhardt & Gysi, 2015).

El plomo es un compuesto, que ha sido introducido al ambiente hace miles de años, mediante la atmósfera de forma natural, debido a emisiones generadas por volcanes y desgastes geológicos, alcanzando las 19000 toneladas anualmente y por las actividades antropogénicas como: la explotación minera, derrames de petróleo, industrias, etc., se generan aproximadamente de 120000 a 130000 toneladas al año (Burger & Pose, 2010).

2.2.1. Contaminación del suelo por plomo

El plomo al ser un compuesto no biodegradable, se encuentra altamente persistente en el suelo. No es considerado fundamental en los seres vivos, como otros metales. A pesar del grave riesgo que provoca el plomo en el suelo, es un metal, que no ha dejado de utilizarse en el siglo XXI (Moreno, 2018).

El Pb ha sido catalogado, como un contaminante de metales pesados peligroso, debido a su alta toxicidad. Su exposición prolongada a bajas concentraciones, conduce a altos niveles tóxicos. Los impactos del Pb en el suelo son varios, como: la reducción de los nutrientes, la productividad y la diversidad microbiana en el suelo. Reducir la biodisponibilidad del Pb en el suelo es un tema importante, que debería ser un foco de preocupación (Alengebawy et al., 2021).

Según el Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA (2015), los límites permitidos máximos para Criterios de Remediación en un suelo agrícola, es de 60mg/kg.

2.2.2. Consecuencias de plomo en la salud

Muchos estudios, de sitios muy contaminados a nivel mundial, especialmente en países en desarrollo, indican los posibles impactos en la salud, como consecuencia de la exposición a niveles sumamente altos de contaminación de los suelos (European Commission Environment, 2013).

El plomo es un metal tóxico que, por su uso cotidiano, ha provocado efectos severos a la naturaleza y en la salud humana a nivel global. Es un tóxico que al acumularse, puede afectar a los sistemas del cuerpo humano como: hematológico, cardiovascular, renal, gastrointestinal y neurológico; los más vulnerables a los efectos adversos de plomo, son los niños, inclusive al ser expuestos a niveles relativamente bajos, pueden provocar problemas neurológicos graves e irreversibles (World Health Organization, 2010).

La exposición al plomo al inhalar el polvo contaminado, ingerir alimentos o agua contaminados y por medio del contacto dérmico puede resultar en una variedad de efectos en la salud, que incluyen: daño neurológico, disminución del coeficiente intelectual, anemia, trastornos nerviosos, entre otros. Los efectos del plomo son más graves en los niños y en concentraciones elevadas, el envenenamiento por plomo puede provocar la muerte (Bernhardt & Gysi, 2015). Los servicios de salud pública, han registrado un grave problema en la salud de las personas, debido a la intoxicación por plomo (Poma, 2008).

2.3. Minería

La minería permite la extracción y obtención de los minerales que se hallan en el subsuelo y son transformados en materia prima, de lo cual, se fabrican productos industriales, volviéndose primordiales en el desarrollo humano (Herrera & Castilla, 2012).

El Diccionario del lenguaje español señala que, la minería “es el arte de laborear las minas por medio de individuos que se dedican a este trabajo”; también, se refiere a la extracción de minerales y otros elementos no minerales con composiciones y propiedades químicas determinadas, que se hallan en la corteza terrestre de manera natural (Bravo-González et al., 2020).

La minería ocasiona impactos perjudiciales en la salud de la humanidad y en su entorno, relacionados con: el tipo de explotación, la estructura del mineral, el desarrollo de beneficio, operación y el tipo del ambiente en donde se lleva a cabo esta actividad (Volke-Sepúlveda et al., 2005). La minería ha introducido varios contaminantes, debido a los

relaves que se dan por el proceso de escorrentía o lixiviación, generando una gran contaminación al suelo y agua (Panéz-Delgado, 2017).

2.3.1. Minería ilegal

Las Naciones Unidas define a la minería ilegal como, la falta o ausencia de derechos a una licencia, en donde se reconozca un permiso para llevar a cabo la minería en un determinado lugar como: explotar, explorar o transportar un mineral, dependiendo de las legislaciones que corresponden a cada país en lo que confiere tomar en cuenta y respetar los recursos del suelo. A pesar de que existen bases legales sobre las operaciones mineras, muchas de éstas se realizan de manera ilegal, principalmente a pequeña escala y minerías artesanales (Viña Albarracín, 2000).

La minería ilegal, ha generado impactos dañinos al ambiente, creando un escenario vulnerable en los derechos que tiene la naturaleza, dado que, las familias que se dedican a la minería, dependen de esta actividad para subsistir. La minería ilegal es considerada una amenaza principal en la destrucción de los ecosistemas, causando riesgos severos para la población (Carmen & César A., 2014).

2.3.2. Minería en el Ecuador.

En Ecuador, la industria minera ha sido impulsada últimamente, debido a que las empresas multinacionales han optado por realizar inversiones en operaciones de exploración, con el fin de realizar proyectos, debido a que el país, tiene un gran potencial geológico para llevar a cabo esta actividad. Tanto la minería artesanal como la minería pequeña, han sido realizadas a lo largo de la historia del Ecuador, siendo muchas de ellas, ilegales, provocando el deterioro al ambiente, irremediables. Grupos ambientalistas y personas en contra de la minería, han pretendido frenar esta actividad jurídicamente. El gobierno ecuatoriano ha tomado medidas políticas más severas, con el fin de controlar la minería ilegal y disminuir el impacto ambiental y social de este sector (Salas-Quelal, 2020).

Al sur del Ecuador, en Zaruma, Portovelo y Camilo Ponce Enríquez, debido a la explotación de oro, ha provocado graves impactos al ambiente, por contaminantes como: metales pesados, cianuro y mercurio. Al ser descargados, han ocasionado una mala calidad de las redes hídricas y degradación en los suelos; esto ha provocado: la muerte de peces, pérdida de cultivos, alimentos contaminados y aguas contaminadas para consumo humano y animal (Calle & Ureña, 2013). El proceso de extracción tradicional, ha provocado contaminación minera en varias partes del país, destacando principalmente, la contaminación fluvial de algunas áreas mineras de oro a escala pequeña y artesanal al sur del Ecuador (Pesantes et al., 2019).

2.3.3. Cantón Camilo Ponce Enríquez.

Este cantón se ubica en la provincia del Azuay, al sur occidental. Se creó el 28 de marzo del 2002 (GAD Cantonal Camilo Ponce Enríquez, 2014).

a. Clima

Posee un clima húmedo tropical, con elevaciones desde los 45 m s. n. m., hasta los 3600 m s. n. m.; también se presencia una alta humedad relativa aproximada de un 90 %, con nubosidad alta (Vasconez & Durán, 2015).

En este cantón hay dos tipos de clima: Tropical Megatérmico Semi-húmedo y Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo (GAD Cantonal Camilo Ponce Enríquez, 2014).

b. Precipitación

Las lluvias, durante los meses de enero a julio, son relativamente fuertes y julio a diciembre, es una temporada relativamente seca. En 1990 fueron los años con menor precipitación (557.3 mm) (Calle & Ureña, 2013).

c. Temperatura

Las temperaturas medias anuales, en zonas bajas van desde los 26 °C y en zonas altas hasta 8 °C, donde se sitúa la cabecera cantonal. Su precipitación media anual, oscila entre los 500 y 1500 mm (GAD Cantonal Camilo Ponce Enríquez, 2014).

d. Uso de suelo

Cerca del área estudiada, el uso de suelo se enfoca en actividades agropecuarias mixtas (agricultura y ganadería). Para llevar a cabo la actividad agrícola y ganadera, la población aprovecha los recursos hídricos, cercanos a la zona. La problemática radica en que, estos suelos al ser cultivables y encontrarse contaminados por plomo, implican un gran peligro para el ambiente y para la sociedad que se abastece de estas actividades (Ampuero, 2017).

2.3.4. Minería en el cantón Camilo Ponce Enríquez

La característica más relevante de este cantón, es que, la vida de su población se vincula a actividades: comerciales, mineras y agrícolas. Se sitúa en la vía Panamericana localizada entre El Oro y la provincia del Guayas. Su población se encuentra en varios conflictos, tanto sociales como ambientales, ocasionadas por las operaciones mineras, las mismas que no se hacen responsables de evitar o disminuir la contaminación al ambiente. En este cantón existe alrededor de 10000 hectáreas concesionadas para ser exploradas y

explotadas. En las operaciones mineras no se cumplen con los estudios y planes de manejo ambiental, lo cual causa conflictos al ambiente, contaminando el suelo (Calle & Ureña, 2013).

El área de Ponce Enríquez, al sur de Ecuador, es una de las áreas mineras de extracción de oro y a pequeña escala, más importantes del país, donde se pueden encontrar operaciones mineras informales, utilizando la técnica de amalgama, aunque está prohibida desde 2010 (Pesantes et al., 2019).

2.4. Recuperación del suelo

Anteriormente, se han realizado varios estudios, con el propósito de recuperar un suelo contaminado en vez de destruirlo. Actualmente, existe varios tipos de tratamientos para recuperar suelos contaminados, mismos que han sido diseñados, para destruir elementos contaminantes, a partir de procesos: químicos, biológicos o térmicos. Para llevar a cabo un proceso, se debe conocer: el tipo de contaminante, la eficiencia del tratamiento que se aplique, el tiempo que se llevará a cabo, la viabilidad económica y las características del suelo estudiado (Ortiz Bernad et al., 2007).

2.4.1. Recuperación del suelo contaminado por plomo

Para recuperar un suelo contaminado por plomo, debe ser gestionado ambientalmente, a partir de tecnologías de remediación adecuadas. En la actualidad, hay diversas tecnologías que se basan en técnicas: biológicas, físicas y químicas o térmicos para inmovilizar los contaminantes (Sarmiento-Sarmiento & Febres-Flores, 2021). El biochar es una tecnología amigable e innovadora ambientalmente, que es muy eficaz, para eliminar o inmovilizar metales de un suelo (Milena et al., 2017).

2.5. Biocarbón (biochar)

2.5.1. Definición.

El vocablo "biochar", se define como un carbón vegetal, que ha sido formado por la descomposición térmica de biomasa, a partir de la pirólisis (entorno con ausencia de oxígeno), a temperaturas muy bajas y se puede obtener, a partir de cualquier materia prima de biomasa (Woolf, 2008).

Debido a su alta porosidad, el biochar puede retener algunos metales y contaminantes orgánicos e inorgánicos, lo cual depende de sus propiedades (Cueto, 2016).

2.5.2. Composición del biochar.

El biochar está constituido por un contenido elevado de carbono (C), del cual se forman compuestos aromáticos, hechos de anillos con seis átomos de C, los cuales, se encuentran

unidos, sin la presencia de oxígeno. Si los anillos se organizarán como láminas apiladas, se formaría grafito en cantidades sumamente pequeñas, debido a la temperatura, mediante la cual, se obtiene el biochar. Esto depende, de la materia prima que se use (Oses-Orbegozo, 2013).

2.5.3. Propiedades físicas del biochar.

El biochar, compuesto muy rico en carbono, tiene un color negro según sus propiedades físicas. Sus características estructurales dependen del tiempo y tipo de pirólisis. Usualmente, es amorfo, según estudios desarrollados por los autores (Qiu et al., 2008) y mencionado en el trabajo de (Rebolledo et al., 2016).

El biochar se presenta en distintos tamaños de partículas, esto dependerá del tipo de materia prima que se use (Lehmann, 2007).

2.5.4. Descontaminación de suelos.

Debido a su alta porosidad, en el biochar, pueden retenerse ciertos metales dependiendo de sus propiedades. En algunos estudios realizados en los últimos años, investigadores han realizado tratamientos de suelos contaminados por metales y se ha demostrado que, a pesar de que no se disminuye el contaminante, el biochar reduce su biodisponibilidad e inmoviliza algunos metales adsorbiendo el compuesto, lo cual ha dependido de: tipo del metal, de su concentración, propiedades del biochar que se use y parámetros del suelo, esto depende, del tipo de pirólisis y de la biomasa utilizada (Cueto, 2016).

El biochar cuenta con la capacidad, de adsorber metales como el plomo, debido a sus características físico-químicas, reduciendo su toxicidad y mejorando la calidad del suelo. (Panéz-Delgado, 2017).

La parte no carbonizada del biochar, puede interactuar con contaminantes del suelo. Concretamente el hidroxilo, el carboxilo y los fenólicos; estos grupos funcionales, contienen oxígeno en el biochar. Es considerado, como una estrategia ambiental muy eficaz para contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, presentes en el suelo (Milena et al., 2017).

2.5.5. Adsorción del biochar en metales pesados

La adsorción se define como, la unión del adsorbato (especie iónica o molecular) sobre adsorbente (superficie o área de un compuesto sólido). En este proceso, el adsorbato y el adsorbente interactúan entre sí, mediante fuerzas moleculares físico-químicas (Gabelman, 2017).

El biochar es considerado un compuesto sólido, que se forma a través de la pirólisis de materia prima, con una temperatura por debajo de 700 °C en condiciones bajas o en ausencia de oxígeno, que se puede producir, a partir de: estiércol animal, residuos vegetales y biosólidos, para la adsorción de metales tóxicos. El sólido resultante es rico en carbono y presenta una capacidad de adsorción prometedora, que le permite eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos del suelo. El biochar, al tener la capacidad de adsorber, se ha usado para: gestionar los recursos residuales, mejorar el rendimiento del suelo y para mitigar el cambio climático (Ambaye et al., 2021).

El biochar rompe los enlaces fuente – vía, adsorbiendo contaminantes en su superficie y, por lo tanto, reduciendo la concentración del contaminante que se encuentra en el suelo. Se lograría remediar, si el biochar adsorbe irreversiblemente los contaminantes, que ingresan a la solución del suelo, eliminando la vía hacia los receptores. Después de la adsorción en la superficie del biochar, los contaminantes pueden considerarse no disponibles para los organismos y ya no representan un riesgo de causar daño (Sizmur et al., 2015).

a. Adsorción de Plomo (Pb)

La adsorción del plomo es un proceso, que se obtiene de la capacidad para la adherencia e intercambio catiónico de biochar, interactuando con el plomo, a partir de fuerzas electrostáticas, tomando en cuenta, los parámetros físico-químicos del metal y la adsorción que se lleva a cabo en los macro poros de biochar (Wang et al., 2020).

Para determinar la adsorción de Pb se usó la siguiente fórmula: (Romero Longwell, 2017).

$$\%Ads = \frac{Cis(ppm) - Cfs(ppm)}{Cis(ppm)} \times 100$$

- %Ads = Adsorción de plomo en el suelo
- Cis = Concentración inicial de Pb en el suelo
- Cfs = Concentración final de Pb en el suelo

2.5.6. Obtención de biochar: pirólisis.

El biochar se obtiene mediante el proceso de la pirolisis, en el cual, se descompone químicamente una materia orgánica al calentarse, con ausencia o poca presencia del oxígeno. Se deriva del término griego "piro", definida como fuego y "lisis", que se define como, desintegración en fragmentos. Según la experiencia, no se puede realizar este proceso, en un medio completamente libre de oxígeno y, como tal, continuamente se originará cierta cantidad de oxidación de materia orgánica relativamente pequeña (Verheijen et al., 2010).

El biochar se puede adquirir de residuos: forestales, agrícolas, urbanos, estiércoles, entre otros, los cuales determinarán las propiedades fisicoquímicas del biochar. En un estudio, se realizó un análisis, de 85 biochars adquiridos de distintos desechos residuales, donde se encontró bastantes diferencias, debido a que las características del biochar, varían de acuerdo a la temperatura que se realice. Dado que, incrementa la temperatura del proceso de pirolisis, se reduce el rendimiento de elaboración de biochar (Olmo, 2016).

Para elaborar el biochar puede ser por: pirolisis rápida o pirolisis lenta, dependiendo de la biomasa que se use (Guerra, 2014).

a. Pirólisis lenta.

Este proceso se realiza lentamente, con un calentamiento, a una temperatura de elaboración inferior a la de la pirólisis rápida, normalmente a 400 °C. Dependiente de la tecnología que se use el proceso puede demorar muchas horas. La pirolisis lenta tiene como fin, la producción de biochar (Guerra, 2014).

b. Pirólisis rápida.

En la pirolisis rápida se usa temperatura elevada, donde la biomasa (humedad menor al 10 %), es calentada de manera rápida, con ausencia de oxígeno. Al descomponerse, la biomasa genera carbonizado y gases en pequeñas cantidades. Según la biomasa residual utilizada, varía: el tamaño de la partícula, la presencia de catalizadores, la velocidad a la que se calienta y la temperatura (Montoya, 2014).

2.6. Biomasa

La Comisión Europea, (2007), define al término biomasa, como: “material orgánico no fosilizado y biodegradable, que procede de plantas, animales y microorganismos, incluidos productos, subproductos, residuos y desechos de la agricultura, silvicultura e industrias relacionadas, así como las fracciones orgánicas no fosilizadas y biodegradables de residuos industriales y municipales, incluyendo también los gases y líquidos recuperados de la descomposición de material orgánico no fosilizado y biodegradable”.

La biomasa está conformada de: lignina, celulosa, hemicelulosa y otros compuestos orgánicos, agrupados en cantidades pequeñas como: agua, cenizas y extractos (Bridgewater, 2004). Su composición varía, con respecto al tipo de biomasa. La Tabla 1, que se presenta a continuación, muestra la estructura química de algunas biomásas.

Tabla 1. Estructura química de biomasas

Biomasa	Celulosa*	Hemicelulosa*	Lignina*
Bagazo de caña de azúcar	42.7	33.1	24.2
Cascarilla de arroz	43.8	31.6	24.6
Residuos de banano	31.4	35.3	33.3
Residuos de tabaco	44.6	30.2	25.2
Fibra de coco	52.2	28.4	19.4
Madera	42.0	22.0	36.0

Tomado de: (Montoya, 2014).

*Base seca y libre de cenizas.

2.6.1. Bagazo de caña de azúcar.

El término bagazo, se deriva de “*Francesa Bagasse*”, es una materia fibrosa, obtenida al triturar la caña de azúcar (Condeña, 2017). Además, el bagazo es el subproducto más significativo en la extracción de la caña de azúcar, el cual está formado por: celulosa, lignina y hemicelulosa. El bagazo, debido a su composición, se emplea para producir: textiles, alimento para animales, medicamentos y fuente de fibra orgánica, para suplementos de dieta para las personas. El bagazo de caña de azúcar, se considera una fuente sustentable de biomasa, ya que no constituye un riesgo para la seguridad alimentaria (Licona, 2013).

a. Estructura física del bagazo de la caña

El bagazo de caña, está formado por dos partes: la sólida, conocida como fibra y la líquida conformada por sacarosa y agua, que es el jugo. Sus proporciones dependen de ciertos factores como: edad de la planta, abonos, clima, manejo de cultivo, etc (Villacis, 2019).

b. Estructura química del bagazo de caña

EL bagazo de caña es insoluble en el medio acuoso, debido a la fibra que lo compone. Está constituido por: la lignina, hemicelulosa y celulosa y de elementos como: goma, pentosas, grasas y colorantes en menor porcentaje, los mismos que son usados para la obtención de ciertos productos, como: papel, tableros aglomerados, biocarburantes, etc (Licona, 2013).

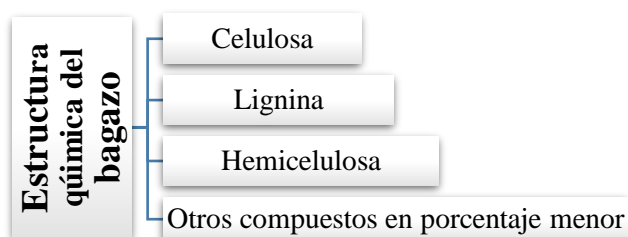


Figura 2. Estructura química del bagazo

Tomado de: (Licona, 2013).

I. Lignina

La lignina es un heteropolímero imperfecto y con ramificaciones, constituido por alcoholes aromáticos, fijados por enlaces o uniones, que no se hidrolizan. La lignina da soporte a la estructura, dureza, impermeabilización y defensa a los polisacáridos (hemicelulosa y celulosa); Además es resistente, a la descomposición biológica y química altamente (León, 2017).

II. Celulosa

La celulosa constituye aproximadamente, un tercio de la composición, ésta se biosintetiza en el proceso de fotosíntesis, originándose al año, una gran cantidad de celulosa a nivel mundial (López et al., 2016). La celulosa es un homopolisacárido natural, formado de elementos de D-glucosa, que al unirse, crean un polímero lineal ordenado estructuralmente, en el que sus grupos hidroxilos al unirse fuertemente, adquiere propiedades cristalinas (John & Thomas, 2008).

III. Hemicelulosa

La hemicelulosa hace referencia, a los polisacáridos que se extraen de las plantas. No pueden disolverse en medio acuoso en ácidos se hidroliza con facilidad (Licona, 2013).

2.1. Valores máximos permitidos para Criterios de Remediación

Los criterios para la remediación de un suelo agrícola, establecido en el COA, en el “Anexo 2 del TULSMA: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados, señala los niveles máximos permitidos de concentración de contaminantes inorgánicos” (Ministerio del Ambiente, 2015).

Tabla 2. Criterios de la calidad del suelo (valores máximos permitidos)

PARÁMETRO	UNIDAD	USO DEL SUELO
	Parámetro inorgánico	Agrícola
Plomo	mg/kg	60

Tomado de: (Ministerio del Ambiente, 2015).

2.1. Marco Legal

La Constitución del Ecuador del 2008, reconoce y vela por los derechos de la naturaleza, basándose en políticas ambientales, que se enfatizan en la preservación y protección de la naturaleza (Grefa, 2021). Así mismo, en el artículo 72, señala que, “la naturaleza tiene derecho a ser restaurada, en algún caso de impacto ambiental, ya sea permanente o grave, incluso, los que son causados al explotar los recursos naturales no renovables, el Estado implementará alternativas más vigorosas para lograr la restauración

y tomará las medidas apropiadas para disminuir los problemas ambientales perjudiciales” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Del artículo 409 al 415, se reglamenta lo referente al recurso suelo, haciendo énfasis en su conservación y protección, en un marco normativo con leyes y reglamentos. con el fin de evitar su contaminación y degradación. Además, al Estado le corresponderá, desarrollar y estimular la forestación, reforestación y revegetación de la zona afectada y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas (Luis et al., 2020).

En el marco de la Ley de Minería, constituye una reforma al reglamento ambiental de actividades mineras, que tiene por objeto: “Promover el desarrollo sustentable de la minería en el Ecuador, a través del establecimiento de: normas, procedimientos, procesos y subprocesos para: prevenir, controlar, mitigar, rehabilitar, remediar y compensar los efectos que las actividades mineras puedan tener sobre el medio ambiente y la sociedad en todo el territorio nacional” (Ministerio del Ambiente, 2016). En base a este reglamento, será el Ministerio del Ambiente (MAE), quien sancione a todas las entidades o instituciones que no cumplan con las normas emitidas, en la Ley de la Minería (Ministerio del Ambiente, 2015).

Para determinar la calidad del suelo contaminado por plomo de la zona estudiada, se basó en los límites máximos que permite la norma ecuatoriana establecida en el Anexo 2 del libro VI del TULSMA: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados. Al presente, se encuentra vigente el COA, sin embargo, aún no cuenta con los límites máximos permitidos, motivo por el cual, este estudio, se fundamenta en criterios de una ley establecida con anterioridad (TULSMA).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El área de estudio, se localiza en el kilómetro tres y medio, cerca del Subdistrito Minero Aurífero “San Gerardo”, perteneciente a la provincia del Azuay, correspondiente al Distrito Minero Aurífero del cantón Camilo Ponce Enríquez. La zona de estudio, comprendió un tramo de la vía San Gerardo de Chaupitranca - Barranco Colorado, donde desarrolló su estudio experimental, el autor Ampuero, J. (2017).

El área de estudio es una carretera considerada de tercer orden, ya que sus condiciones no son buenas, así mismo; no presenta cunetas y tiene muchas irregularidades, que hacen que las volquetas de carga pesada, se balanceen y no se mantengan estables, provocando el derrame de relaves mineros y contaminando con Pb el área estudiada. También, es importante recalcar que las volquetas no cuentan con las medidas adecuadas y necesarias de seguridad, para que no se provoquen este tipo de accidentes. Otra causa de contaminación, es que en épocas de lluvia, el agua provoca que los relaves se muevan hacia la vía y sus márgenes y contaminen las zonas cercanas a la misma (Ampuero, 2017).

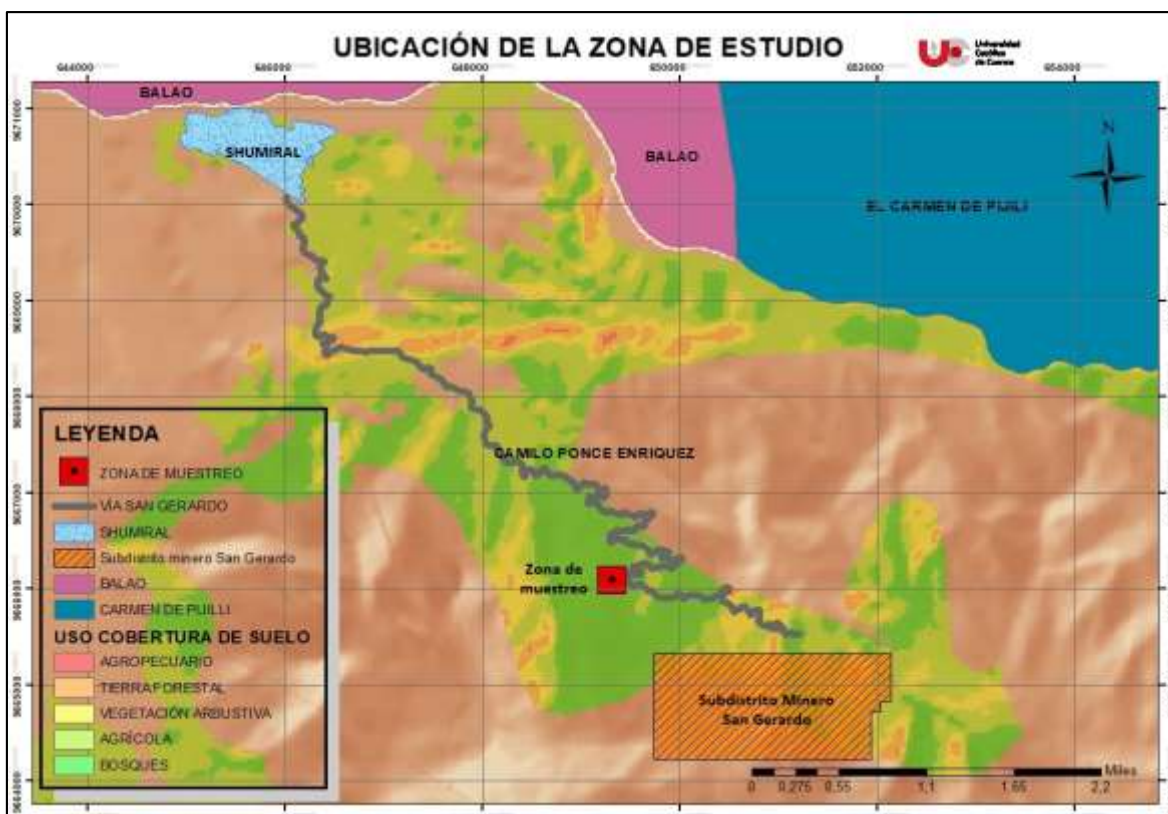


Figura 3. Ubicación de la zona de estudio

3.1. Toma de muestras de suelo

De cada margen de la carretera, se recolectó una muestra, de un sitio en específico; siguiendo la metodología del muestreo de caracterización de suelos (vías) del TULSMA (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica, 2015).

En total se obtuvo, 40 Kg de suelo por cada margen de la vía, basándose en la Guía para Muestreo de Suelos (MINAM, 2014).

Tabla 3. Profundidad para el muestreo según el uso del suelo

Uso del suelo	Profundidad del terreno
agrícola	0 – 30 cm (1)
	30 – 60 m

Tomado de: (Guía de muestreo del MINAM, 2014).

1) Profundidad de aradura

Finalmente, de cada muestra se pesó 500 gramos de suelo y se envió a Laboratorios Bionika del Dr. Falconi Borja, ubicado en Bellavista de las Carretas de la ciudad de Quito.

3.2. Geolocalización de los puntos de muestreo

Tabla 4. Geolocalización de los puntos de muestreo de los márgenes de la vía

PUNTO	LONGITUD (X)	LATITUD (Y)	MARGEN
1	649313.98	9666479.80	izquierdo
2	649316.36	9664486.04	derecho



Figura 4. Geolocalización de los puntos de muestreo en cada margen de la vía de estudio

Al momento de etiquetar la muestra de suelo, se realizó adecuadamente para evitar su pérdida (MINAM, 2014).

3.2.1. Materiales usados en la toma de muestras de suelo

Tabla 5. Materiales usados en la toma de muestras

Materiales	Cantidad
Pala	1
Pico	1
Saquillo	2
Cinta métrica	1
GPS (celular)	1

3.2.2. Población y muestra

a. Población

El suelo contaminado por plomo, en el área de estudio.

b. Muestra

Se recolectó una muestra de suelo de 40 kg, por cada margen de la vía, siguiendo la metodología del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2015).

3.3. Procesamiento de muestras de suelo

Se obtuvo 40 kg de suelo por cada margen de la vía, que fueron colocados posteriormente en un recipiente.

De cada muestra se seleccionó 500 g y posteriormente se envió a Laboratorios BIONIKA en fundas ziploc, con el propósito de analizar el nivel de concentración de plomo y los parámetros físico - químicos del suelo.

Los parámetros fisicoquímicos, se determinaron en base al Libro VI, Anexo II, del TULSMA (2015), los cuales son mencionados a continuación:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Capacidad de intercambio catiónico
- Materia Orgánica (Carbono Orgánico)
- Concentración de plomo

Tabla 6. Metodología usada para la determinación de parámetros físicos y químicos del suelo.

Parámetro	Metodología
Potencial Hidrógeno (pH)	ISO 10523
Materia Orgánica (MO)	WALKLEY Y BLACK
Conductividad Eléctrica (CE)	Std Methods 2510 B
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Volumétrico NTC 5167
Plomo (Pb)	Absorción Atómica NTC3934

Tomado de: (Laboratorios BIONIKA, 2021).

3.4. Elaboración del horno de pirólisis

Para realizar el horno de pirólisis rápida, se usó la metodología de Iglesias-Abad et al., (2020), el cual fue construido de tipo retorta con doble cilindro: Un interior de pirólisis y un exterior de combustión. Se utilizó un cilindro de metal de 55 galones y un cilindro en el interior como reactor de pirólisis, con un volumen de 15 galones.

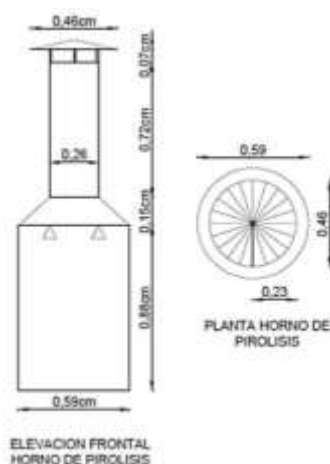


Figura 5. Esquema del horno pirolítico

Basado de: (Iglesias-Abad et al., 2020).

Para realizar el horno de pirólisis rápida, se usó la metodología de Iglesias-Abad et al., (2020), el cual fue construido con un cilindro interior de pirólisis y un exterior de combustión.

Para elaborar el horno, se utilizó 2 cilindros de metal de capacidad de 55 galones, una plancha de cobre y un cilindro de metal más pequeño. Estos productos fueron conseguidos en la recicladora Sánchez, ubicada en la ciudad de Cuenca.

El primer cilindro se usó para elaborar la tapa. Se cortó al cilindro la tercera parte y se le hizo unos cortes en forma triangular. Para realizar la parte superior de la chimenea, se utilizó una lámina de cobre y se le dio forma circular, con diámetro de 0.26 cm. Se unieron las dos partes elaboradas y finalmente se obtuvo la tapa del horno pirolítico.

Para elaborar el reactor de pirólisis, se usó el cilindro de metal más pequeño, el cual tiene una tapa, ésta no permitirá el paso de oxígeno para que se desarrolle la pirólisis de manera correcta. En este cilindro, se coloca la biomasa residual para la elaboración de biochar.

Y el segundo cilindro de 55 galones se mantuvo igual, pero se le agregó ciertos detalles como: pequeños agujeros en su base inferior para que se pueda realizar la combustión completa y 3 pequeñas patas de 10 cm de alto para que no toque el suelo; además, se colocó dos varillas pequeñas a los lados, para trasladar el horno. Finalmente, el horno está listo para su funcionamiento.

3.5. Elaboración de biochar, mediante bagazo de caña de azúcar

Se siguieron los siguientes pasos, para elaborar el biochar: (Marín-Armijos et al., 2018):

1. Recolección del bagazo de caña (biomasa residual)
2. Secado del residuo
3. Pirólisis
4. Enfriamiento del producto
5. Molido del producto

Se construyó un horno pirolítico artesanal para elaborar el biochar, el cual se hizo con productos reciclados.

3.5.1. Recolección de biomasa residual

Se recolectó 35 kg de bagazo de caña de azúcar, mismos que se dispusieron en saquillos de yute. Estos residuos fueron recolectados de pequeñas moliendas, pertenecientes al cantón la Troncal y Santa Elena.

3.5.2. Secado del residuo

Es importante secar completamente la biomasa residual de bagazo de caña de azúcar, antes de elaborar el biochar. Si el residuo lo requiere, se deberá secar a temperatura ambiente.

3.5.3. Pirólisis

El proceso pirolítico se realizó en un barrio de la ciudad de Cuenca, "Tres Marías" de la ciudad de Cuenca, en un lugar al aire libre.

Luego de que se secó el bagazo de caña de azúcar, este se colocó en el horno pirolítico para su carbonización. Se llenó el horno minuciosamente con leña, con la finalidad de no

crear interrupciones en la carbonización. Según Condeña, A. (2017), este proceso se efectúa a una temperatura de 310 °C.

El tiempo aproximado fue de 30 a 45 minutos, en el cual se obtuvo 13kg de biochar suficientes para la elaboración experimental de los respectivos tratamientos.

3.5.4. Enfriamiento del producto

Una vez terminada la combustión, se dejó por al menos dos horas el material en el horno, hasta que se enfríe por completo, antes de sacarlo.

3.5.5. Trituración o molido del producto

Finalmente, se trituró el producto, hasta obtener un biochar fino, parecido a la textura del suelo muestreado.

3.6. Procesamiento de biochar de bagazo de caña de azúcar

Luego de la elaboración del biochar, se seleccionó 500 g, y se envió al laboratorio para analizar su caracterización.

Basado en el estudio de Martínez & Bohórquez, (2017), se obtuvo un análisis elemental del biochar con los parámetros que se señalan a continuación:

- Carbono
- Carbonatos totales
- Carbono total
- Materia volátil
- Conductividad eléctrica

Además se determinó el pH, que es un parámetro fundamental, debido a que ayuda a identificar qué tipo de metal se encuentra en el suelo (Sacravilca-Casanova, 2019).

Tabla 7. Metodologías usadas en el laboratorio para análisis de biochar

PARÁMETRO	METODOLOGÍA
Ph	AOAC 973,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 53-54 2012
Conductividad eléctrica	NTC 5596
Carbono Orgánico total	Walkley-black (NCT5167)
Carbonatos totales	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012
Materia volátil	Norma Astm D-3173
Humedad	NTP 311,012 1970

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

3.7. Elaboración de tratamientos para aplicación de biochar

Para la parte experimental, se usó la metodología aplicada por Condeña, E. (2017). Se desarrollaron 3 tratamientos, con dosis de biochar al 10 %, 30 % y al 50 % con 4 repeticiones respectivamente. Además, se realizó un tratamiento de control al 0 % (no contiene biochar), que servirá como testigo, para compararla con los demás tratamientos desarrollados.

Para la elaboración de tratamientos, se compró macetas de 4 tamaños para realizar los respectivos tratamientos, de acuerdo a cada porcentaje de biochar. Además, se usó una balanza digital y macetas para cada pesaje. A continuación, se detalla cómo se desarrolló cada tratamiento:

- a) Tratamiento control - Muestra de testigo: 1 muestra contaminada con Pb + 0 % de biochar.
- b) Tratamiento 1: Cuatro muestras de suelo contaminadas por Pb + 10 % de biochar.
- c) Tratamiento 2: Cuatro muestras de suelo contaminadas por Pb + 30 % de biochar.
- d) Tratamiento 3: Cuatro muestras de suelo contaminadas por Pb + 50 % de biochar.

El biochar se distribuyó correctamente, de manera que se obtuvieron unidades experimentales uniformes en cada maceta (Condeña, 2017).

3.8. Aplicación de biochar al suelo contaminado

Para la aplicación del biochar, se siguió la metodología de la autora Condeña, A. (2017). Se utilizó macetas que contengan el suelo, más sus dosis respectivas, como se detalla a continuación:

3.8.1. Primera aplicación:

Para el TRATAMIENTO TESTIGO, se usó una balanza digital y se pesó 3000 g (3 kg) de suelo en una maceta. Este tratamiento sirvió como muestra de control.



Figura 6. Pesaje de los 3000 g de suelo

3.8.2. Segunda aplicación:

Para el TRATAMIENTO 1, con una balanza digital, se pesó 3 kg (3000g) de suelo en una maceta y luego mediante una regla de tres, se determinó el 10 % de 3 kg de suelo, dando como resultado 0.3 kg (300 g). Luego se prosiguió a pesar 0.3 kg de biochar de bagazo de caña (10 % de biochar) triturado. Una vez obtenido las cantidades necesarias para el primer tratamiento, se procedió a mezclar, hasta obtener una estructura homogénea. Este procedimiento se realizó 4 veces.

$$\frac{3 \text{ kg suelo} \times 10 \% \text{ biochar}}{100 \%}$$

0,3 kg = 300 g de biochar
10 % biochar = 300 gramos



Figura 7. Pesaje de 300 g de biochar

3.8.3. Tercera aplicación:

Para el TRATAMIENTO 2, con una balanza digital, se pesó 3 kg (3000g) de suelo en una maceta y luego mediante una regla de tres, se determinó el 30 % de 3 kg de suelo, dando como resultado 09 kg (900 g). Luego se prosiguió a pesar 0.9 kg de biochar de bagazo de caña (30 % de biochar) triturado. Una vez obtenido las cantidades necesarias para el primer tratamiento, se procedió a mezclar hasta obtener una estructura homogénea. Este procedimiento se realizó 4 veces.

$$\frac{3 \text{ kg suelo} \times 30 \% \text{ biochar}}{100 \%}$$

0.9 kg = 900 g de biochar
10 % biochar = 900 gramos



Figura 8. Pesaje de 900 g de biochar

3.8.4. Cuarta aplicación:

Para el TRATAMIENTO 3, se siguió el mismo procedimiento. En una balanza digital, se pesó 3 kg (3000 g) de suelo en una maceta y luego mediante una regla de tres, se determinó el 50 % de 3 kg de suelo, dando como resultado 1.5 kg (1500 g). Luego se prosiguió a pesar 1.5 kg de biochar de bagazo de caña (50 % de biochar) triturado. Una vez obtenido las cantidades necesarias para el primer tratamiento, se procedió a mezclar hasta obtener una estructura homogénea. Este procedimiento se realizó 4 veces.

$$\frac{3 \text{ kg suelo} \times 50 \% \text{ biochar}}{100 \%}$$

$$1.5 \text{ kg} = 1500 \text{ g de biochar}$$

$$50 \% \text{ biochar} = 1500 \text{ gramos}$$



Figura 9. Pesaje de 1500 g de biochar

3.9. Diseño experimental

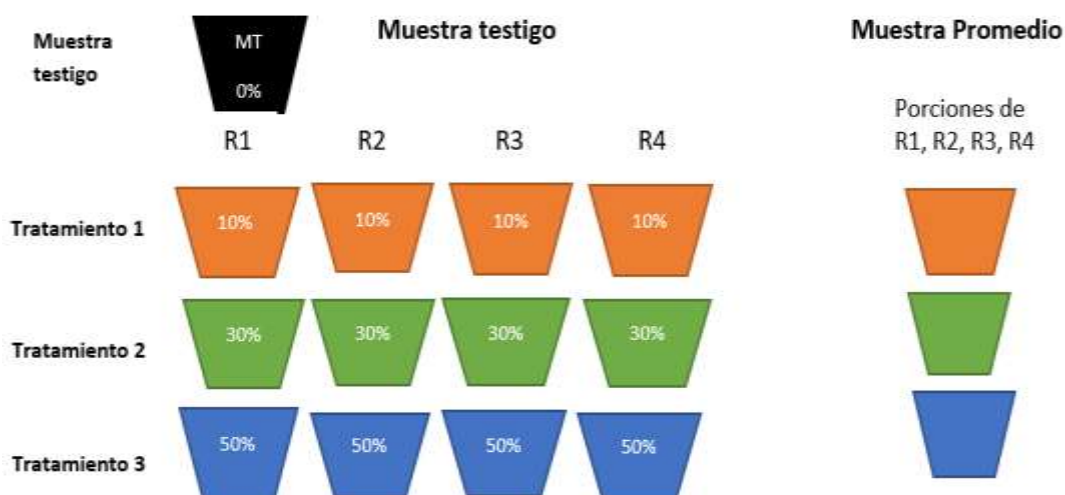


Figura 10. Diseño experimental de los respectivos tratamientos

Basado de: (Condeña, A. 2017).

Desde este punto se utilizó la siguiente leyenda por abreviatura:

- a) MTE: muestra al 0 % de biochar.
- b) MT1: muestra al 10 % de biochar.
- c) MT2: muestra al 30 % de biochar.
- d) MT3: muestra al 50 % de biochar.

Dentro de cada maceta, se mezcló la dosis de biochar con el suelo y se esperó 30 y 60 días para realizar su posterior análisis respectivamente.

Tabla 8. Tabla resumen de cada tratamiento elaborado, con sus respectivas repeticiones

TRATAMIENTOS		REPETICIONES (MACETAS 1, 2, 3 Y 4)			
Muestra testigo	Maceta 1				
MTE = 0 %	Suelo				
	3000 g				
Tratamiento 1	Maceta 1	Maceta 2	Maceta 3	Maceta 4	
MT1 = 10 %	Suelo + biochar	Suelo + biochar	Suelo + biochar	Suelo + biochar	
	(3000 g + 300 g)	(3000 g + 300 g)	(3000 g + 300 g)	(3000 g + 300 g)	

Tratamiento 2	Maceta 1	Maceta 2	Maceta 3	Maceta 4
MT2 = 30 %	Suelo + biochar (3000 g + 900 g)	Suelo + biochar (3000 g + 900 g)	Suelo + biochar (3000 g + 900 g)	Suelo + biochar (3000 g + 900 g)
Tratamiento 3	Maceta 1	Maceta 2	Maceta 3	Maceta 4
MT3 = 50 %	Suelo + biochar (3000 g + 1500 g)	Suelo + biochar (3000 g + 1500 g)	MT3 – 50% (3000 g + 1500 g)	MT3 – 50% (3000 g + 1500 g)

3.10. Tiempo de aplicación

El tiempo de aplicación del biochar fue de 30 y 60 días, luego del cual se tomó porciones de las repeticiones de cada tratamiento, hasta obtener una muestra promedio de 500 g; estas muestras fueron homogenizadas y enviadas al laboratorio. Este análisis sirvió para comparar sus propiedades fisicoquímicas y la concentración de plomo con la muestra testigo.

Finalmente, usando la metodología de Condeña, A. (2017), transcurrido 30 días se realizó un primer análisis y luego se esperó que transcurriera 30 días más (60 días), para su segundo análisis, con la finalidad de determinar que dosis ayuda a disminuir la concentración de plomo en el suelo.

3.11. Envío de muestras para análisis al laboratorio

Para realizar cada análisis, se tomó pequeñas porciones de 125 g de las 4 repeticiones de cada tratamiento, hasta obtener una muestra final de 500 g. En total se obtuvo 4 muestras a los 30 días y 4 muestras a los 60 días, es decir 8 muestras en total y se envió a Laboratorios BIONIKA, para determinar la concentración de plomo y sus parámetros fisicoquímicos planteados anteriormente.

3.12. Tratamiento estadístico de datos

Se hizo una estadística descriptiva en Excel, a partir de los datos que se obtuvieron del análisis de laboratorio, con el propósito de comparar y evaluar el efecto del biochar en la adsorción de Pb en el suelo por cada tratamiento, a los treinta y sesenta días respectivamente.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración inicial del plomo (Pb)

Se determinó la concentración de Pb del suelo muestreado, mostrándose a continuación los siguientes resultados:

Tabla 9. Concentración inicial de Pb, de los márgenes, izquierdo y derecho de la vía

CONCENTRACIÓN DE PLOMO (Pb)	UNIDAD	MARGEN DE LA VÍA
Pb	80.33	ppm izquierdo
Pb	58.76	ppm derecho

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 9, se puede observar, la concentración de Pb del suelo, del lado izquierdo de la carretera, que es de 80.33 ppm, considerándose un suelo contaminado, ya que según el “Anexo 2 - libro VI de Criterios de Remediación para Suelos Contaminados del TULSMA”, sobrepasa los límites permisibles (60 mg/kg) (Ministerio del Ambiente, 2015). También se muestra, la concentración de Pb del suelo, del lado derecho de la carretera que tiene 58.76 ppm, un valor que se encuentra dentro del rango de los límites máximos permitidos (Ministerio del Ambiente, 2015).

Tabla 10. Criterios para Remediación de Suelos Contaminados, según el Anexo 2 del libro VI, del TULSMA

Resultados de análisis de laboratorio	Valores Máximos Permitidos - Suelo agrícola
Plomo (ppm)	Plomo (mg/kg)
80.33	60

Tomado de: (Ministerio del Ambiente, 2015).

La Tabla 10, señala la concentración de Pb, que es de 80.33 ppm, cantidad que se excede de los límites máximos que la norma ecuatoriana permite en suelos agrícolas (60 mg/kg), basado en el TULSMA, vigente en el COA.

En un trabajo de graduación presentado por Ampuero, J. (2017), con su temática “La contaminación con Plomo (Pb) en suelos adyacentes a la vía San Gerardo de Chaupitranca - Barranco Colorado, debido al derrame de relaves de procesos minero-metalúrgicos” en el cantón Camilo Ponce Enríquez, ubicado en la provincia del Azuay; realizó un estudio con

el fin de comprobar que en el kilómetro tres y medio de la vía, ocurrió un derrame de relaves mineros que contenía metales, debido a causa de la carencia de cuidado por parte de los camiones transportadores. Este hecho, el autor mencionado lo evidenció mientras se encontraba cerca del lugar, motivo por el cual; tomó una muestra de suelo de las zonas adyacentes de la vía, para analizar el nivel de concentración de plomo, obteniendo como resultado, un suelo contaminado. En esta investigación presente, se recogió una muestra a cada lado de la carretera; luego se tomó 500 g y se envió a Laboratorios Bionika, con la finalidad de conocer el nivel de concentración de Pb y obtener una línea base de la misma. En el margen derecho de la vía, se obtuvo un nivel de concentración de 56.87 ppm y en el margen izquierdo, un valor de 80.33 ppm; motivo por el cual es un suelo que se encuentra contaminado en relación con los límites que permite la norma ecuatoriana COA.

4.2 Análisis inicial del suelo contaminado por plomo

Tabla 11. Resultados del análisis de los parámetros físico - químicos del suelo

PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES
pH	-	4.80
Materia Orgánica (MO)	%	4.60
Conductividad Eléctrica (CE)	$mS\ cm^{-1}$	1.14
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	$me/100g$	9.10

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

La Tabla 11, muestra los parámetros fisicoquímicos del suelo. De acuerdo con la Figura 1, el suelo tiene un pH de 4.80; considerándose éste ácido, basándose en la escala del pH. La MO tiene un porcentaje de 4.6; la CE tiene un valor de $1.14\ mScm^{-1}$ y la CIC $9.1\ me/100g$.

4.3 Obtención del biochar de bagazo de caña de azúcar de azúcar

Para obtener el biochar, se usó 37 kg de materia prima de bagazo de caña de azúcar. En un horno construido para la pirólisis, se realizaron 56 quemas en total, durante 14 días con 4 quemas por día. Se obtuvo 13 kg de biochar, evidenciándose que el peso final del biochar, es aproximadamente el 35% de la biomasa que se utilizó.

El tiempo aproximado por cada quema fue de 30 a 45 minutos y se dejó por al menos dos horas el producto, hasta que se enfríe por completo antes de sacarlo.

Tabla 12. Resultados de la producción de biochar de bagazo de caña de azúcar

RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOCHAR DE BAGAZO DE CAÑA						
Biomasa utilizada	Cantidad de biomasa utilizada (kg)	Días	Quemas por día	Total de quemas	Peso final del biochar (kg)	Peso final del biochar (%)
Bagazo de caña de azúcar	37	14	4	56	13	35 %

En un estudio realizado por Condeña, A. (2017), con el tema “Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar, en el parque Chota del AA.HH Ramón Castilla – Callao 2017” en la ciudad de Lima de Perú, luego de elaborar biochar de bagazo de caña, inicialmente con 85 kg, obtuvo 25 kg de biochar. Así comprobó, que el peso final del biochar era aproximadamente el 30 % de la biomasa que utilizó. En la presente investigación se utilizó 37 kg de bagazo de caña para elaborar biochar a partir de un horno de pirolisis, con una producción de 13 kg, aproximadamente el 35 % de la biomasa utilizada.

Gerlach & Schmidt (2012), describen que una de las aplicaciones de biochar más fundamentales tiene como objetivo, el uso de biomasa residual agroindustrial para obtener biochar, mismo que puede ser usado para la recuperar un suelo contaminado.

4.4 Resultados del análisis de biochar de bagazo de caña de azúcar

Tabla 13. Resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas del biochar

PARÁMETRO	UNIDAD	BIOCHAR
pH	-	115
Conductividad eléctrica	mS cm ⁻¹	1.04
Carbono Orgánico total	%	68.12
Carbonatos totales	%	1.03
Oxígeno	%	14.29
Nitrógeno total	%	2.40
Materia volátil	%	0.22
Humedad	%	0.72

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

La Tabla 13, muestra las propiedades fisicoquímicas del biochar analizadas en el laboratorio.

4.5 Resultados de laboratorio, después de 30 días de la aplicación de biochar al suelo

Tabla 14. Parámetros físico - químicos del suelo, con 10 % de biochar

Parámetro	Unidad	Suelo + biochar (10 %)
pH	-	7.5
Materia orgánica	%	72.3
Conductividad eléctrica	mS cm ⁻¹	072
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol kg ⁻¹	8.55

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 14, se muestra los parámetros físicos y químicos del suelo, posterior a 30 días de aplicar biochar de bagazo de caña de azúcar al 10 %. Se observa un pH de 7.5; considerado alcalino según la escala del pH, ver Figura 1. La MO tiene un porcentaje de 72.3; la CE tiene un valor de 0.72 mScm⁻¹ y la CIC es de 8.55 cmolkg⁻¹.

Tabla 15. Parámetros físico - químicos del suelo, con 30 % de biochar

Parámetro	Unidad	Suelo + biochar (30 %)
pH	-	7.9
Materia orgánica	%	62.4
Conductividad eléctrica	mS cm ⁻¹	0.58
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol kg ⁻¹	45.2

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 15, se presenta los parámetros físicos y químicos del suelo posterior a los 30 días de ser aplicado el biochar de bagazo de caña de azúcar al 30 %. Se muestra un pH de 7.9 (alcalino), la MO tiene un porcentaje de 62.4; una CE de 0.58 mScm⁻¹ y con una CIC de 45.2 cmolkg⁻¹.

Tabla 16. Parámetros físicos - químicos del suelo, con 50 % de biochar

Parámetro	Unidad	Suelo + biochar (50 %)
pH	-	8.6
Materia orgánica	%	44.8
Conductividad eléctrica	mS cm ⁻¹	0.69

Capacidad de intercambio catiónico (cic)	cmol kg ⁻¹	32.2
--	-----------------------	------

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

La Tabla 16, se observa las propiedades físico - químicas del suelo, a los 30 días de ser aplicado el biochar al suelo, en un 30%. Se presenta un pH de 8.6; la MO de 44.8%; la CE de 0.69 mS cm⁻¹ y una CIC de 32.2 cmol kg⁻¹.

4.6 Concentración de plomo en el suelo, posterior a los 30 días de la aplicación de biochar

Tabla 17. Tratamiento 1: Concentración de plomo del suelo con 10 % de biochar, a los 30 días de su aplicación

Concentración inicial de plomo (Pb) Muestra testigo = MTE	Concentración de plomo (Pb) MT1 = 10 % 30 días	Unidad
80.33	69.2	ppm

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 17, el Tratamiento 1, con dosis de biochar al 10 %, se ha determinado que la concentración de plomo ha disminuido un 13.85 % en el suelo con relación a su concentración inicial (muestra testigo).

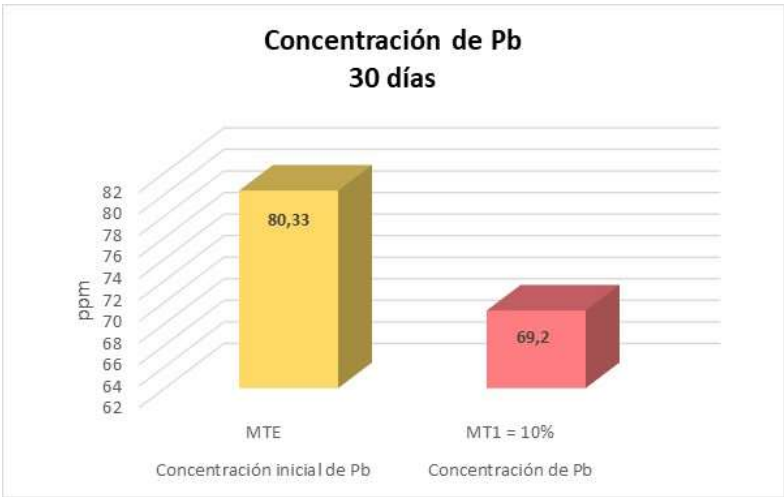


Figura 11. Concentración de plomo a los 30 días de aplicación de biochar al 10 %.

En la Figura 11, se puede evidenciar el nivel de disminución del plomo en el suelo estudiado. MTE tiene un valor de 80.33 ppm y luego de la aplicación del biochar al 10 %, ha disminuido a 69.2 ppm.

Tabla 18. Tratamiento 2: Concentración de plomo en el suelo con 30 % de biochar, 30 días después de su aplicación

Concentración inicial del plomo (Pb) Muestra testigo = MTE	Concentración de plomo (Pb) MT2 = 30 % 30 días	Unidad
80.33	42.2	ppm

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 18, el Tratamiento 2, con dosis de biochar al 30 %, se ha determinado que la concentración de plomo ha disminuido de 80.33 ppm a 42.2 ppm en el suelo, con relación a su concentración inicial (MTE).



Figura 12. Concentración de plomo a los 30 días de la aplicación de biochar al 30 %

La Figura 12, señala el nivel de disminución del plomo en el suelo estudiado. MTE tiene un valor de 80.33 ppm y después de la aplicación del biochar al 30 %, ha disminuido a 42.2 ppm.

Tabla 19. Tratamiento 3: Concentración de plomo del suelo con 50 % de biochar, después de 30 días de su aplicación

Concentración inicial del plomo (Pb) Muestra control = MTE	Concentración de plomo (Pb) MT3 = 50 % 30 días	Unidad
80.33	29.13	ppm

Tomado de: Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 19, el Tratamiento 3, con dosis de biochar al 50 %, se ha determinado que transcurrido los 30 días, la concentración de plomo ha disminuido a 29.13 ppm en comparación a la muestra control o testigo.

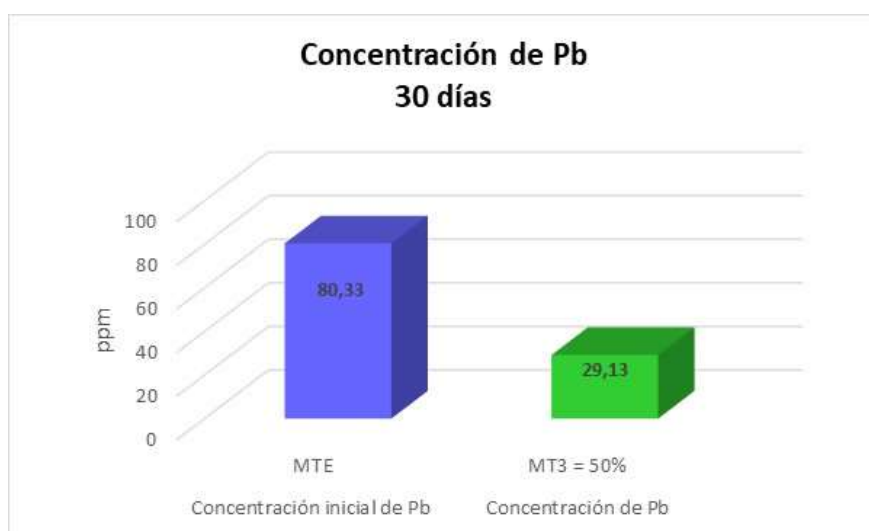


Figura 13. Concentración de plomo, a los 30 días de ser aplicado el biochar al 50%

Como se visualiza, la Figura 13, muestra el nivel de disminución del plomo en el suelo estudiado. MTE tiene un valor de 80.33 ppm y después de la aplicación del biochar al 50 %, ha disminuido a 29.13 ppm.

4.7 Resultados finales de la concentración del plomo, a los 30 días de la aplicación de biochar al suelo contaminado

Tabla 20. Resumen de la disminución del Pb, a los 30 días de ser aplicado el biochar en distintas dosis

TRATAMIENTOS	RESULTADOS (PPM) 30 días después de la aplicación de biochar	Porcentaje de disminución de Pb (%)
MTE = 0 %	80.33	0
MT1 = 10 %	69.2	13.85
MT2 = 30 %	42.2	47.46
MT3 = 50 %	29.13	63.74

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

La Tabla 20, indica la disminución de la concentración del Pb, a los 30 días de la aplicación de biochar, con relación a la muestra testigo (MTE) del suelo (80.33 ppm). El

tratamiento en el que se visualiza mayor disminución de plomo es TM3, con el 63.74 %, respecto a los otros tratamientos.

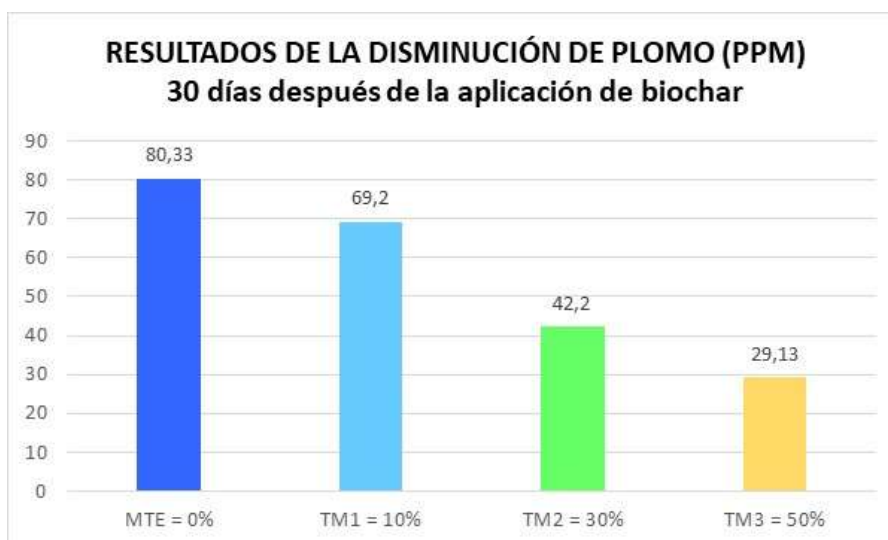


Figura 14. Resultados de la disminución de Pb, 30 días después de la aplicación de biochar

En la Figura 14, se observa que, mientras se aumenta el porcentaje de biochar a cada tratamiento, incrementa la adsorción del Pb, siendo el TM3 el tratamiento con mejores resultados de adsorción con respecto a la MTE.

4.8 Resultados de análisis de laboratorio, de la concentración de plomo del suelo, con las respectivas dosis de biochar, a los 60 días de su aplicación.

Tabla 21. Tratamiento 1: Concentración de plomo del suelo, con 10 % de biochar, después de 60 días de ser aplicado

Concentración inicial del plomo (Pb)	Concentración de plomo (Pb)	Unidad
Muestra control = MTE	MT1 = 10 %	
	60 días	
80.33	46.72	ppm

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 21, el Tratamiento 1, con dosis de biochar al 10 %, se ha determinado que a los 60 días, la concentración de plomo ha disminuido un 46.72 ppm en el suelo, con relación a su concentración inicial (80.33 ppm).

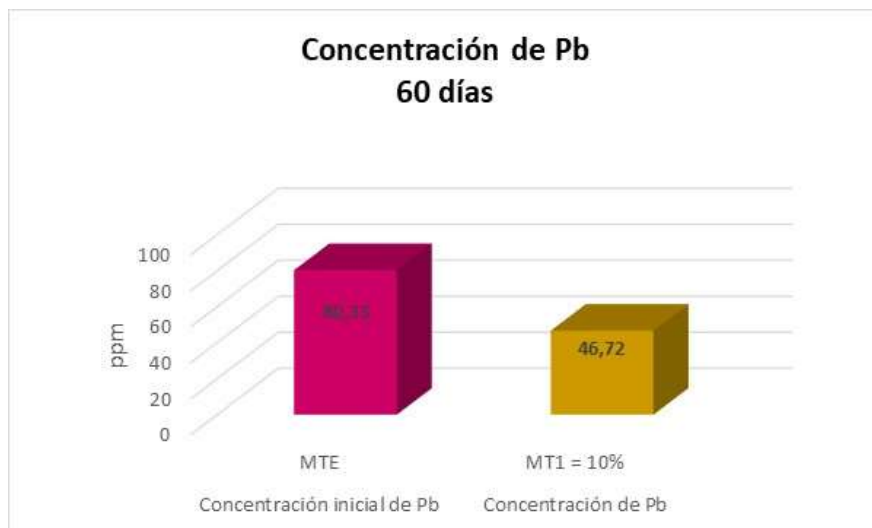


Figura 15. Concentración de plomo a los 60 días de la aplicación de biochar al 10 %

La Figura 15, establece el nivel disminuido de Pb, con respecto a la muestra testigo. MTE tiene un valor de 80.33 ppm y después de 60 días de la aplicación de biochar ha disminuido a 46.72 ppm.

Tabla 22. Tratamiento 2: Concentración del plomo en el suelo, con 30 % de biochar, a los 60 días de su aplicación

Concentración inicial del plomo (Pb) Muestra control = MTE	Concentración de plomo (Pb) MT2 = 30 % 60 días	Unidad
80.33	30.21	ppm

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 22, el tratamiento 2, con dosis de biochar al 30 %, se ha determinado que a los 60 días, la concentración de plomo ha disminuido un 30.21 ppm en el suelo con relación a su concentración inicial (muestra testigo).

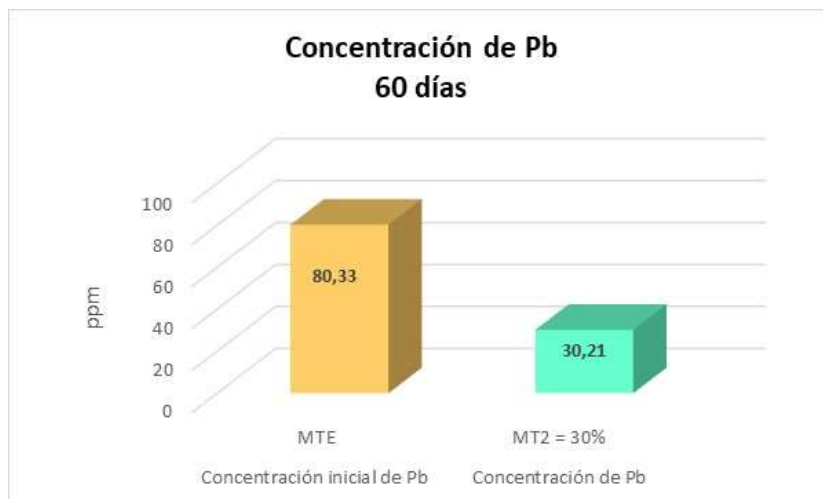


Figura 16. Concentración de plomo, después de 60 días de aplicar biochar al 30 %

La Figura 16, muestra el nivel de disminución de Pb con respecto a la muestra testigo. MTE tiene un valor de 80.33 ppm y después de 60 días de la aplicación de biochar ha disminuido a 30.21 ppm.

Tabla 23. Tratamiento 3: Concentración de plomo del suelo, con 50 % de biochar, a los 60 días de su aplicación

Concentración inicial del plomo (Pb) Muestra control = MTE	Concentración de plomo (Pb) MT3 = 50 % 60 días	Unidad
80.33	11.3	ppm

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 23, el tratamiento 2, con dosis de biochar al 50 %, se ha determinado que la concentración de plomo ha disminuido un 86.26 % en el suelo con relación a su concentración inicial (muestra testigo).

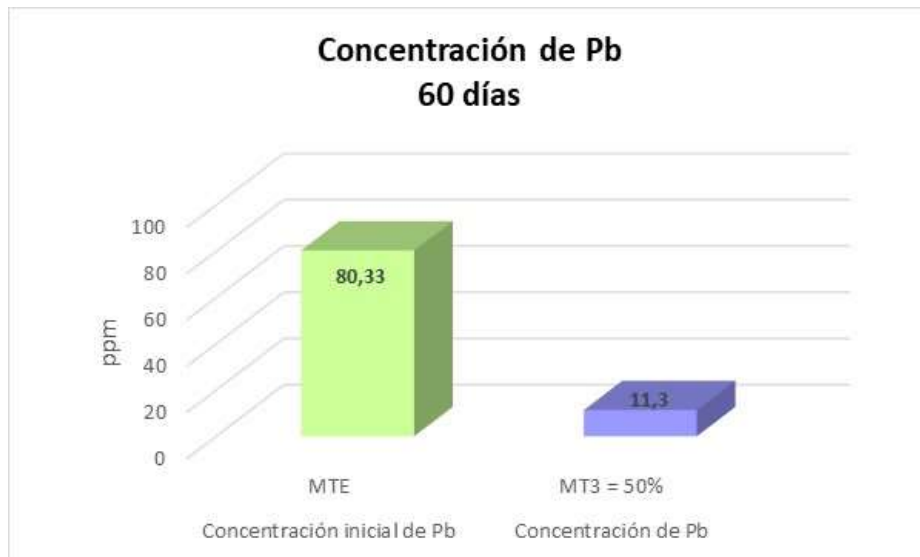


Figura 17. Concentración de plomo a los 60 días de la aplicación de biochar al 10 %

La Figura 17, presenta el nivel de disminución de Pb con respecto a la muestra testigo. MTE tiene un valor de 80.33 ppm y después de 60 días de la aplicación de biochar ha disminuido a 11.3 ppm.

4.9 Resultados finales de la concentración del plomo, a los 60 días de la aplicación de biochar, al suelo contaminado.

Tabla 24. Disminución de plomo, después de 60 días de la aplicación de las distintas dosis del biochar al suelo

TRATAMIENTOS	RESULTADOS (PPM) 60 días después de la aplicación de biochar	Porcentaje de disminución de Pb (%)
MTE = 0 %	80.33	0
MT1 = 10 %	46.72	58.16
MT2 = 30 %	30.21	62.39
MT3 = 50 %	11.03	86.26

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

La Tabla 24, señala la concentración de plomo, después de 60 días de ser aplicado el biochar con relación a la muestra testigo del suelo (80.33 ppm). Se determina que en el MT3 se ha producido mayor adsorción de plomo, con el 86.26 % respecto a los otros tratamientos.

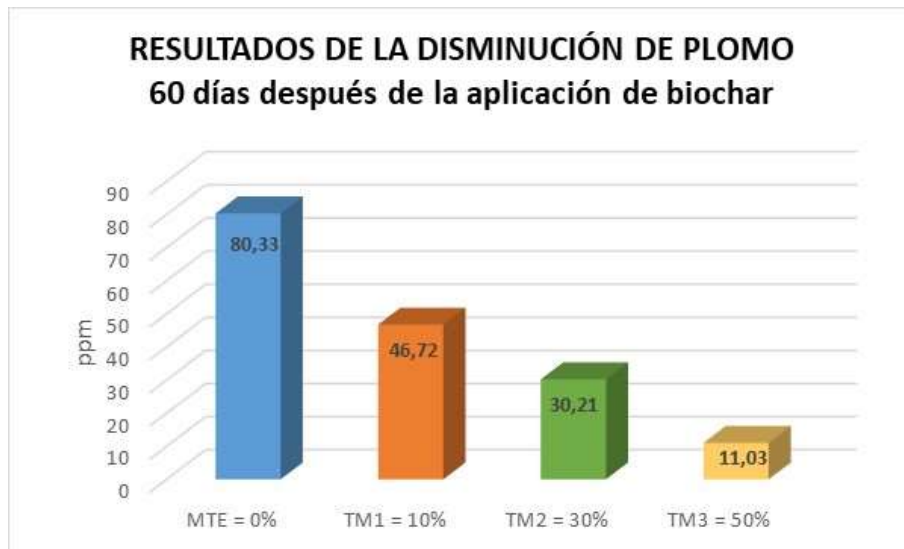


Figura 18. Resultados de la disminución de Pb, 60 días después de la aplicación de biochar

La Figura 18, muestra el Pb disminuido de todos los tratamientos, con respecto a la MTE (muestra testigo). De los 3 tratamientos, el que ha disminuido en mayor cantidad es el MT3 con dosis de biochar al 50 %. Esto demuestra que, mientras mayor cantidad de biochar se añade al suelo, el porcentaje de disminución de Pb, incrementará.

4.10 Resultados finales, a los 30 y 60 días de la aplicación de biochar, con sus dosis respectivas

Tabla 25. Tabla resumen de los resultados finales, a los 30 y 60 días de la aplicación de biochar, con sus dosis respectivas

TRATAMIENTOS	RESULTADOS (PPM)	
	Tiempo de 30 días	Tiempo de 60 días
MTE = 0 %	80.33	80.33
MT1 = 10 %	69.2	46.72
MT2 = 30 %	42.2	30.21
MT3 = 50 %	29.13	11.03

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

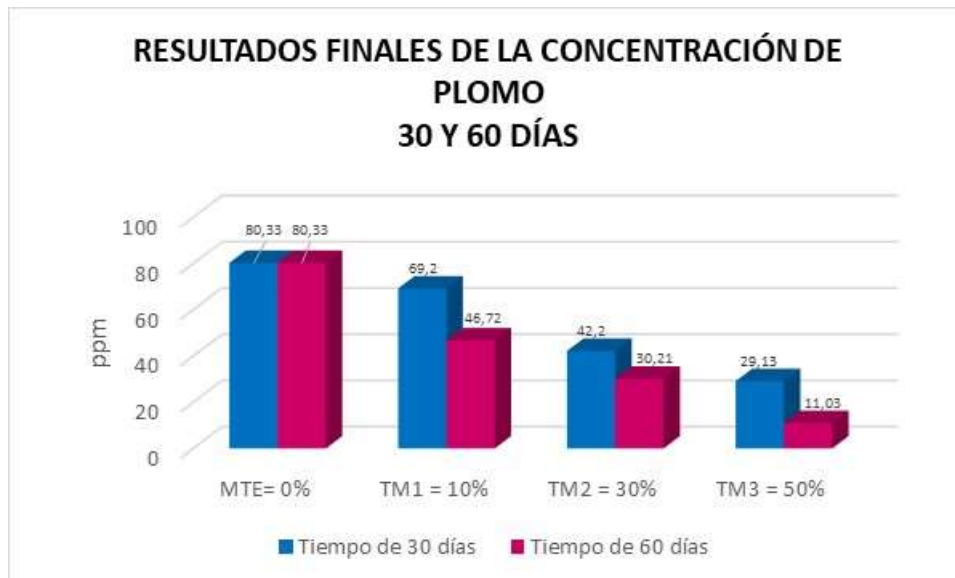


Figura 19. Resultados finales de la concentración de Pb respecto a la MTE

Los resultados finales del nivel de concentración de Pb, a los 30 y 60 días de la aplicación de biochar, se muestran en la Figura 19. Esto indica que, a medida que el tiempo pasa, la disminución de plomo adsorbido es mayor. Se obtienen mejores resultados a los 60 días. Respecto a los tratamientos, el que ha obtenido mejor resultado es MT3 con dosis de biochar al 50%, esto indica que mientras más biochar se añade, existe mayor adsorción de plomo.

Paz-Ferreiro et al. (2014) enuncian que, últimamente, se han elaborado varios estudios sobre la aplicación del biochar a suelos contaminados por metales. En general, se determina que el biochar al ser añadido al suelo, disminuye la movilización y biodisposición de ciertos metales con gran variabilidad, lo cual ha dependido de la caracterización del suelo, tipo y nivel de concentración del metal y propiedades del biochar que es influenciado por la biomasa usada y la temperatura a la que se realiza la pirólisis.

4.11 Adsorción de Pb

Para calcular la adsorción de Pb en el biochar, se usó la siguiente fórmula:

$$\%Ads = \frac{Cis(ppm) - Cfs(ppm)}{Cis(ppm)} \times 100$$

- %Ads = Adsorción de Pb en el suelo
- Cis = Concentración inicial de Pb en el suelo
- Cfs = Concentración final de Pb en el suelo

4.11.1 Adsorción de Plomo en el suelo contaminado

Seguidamente, se señalan los porcentajes obtenidos del Pb adsorbido de cada tratamiento, con biochar a los 30 y 60 días respectivamente:

Tabla 26. Porcentaje de Pb adsorbido en el suelo

TRATAMIENTO	PORCENTAJE DE BIOCHAR	30 DÍAS %	60 DÍAS %
MTE	0 %	0	0
MT1	10 %	13.86	41.84
MT2	30 %	47.47	62.39
MT3	50%	63.74	86.27

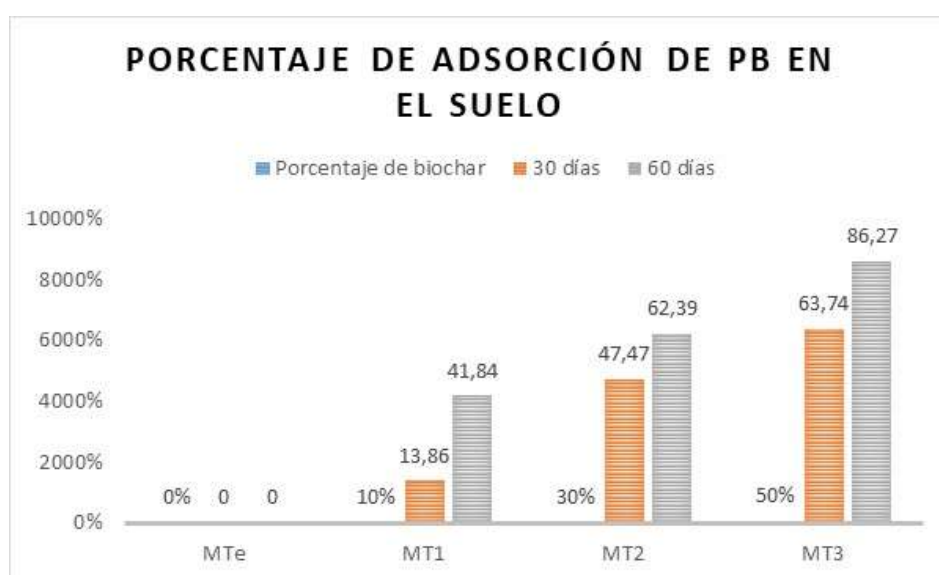


Figura 20. Porcentaje de plomo adsorbido en el suelo de todos los tratamientos, con sus dosis respectivas

La Figura 20, muestra la adsorción de Pb del suelo, por cada tratamiento al 10, 30 y 50 % de biochar, a los 30 y 60 días respectivamente.

La Muestra testigo (MTE) tiene la misma concentración inicial, debido a que ésta no tiene biochar (0 %), es decir que tiene una adsorción nula.

El tratamiento MT1 con dosis de biochar al 10%, tuvo un nivel de adsorción del 13.86 % a los 30 días, mientras que, a los 60 días, incrementó el nivel de adsorción al 42.47 %.

El tratamiento MT2 con dosis de biochar al 30 %, hubo un nivel de adsorción del 47.47 %, mientras que, a los 60 días, aumentó el nivel de adsorción a 62.39 %.

Finalmente, para el tratamiento MT3 con la mayor dosis de biochar (50 %), se obtuvieron porcentajes altos de adsorción. A los 30 días hubo un nivel de adsorción del 63.74 % y a los 60 días del 86.27 %.

Se determina que, mientras mayor es el porcentaje de biochar de bagazo de caña aplicado a las muestras de suelo contaminadas por plomo, mayor es el porcentaje de adsorción. Además, se obtuvieron mejores resultados de adsorción a los 60 días, es decir que a mayor tiempo de biochar en el suelo, mayor es el porcentaje de adsorción.

Condeña, A. (2017), con el tema “Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biochar de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA.HH Ramón Castilla – Callao 2017”, realizó un estudio, empleando distintos porcentajes de biochar: 3 %, 5 %, 10 % y 50 %, en muestras de suelo (3 kg), con el fin de conocer cuanta cantidad de plomo es adsorbida por el biochar aplicado, concluyendo que en los 4 tratamientos se obtuvieron resultados favorables pero el tratamiento al 10 % de biochar es el más eficiente.

Romero, J. (2017), presentó un trabajo con su temática “Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima”. Su principal propósito, fue determinar la eficiencia de la inmovilidad del plomo del suelo contaminado, aplicando biochar. Una vez elaborado el biochar, se tomó en cuenta: la materia prima usada, tiempo de pirólisis y temperatura a la que se efectuó la combustión. Las muestras de suelo, colocó en macetas y mezcló con diferentes porcentajes de biochar (5 %, 10 % y 20 %), más una muestra testigo (0 %) para la parte experimental. Se realizaron análisis después de 2 meses de duración del experimento, determinándose la concentración de plomo en el suelo muestreado. Se obtuvieron resultados favorables, ya que el biochar redujo la inmovilización del plomo hasta un 71.34 %, con una cantidad de biochar al 20 %, siendo la más eficiente en comparación a los otros tratamientos con menor porcentaje de biochar.

En un estudio llevado a cabo por Gómez-Cabrera, M. & Malca-Espinoza, J. (2021), con su temática “Aplicación de biochar para la inmovilización de plomo en suelos provenientes de los relaves mineros de Paredones – Cajamarca” elaboró biochar a partir del *Eucalyptus globulus*, aplicando tratamientos de suelo con distintas concentraciones de biochar (5 %, 10 %, 15 % y 20 %), durante 30 y 60 días. La concentración de biochar al 20% tanto a los treinta como a los sesenta días, disminuyó considerablemente la concentración de plomo. Se inmovilizó 15481.25 mg de Pb por kg de suelo (64.8 %). Se concluyó que, el biochar a una concentración del 20 % en el suelo, a los 60 días, inmoviliza el plomo con mayor eficiencia.

García, J. & Pérez, L. (2019), en su trabajo investigativo “Eficiencia de diversas dosis de biochar elaborado con cáscara de naranja para la adsorción de plomo en suelos contaminados de la ribera del Río Rímac – 2019”, realizaron un análisis inicial del suelo estudiado, para determinar la concentración de Pb. Además, se obtuvo biochar de la corteza de naranja y se añadió en 1 kg de suelo en diferentes dosis de biochar (5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 % y 45 %). El análisis se efectuó a los 15 y 30 días de su aplicación. Se obtuvo mayor eficiencia en el tratamiento con dosis de biochar al 45 % a los 30 días, con una eficiencia del 50.3 %.

4.11.2 Propiedades químicas y físicas del suelo después de 30 y 60 días de aplicación de las dosis respectivas por cada tratamiento

4.11.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Tabla 27. Resultados del pH a los 30 y 60 días de aplicar el 10 % de biochar en el suelo

Parámetro	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT1 30 días 10 % biochar	Tratamiento MT1 60 días 10 % biochar
pH	4.80	7.5	6.3

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 27, se evidencia como el pH cambia de ácido a alcalino (7.5), después de 30 días de emplear el biochar al 10 %, mientras que transcurrido 60 días disminuye su pH a 6.3.

Tabla 28. Resultados del pH del suelo después de 30 y 60 días de la aplicación del 30 % de biochar

Parámetro	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT2 30 días 30 % biochar	Tratamiento MT2 60 días 30 % biochar
pH	4.80	7.9	7.1

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 28, se muestra como el pH ácido cambia a alcalino (7.9) a los 30 días de la aplicación de biochar al 30 %, mientras que a los 60 días cambia de ácido a neutro (7.1), presentando poca variabilidad.

Tabla 29. Resultados del pH del suelo después de 30 y 60 días de la aplicación del 50 % de biochar

Parámetro	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT3 30 días 50 % biochar	Tratamiento MT3 60 días 50 % biochar
pH	4.8	8.6	7.7

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 29, se evidencia como el pH cambia de ácido a alcalino (8.6) a los 30 y 60 días, de aplicar biochar al 50%.

Tabla 30. Resumen del pH a los 30 y 60 días con respecto a la muestra testigo (MTE)

PARÁMETRO	RESULTADOS pH 30 días	RESULTADOS pH 60 días	UNIDAD
MTE = 0 %	4.8	4.8	-
MT1 = 10 %	7.5	6.9	-
MT2 = 30 %	7.9	7.1	-
MT3 = 50 %	8.6	7.7	-

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

La muestra testigo tiene un pH ácido de 4.80. Después de aplicar biochar en cada tratamiento con su respectiva dosis, el pH varía entre 7.5 – 8.6, siendo un pH alcalino, según la escala del pH, ver Figura 1.

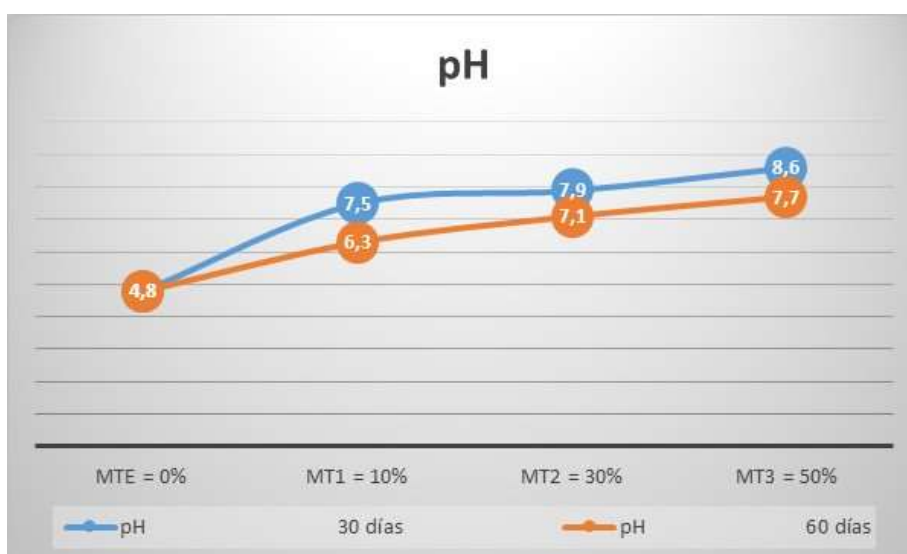


Figura 21. Variación del pH

La Figura 21, indica como el pH cambia significativamente. El pH presenta cambios notables, debido a que el suelo contaminado inicialmente era ácido y después de 30 y 60

días de aplicación de biochar aumentó considerablemente. A los 30 días MT1, MT2 Y MT3 respecto a la MTE, hubo una variación en el pH, cambiando de ácido a alcalino. En cambio, a los 60 días en MT1 y MT2 el pH se neutralizó y en MT3 su pH cambió a alcalino. Estos resultados son lógicos y confiables, debido a que el biochar de bagazo de caña inicialmente tenía un potencial hidrógeno de 11.5; el mismo que debido a sus propiedades fisicoquímicas, ha alterado el pH del suelo.

Vasquez & Valenzuela (2020) mencionan que, en un trabajo elaborado en Corea se fundamentó una mayor capacidad de adsorción en relación al pH del biochar. Mientras el pH era más alto, la adsorción aumentaba en los micro poros del biochar.

En el presente trabajo, el suelo estudiado tiene un pH ácido de 4.8; después de aplicar diferentes dosis de biochar (10 %, 30 % y 50 %) más una muestra de control o testigo, su pH ha aumentado respectivamente, cambiando a neutro y alcalino a los 30 y 60 días respectivamente; esto se da debido, a que el biochar elaborado de bagazo de caña, presenta un valor de 11.5, siendo un pH alcalino. Sizmur et al., (2015), menciona que un pH del suelo alcalino elevado, sirve para incrementar la adsorción de metales, gracias a la desprotonación de los espacios para intercambiar cationes, dependientes del pH, primordialmente en suelos ácidos.

Houben, et al. (2013), mencionaron en su investigación, que la inmovilidad de Pb se dio casi totalmente, al incrementarse el pH del suelo, en vista de que el biochar al tener un pH alcalino, aumentó la neutralización de la acidez del suelo, reduciendo de manera eficaz su acidez.

En una investigación realizada por Díaz, C. (2017), menciona que, el uso de biochar al tener pH alcalino característico, es usado como enmienda para mejorar su productividad en un suelo ácido. En una investigación de Sizmur, et al. (2015) indican el aumento del pH de un suelo contaminado, cuando se aplica biochar, si el pH del biochar es mayor que el pH del suelo al que se agrega, debido a la creación de óxidos metálicos, a partir de cationes básicos durante la pirolisis. En el estudio presente, el pH del biochar es de 11.5 que, al ser aplicado al suelo contaminado por plomo con un pH ácido (4.6), ha aumentado su pH a neutro y alcalino, respecto a cada tratamiento.

4.11.2.2. *Materia Orgánica (MO)*

Tabla 31. Resultados de MO del suelo, después de 30 y 60 días de la aplicación de biochar al 10%

Parámetro	Unidad	Tratamiento	Tratamiento MT1	Tratamiento MT1
		testigo	30 días	60 días
		MTE = 0 %	10 % biochar	10 % biochar
Materia Orgánica (MO)	%	4.6	72.3	12.2

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 31, se muestra como la MO aumenta significativamente a los 30 días de añadir biochar al suelo con respecto a la MT, mientras que a los 60 días aumenta, pero en menor significancia.

Tabla 32. Resultados de la MO del suelo, después de 30 días de la aplicación de biochar al 30 %

Parámetro	Unidad	Tratamiento	Tratamiento MT2	Tratamiento MT2
		testigo	30 días	60 días
		MTE = 0 %	30 % biochar	30 % biochar
Materia Orgánica (MO)	%	4.6	62.4	39.4

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 32, se muestra como la MO aumenta significativamente a los 30 días y 60 días al añadir biochar, con respecto a MTE (muestra testigo).

Tabla 33. Resultados de la MO del suelo, después de 30 días de la aplicación del 50 % de biochar de bagazo de caña de azúcar

Parámetro	Unidad	Tratamiento	Tratamiento MT3	Tratamiento MT3
		testigo	30 días	60 días
		MTE = 0 %	50 % biochar	50 % biochar
Materia Orgánica (MO)	%	4.6	44.8	59.8

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 33, se presenta como la MO aumenta significativamente a los 30 días y 60 días al añadir biochar, con respecto a MTE. A los 60 días incrementa más que a los 30 días.

Tabla 34. Tabla resumen de la MO, a los 30 y 60 días, con respecto a la muestra testigo (MTE)

PARÁMETRO	RESULTADOS MO	RESULTADOS MO	UNIDAD
	30 días	60 días	
MTE = 0 %	4.6	4.6	%
MT1 = 10 %	72.3	12.2	%
MT2 = 30 %	62.4	39.4	%
MT3 = 50 %	44.8	59.8	%

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

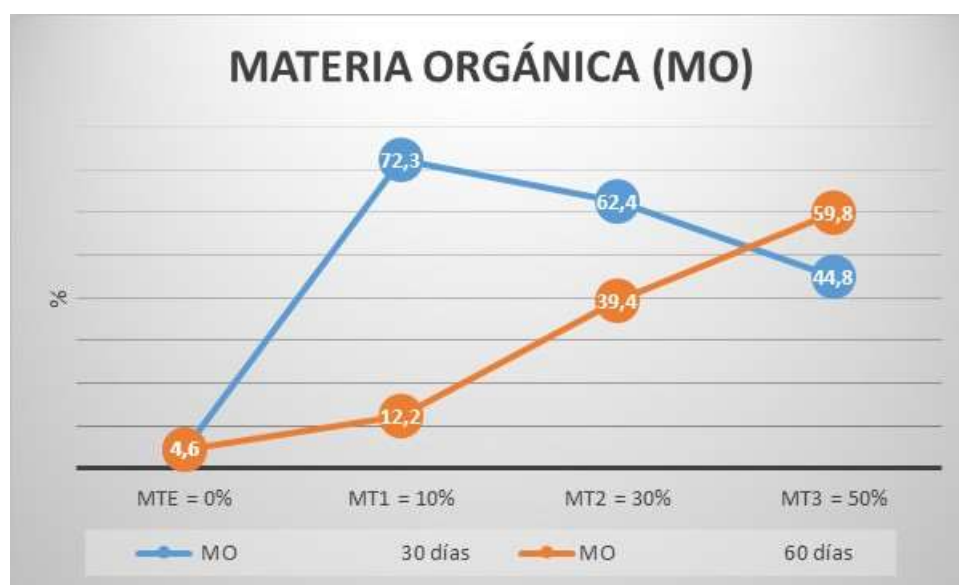


Figura 22. Materia Orgánica (MO)

La Figura 22, indica como varía la MO a los 30 y 60 días de ser aplicado el biochar. La muestra testigo posee un 4.8 % inicialmente; luego de añadir el biochar, a los 30 días, el MT1 Y MT2, han mostrado un aumento significativo en el porcentaje de MO, mientras que al 50 %, la MO aumenta, pero en menor cantidad con respecto a los otros dos. Los 3 tratamientos aumentan su porcentaje de MO considerablemente. En cuanto a la MO a los 60 días, también se evidencia un incremento en los 3 tratamientos con relación a la MTE, MT2 Y MT3 tienen un incremento significativo y MT1 aumenta, pero en menor cantidad.

Beesley & Marmiroli (2011), mencionan que la aplicación de biochar en suelos, aporta materia orgánica e incrementa el pH, lo cual ayuda a inmovilizar en un suelo contaminado con pHs ácidos, ciertos metales.

Díaz, C. (2017), menciona que, suelos en ambientes con gran humedad tienden a ser extremadamente ácidos y con rápida acumulación de materia orgánica (≥ 4.5 %), lo que

disminuye la productividad. En el siguiente trabajo investigativo, se muestra el pH inicial de 4.8 (ácido) del suelo y con materia orgánica de 4.6 %.

4.11.2.3. Conductividad Eléctrica

Tabla 35. Conductividad eléctrica, 30 y 60 días después de aplicar biochar al suelo, en un 10 %

Parámetro	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT1 30 días 10 % biochar	Tratamiento MT1 60 días 10 % biochar	Unidad
Conductividad Eléctrica	1.14	0.72	0.88	mS cm ⁻¹

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 35, luego de aplicar el biochar al 10 % al suelo, se muestra poca variación de la CE con respecto a la muestra testigo, evidenciando una disminución de ésta, luego de aplicar el biochar. A los 30 días se tiene un valor de 0.72 mS cm⁻¹ y a los 60 días un valor de 0.88 mS cm⁻¹ con mínima variabilidad entre ellas.

Tabla 36. Conductividad eléctrica, 30 y 60 días después de aplicar biochar al suelo, en un 30 %

Parámetro	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT2 30 días 30 % biochar	Tratamiento MT2 60 días 30 % biochar	Unidad
Conductividad Eléctrica	1.14	0.58	0.91	mS cm ⁻¹

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 36, después de la aplicación de dosis de biochar al 30 %, se muestra poca variación de la CE a los 60 días con un valor de 0.91 mS cm⁻¹; mientras que a los 30 días existe una varianza significativa con un valor de 0.58 mS cm⁻¹ con respecto a la muestra testigo.

Tabla 37. Conductividad eléctrica, 30 y 60 días después de aplicar biochar al suelo, en un 50 %

Parámetro	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT3 30 días 50 % biochar	Tratamiento MT3 60 días 50 % biochar	Unidad
Conductividad Eléctrica (CE)	1.14	0.69	1.55	mS cm ⁻¹

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 37, luego de 30 días de la aplicación de biochar al 50 %, el MT3 muestra una disminución de CE, mientras que los 60 días aumenta su CE con respecto a la muestra testigo. Entre MT2 y MT3 existe una variedad significativa.

Tabla 38. Tabla Resumen de la CE, a los 30 y 60 días, respecto a la muestra testigo (MTE)

PARÁMETRO	RESULTADOS CE		UNIDAD
	30 días	60 días	
MTE = 0 %	1.14	1.14	mS/cm
MT1 = 10 %	0.72	0.88	mS/cm
MT2 = 30 %	0.58	0.91	mS/cm
MT3 = 50 %	0.69	1.55	mS/cm

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

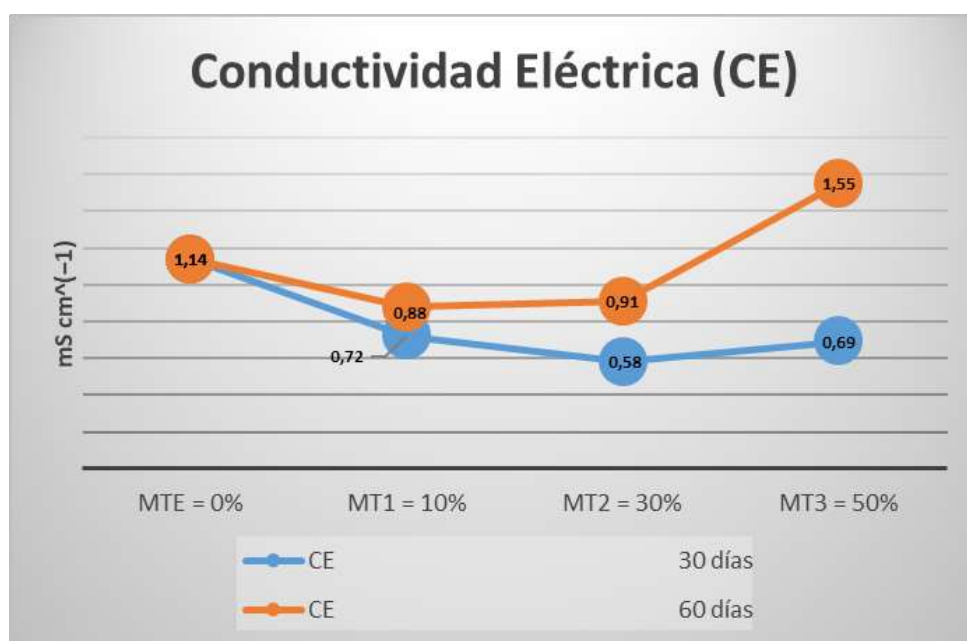


Figura 23. Conductividad Eléctrica (CE)

En la figura anterior, se visualiza una diferenciación de CE a los 30 y 60 días después de la aplicación del biochar. A los 30 días se presenta una disminución en los 3 tratamientos (MT1, MT2 Y MT3) respecto a la muestra testigo. MT2 presenta menor disminución; mientras que, a los 60 días, MT1 y MT2 disminuyen insignificadamente y en MT3 la CE aumenta con poca variación con respecto a la muestra testigo. Se presenta un rango entre 0.58 – 1.55 entre los 3 tratamientos.

La conductividad eléctrica del suelo muestreado fue de 1.14 mS/cm. Al aplicar el biochar en dosis diferentes (10 %, 30 % y 50 %), se obtuvieron valores muy bajos. A los 30

días, el tratamiento con CE más baja es el MT2 (0.58 mS/cm) y la más alta es el MT1 (0.72 mS/cm). Mientras que, a los 60 días el tratamiento con CE más baja es MT1 (0.88 mS/cm) y la más alta MT3 (1.55 mS/cm). No obstante, Abenza, D. (2012), señaló en su tema investigativo “Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo” que la CE es una propiedad con gran variabilidad, debido a la sensibilidad de la concentración de sales solubles del biochar, permeabilidad de nutrientes y a la mineralización de la MO.

4.11.2.4. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Tabla 39. CIC del suelo, después de 30 y 60 días de aplicar biochar al 10% en el suelo

Parámetro	Unidad	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT1 30 días 10 % biochar	Tratamiento MT1 60 días 10 % biochar
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol/kg	9.1	8.55	5.55

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

En la Tabla 39, se muestra una disminución de de la CIC en MT1 a los 30 y 60 días de la aplicación de biochar al 10 % con relación a MTE. A los 60 días la CIC presenta mayor disminución.

Tabla 40. Resultados de la CIC del suelo, después de 30 y 60 días de aplicar biochar al 30% en el suelo

Parámetro	Unidad	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT2 30 días 30 % biochar	Tratamiento MT2 60 días 30 % biochar
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol/kg	9.1	45.2	40.9

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

Se puede visualizar en la Tabla 40, que la CIC incrementa significativamente en MT1, tanto a los 30 como a los 60 días de la aplicación de biochar al 30 %, con relación a la muestra testigo. A los 30 días hay mayor aumento de CIC.

Tabla 41. Resultados de la CIC del suelo, después de 30 y 60 días de aplicar biochar al 50% en el suelo

Parámetro	Unidad	Tratamiento testigo MTE = 0 %	Tratamiento MT3 30 días 50 % biochar	Tratamiento MT3 60 días 50 % biochar
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol/kg	9.1	3.2	52.7

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

La Tabla 41, indica significativamente un incremento de la CIC en MT1, tanto a los 30 como a los 60 días de ser aplicado el biocha en un 10 %, con relación a la MTE. A los 60 días hay mayor aumento de CIC.

Tabla 42. Tabla resumen de la CIC, a los 30 y 60 días, respecto a la muestra testigo (MTE)

PARÁMETRO	RESULTADOS CIC 30 días	RESULTADOS CIC 60 días	UNIDAD
MTE = 0 %	9.1	9.1	cmol/kg
MT1 = 10 %	8.55	5.55	cmol/kg
MT2 = 30 %	45.2	40.9	cmol/kg
MT3 = 50 %	32.2	52.7	cmol/kg

Tomado de: (Laboratorios Bionika, 2021).

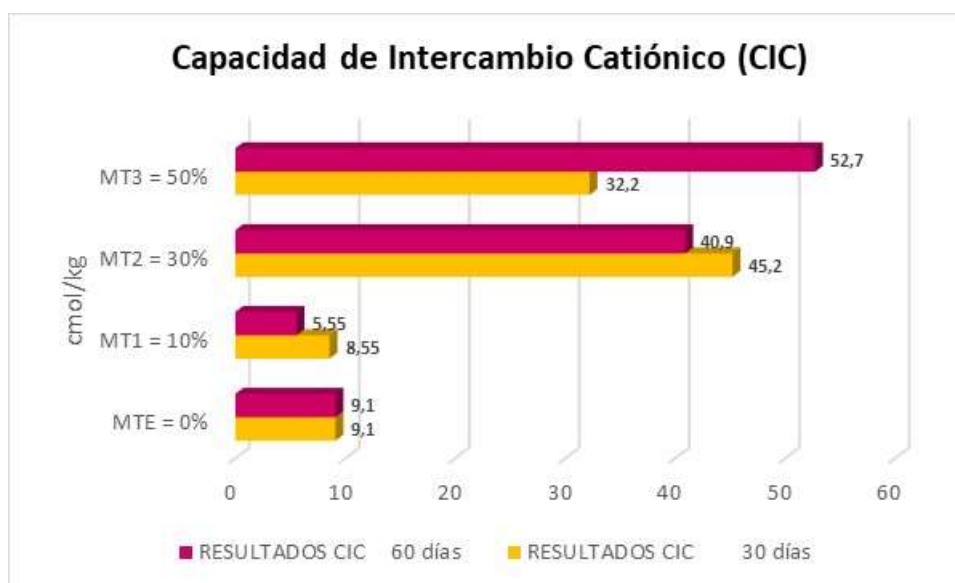


Figura 24. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La Figura 24, señala los valores finales de la CIC a los 30 y 60 días respectivamente. En MT1, pasado 30 días de aplicar el biochar, se muestra una disminución, mientras que en MT2 Y MT3 la CIC aumenta considerablemente con relación a MTE. A los 60 días, en MT1 disminuye la CIC y en MT2 Y en MT3 aumenta de manera significativa respecto a la muestra testigo.

Hersh et al. (2019), indica en su trabajo investigativo "*Biochar for Environmental Management*", que en general, la CIC, tiene diferencias estructurales, debido al tipo de residuo que se use y las condiciones a la que se realiza el tratamiento (temperatura y velocidad del calentamiento).

Graber, et al. (2010), defienden que, si se aplica biochar en suelos ácidos, aumentan el pH, CIC, retención del agua y ayuda a inmovilizar algunos metales pesados. El biochar presenta mejores resultados de movilización, si la dosis de biochar aplicada al suelo aumenta.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

Se determina mediante un análisis de laboratorio que, las zonas adyacentes al área de estudio, se encontraban contaminadas con plomo.

Se evidenció que, al aplicar biochar de bagazo de caña, en diferentes dosis (10 %, 30 % y 50 %) al suelo contaminado, redujo de manera significativa, en el suelo la concentración de plomo, respecto a la muestra testigo.

Respecto a los tratamientos, el MT3 con dosis de biochar al 50 %, tuvo mayor adsorción de plomo en el suelo, tanto a los 30 como a los 60 días de su aplicación, con respecto a la muestra testigo, concluyendo que, a mayor cantidad de biochar añadido, se obtiene mayor capacidad de adsorción de Pb.

Se comprobó con este experimento que en MT1, MT2 Y MT3 hubo mayor cantidad de adsorción a los 60 días. Se concluye que, mientras más tiempo actúa el biochar en el suelo, mayor es la capacidad de adsorción de Pb.

La materia orgánica, conductividad eléctrica, el potencial hidrógeno y la capacidad de intercambio catiónico, son parámetros muy significativos, para obtener buenos resultados de adsorción de Pb, para la recuperación del suelo.

El pH del biochar al ser alcalino, alteró el pH en el suelo ácido, cambiando a alcalino y neutro. Esta alteración sirvió para aumentar la adsorción de plomo.

Se utilizó inicialmente 37 kg de biomasa residual de bagazo de caña de azúcar y se obtuvo 13 kg de biochar, con un aprovechamiento del 35 % de biomasa inicial.

Las propiedades de adsorción del biochar de bagazo de caña, ayudan a inmovilizar y capturar el plomo del suelo contaminado.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

Para conseguir valores verídicos y confiables, es recomendable realizar los análisis en laboratorios certificados.

Se recomienda realizar una valoración de los parámetros físico - químicos del biochar antes de aplicar al suelo.

Se recomienda efectuar un análisis inicial físico - químico del suelo que se estudie, para conocer su línea base.

Para elaborar el biochar, se debe secar antes la biomasa residual, debido a que el mayor contenido de humedad, aumenta los costos de producción y transporte de biochar por unidad de biochar producido. Es deseable mantener el contenido de humedad hasta un 10 % (en peso).

Es recomendable esperar de 40 a 60 minutos para que el producto se enfríe y de esta manera evitar quemaduras en la piel.

Es importante, que la dimensión de las partículas del biochar se reduzca, si es posible, a la misma textura del suelo al que se aplique.

Es recomendable que se cumplan las normas de remediación, por parte de las compañías mineras causantes de la contaminación de este sitio. Al transportar relaves mineros, se debe emplear una adecuada gestión de estos residuos, con el fin de cuidar el ambiente y evitar su contaminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abenza, D. P. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. The European Union's Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), 5–8. https://doi.org/10.1007/1-4020-3492-x_2
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 1–34. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- Ambaye, T. G., Vaccari, M., van Hullebusch, E. D., Amrane, A., & Rtimi, S. (2021). Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(10), 3273–3294. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03060-w>
- Ampuero, J. (2017). La contaminación con Plomo (Pb) en suelos adyacentes a la vía San Gerardo de Chaupitranca - Barranco Colorado, debido al derrame de relaves de procesos minero-metalúrgicos [Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6992>
- ATSDR. (2020). Plomo. Agencia Para Sustancias Tóxicas y El Registro de Enfermedades.
- Beesley, L., & Marmioli, M. (2011). The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environmental Pollution*, 159(2), 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.016>
- Bernhardt, A., & Gysi, N. (2015). World's worst pollution problems - The new top six toxic threats: A priority list for remediation. In Black Institute PURE HEART. http://www.worstpolluted.org/docs/WWPP_2015_Final.pdf
- Bonilla, S. (2015). Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación. Universidad Politécnica Salesiana de Quito, Campus Sur., 1(256–565), 1–100. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Bravo-González, A., Espinosa-Encarnación, M., & Vilela-Pincay, W. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de La Gestión. Revista Internacional de Administración GESTIÓN*, 8(8), 215–233. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>
- Brevik, E. C., Slaughter, L., Singh, B. R., Steffan, J. J., Collier, D., Barnhart, P., & Pereira, P. (2020). Soil and Human Health: Current Status and Future Needs. *Air, Soil and Water Research*, 13(2). <https://doi.org/10.1177/1178622120934441>
- Bridgewater, A. (2004). Biomass fast pyrolysis. *Thermal Science*, 8(2), 21–50. <https://doi.org/10.2298/tsci0402021b>
- Burger, M., & Pose, D. (2010). Plomo Salud y Ambiente Experiencia en Uruguay. Organización Panamericana de La Salud, 68–70.
- Calle, C. I., & Ureña, J. C. (2013). Diseño e implementación presupuestaria para determinar la rentabilidad de la actividad minera aplicada a la empresa la fortuna situada en el cantón Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Azuay en el periodo 2014 (Vol. 1, Issue 5) [UNIVERSIDAD DE CUENCA].
- Carmen, H. F., & César A., I. P. (2014). La realidad de la minería ilegal en países

- amazónicos (C. Heck & J. Tranca (eds.)).
- Chapman, H. D. (2016). Cation-exchange capacity. Cornell University Cooperative Extension, 891–901. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c6>
- Comisión Europea. (2007). Decisión de la Comisión de 18 de julio de 2007 por la que se establecen directrices para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Diario Oficial de La Unión Europea, 2006(229), 1–14. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:229:0001:0085:ES:PDF>
- Condeña, E. A. (2017). Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA.HH Ramón Castilla – Callao 2017. In Universidad César Vallejo. Universidad César Vallejo.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. LexisFinder, 449, 1–219. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Corbella, R., & Fernández de Ullivarri, J. (2011). Materia Orgánica del Suelo. Universidad Nacional de Tucuman. <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/MateriaOrganica-del-Suelo.pdf>
- Cueto, M. (2016). Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de E.D.A.R., de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono. In Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Díaz, C. (2017). Uso de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) como enmienda de suelo negro andino (Andosol) [Universidad del Azuay]. <http://201.159.222.99/bitstream/datos/6427/1/12566.pdf%0Ahttp://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7507>
- European Commission Environment. (2013). Soil Contamination: Impacts on Human Health. In Science for Environment Policy (Issue 5). https://doi.org/10.1007/978-3-642-59064-1_14
- FAO. (2017). La transición al carbón vegetal. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 12.
- Gabelman, A. (2017). Adsorption basics: Part 2. Chemical Engineering Progress, 113(8), 1–6.
- GAD Cantonal Camilo Ponce Enríquez. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Camilo Ponce Enríquez - Administración 2014 - 2019. Alcaldía Camilo Ponce Enriquez, 53(9), 1689–1699.
- García, J., & Pérez, L. (2019). Eficiencia de diversas dosis de biochar elaborado con cáscara de naranja para la adsorción de plomo en suelos contaminados de la ribera del Río Rímac - 2019. Universidad César Vallejo.
- Geoecuador. (2008). Estado del suelo. In GEOECUADOR. [http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador pdf/06. Capitulo 4. Estado del suelo.pdf](http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/06.%20Capitulo%204.%20Estado%20del%20suelo.pdf)
- Gerlach, H., & Schmidt, H.-P. (2012). Use of biochar in poultry production. Ithaka Journal, 289, 286–289.

- Graber, E. R., Harel, Y. M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D. R., Tsechansky, L., Borenshtein, M., & Elad, Y. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil*, 337(1), 481–496. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0544-6>
- Grefa, E. (2021). Derechos de la naturaleza y extractivismo minero Una evaluación de las contradicciones en Ecuador. In Universidad Andina Simón Bolívar. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8469/1/T-3688-MCCSD-Grefa-Derechos.pdf>
- Grisso, R., Alley, M., Holshouser, D., & Thomason, W. (2009). Precision farming tools: soil electrical conductivity. *Virginia Cooperative Extension*, 442(508), 1–6. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Precision+farming+tools:+soil+electrical+conductivity#7>
- Guartantanga, E., & Siguencia, K. (2019). Recuperación de suelo contaminado con cobre y plomo mediante métodos biológicos al interior del campamento Guarumales [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17835/1/UPS-CT008444.pdf>
- Guerra, P. (2014). Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. Universidad Nacional Agraria La Molina, 101.
- Herrera, J., & Castilla, J. (2012). La actividad minera actual y sus vectores de desarrollo. 3–15. http://oa.upm.es/21842/1/VECTORES_DE_DESARROLLO_MINERO-20121002.pdf
- Hersh, B., Mirkouei, A., Sessions, J., Rezaie, B., & You, Y. (2019). A review and future directions on enhancing sustainability benefits across food-energy-water systems: The potential role of biochar-derived products. *AIMS Environmental Science*, 6(5), 379–416. <https://doi.org/10.3934/environsci.2019.5.379>
- Houben, D., Evrard, L., & Sonnet, P. (2013). Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Biomass and Bioenergy*, 57, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.019>
- Iglesias-Abad, S., Alvarez-Vera, M., & Salas, C. (2020). Biochar of residual biomass from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) by two pyrolysis methods. *Manglar*, 17(2), 105–111. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.016>
- John, M. J., & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 343–364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>
- Latorre, Á. M. L. R., & Tovar, M. H. T. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Saúde Em Debate*, 41(112), 77–91. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>
- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381–387. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)
- León, N. (2017). Caracterización de los productos obtenidos del proceso de pirólisis de residuos lignocelulósicos de agave y su uso como fuente de energía (Vol. 11, Issue 1). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Licona, A. (2013). Obtención de fibra dietética nutricional de valor agregado a partir de bagazo de caña. 14. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx//handle/123456789/16410>

- López, A., Bolio, G., Solórzano, M., Acosta, G., Hernández, M., Salgado, S., & Córdova, S. (2016). Obtención de Celulosa a Partir de Bagazo de Caña de Azúcar (*Saccharum spp.*). *Agroproductividad*, 9(7), 43.
- Lozano-Rivas, W. A. (2018). PH DEL SUELO. In *Suelos: Guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio*. In *Suelos: Guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio* (Vol. 1, pp. 64–66). <https://doi.org/10.2307/j.ctv8j5r0.16>
- Luis, F., Maldonado, M., Ayerim, K., & Yáñez, Y. (2020). "the Environmental Constitutionalism in Ecuador." *Actualidad Jurídica Ambiental*, 97, 1–26.
- Marín-Armijos, J., García-Batista, M. R., & Berrezueta-Unda, S. (2018). Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6, 75–81.
- Martínez, A., & Bohórquez, L. (2017). Evaluación de la eficiencia de biochar producido a partir de pirólisis lena de bagazo de caña, como medio filtrante para retención de fenoles en matriz acuosa. Tesis, 68. <https://ciencia.lasalle.edu.co/>
- Milena, L., Moreno, B., Alexandra, P., & Díaz, A. (2017). Evaluación Del Biochar E Hidrochar Como Medios Para Captura De Carbono En El Suelo. 80.
- MINAM. (2014). Guía para muestreo de suelos. Ministerio Del Ambiente, 38. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial - Registro Oficial - Edición Especial N° 387. Ministerio Del Ambiente, 097, 6–26.
- Ministerio del Ambiente. (2016). Reglamento Ambiental de Actividades Mineras. Registro Oficial Suplemento 213, 54. www.lexis.com.ec
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente Norma De Calidad Ambiental Del Recurso Suelo Y Criterios De Remediación Para Suelos Contaminados. Registro Oficial Edición Especial 2 de 31 Marzo 2003, 341–370. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>
- MINSAL. (2017). Plan Nacional De Atención Primaria, 60. <https://drive.google.com/file/d/116DUbtXBBSnAeoMoMhHUyWgWB11oZM/view>
- Montoya, J. I. (2014). Pirólisis rápida de biomasa. In Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín - Facultad de Minas (Issue September 2015).
- Moreno, M. (2018). La contaminación del suelo por plomo y sus consecuencias sobre la salud humana. Universidad Complutense.
- NRCS. (2006). Soils – Fundamental Concepts. Natural Resources Conservation Service (NRCS), May, 1–8.
- Olmo, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, características de la raíz y la producción vegetal [Universidad de Córdoba]. In Instituto de Estudios de Postgrado. <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence>
- OMS, O. M. de la S. (2022). Directriz de la OMS para el tratamiento clínico de la exposición al plomo.
- Ortiz Bernad, I., Sanz García, J., Dorado Valiño, M., & Villar Fernández, S. (2007). Técnicas

- Oses-Orbegozo, A. (2013). Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas. In Universidad Autónoma de Barcelona. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Panéz-Delgado, L. A. (2017). "Aplicación de Biochar de Restojos Vegetales para la Inhibición de la Biodisponibilidad de Cadmio (Cd) en Suelos Contaminados -2017" (Issue Cd). Universidad César Vallejo.
- Paz-Ferreiro, J., Lu, H., Fu, S., Méndez, A., & Gascó, G. (2014). Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: A review. *Solid Earth*, 5(1), 65–75. <https://doi.org/10.5194/se-5-65-2014>
- Pesantes, A. A., Carpio, E. P., Vitvar, T., López, M. M. M., & Menéndez-Aguado, J. M. (2019). A multi-index analysis approach to heavy metal pollution assessment in river sediments in the Ponce Enríquez Area, Ecuador. *Water (Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/w11030590>
- Poma, P. (2008). Lead effects on humans. *Facultad de Medicina*, 69(Universidad Nacional Mayor de San Marcos Perú), 120–126.
- Qiu, S., McComb, A. J., & Bell, R. W. (2008). Ratios of C, N and P in soil water direct microbial immobilisation-mineralisation and N availability in nutrient amended sandy soils in southwestern Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127(1–2), 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.03.002>
- Rebolledo, E., López, P., Moreno, H., Collado, L., Alves, C., Pacheco, V., Barra, E., & Jorge, D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367–382.
- Rodriguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. In FAO (Leadell Pe).
- Romero Longwell, J. (2017). Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima. Universidad César Vallejo, 1–95.
- Sacravilca-Casanova, A. M. (2019). Influencia del pH durante la adsorción y desorción de Pb utilizando biochar elaborado a partir de residuos de poda 2019. In Ucv.
- Salas-Quelal, D. A. (2020). Importancia de la Minería Industrial en el Desarrollo del Ecuador (Vol. 2507, Issue February). Universidad Internacional del Ecuador (UIDE).
- Sarmiento-Sarmiento, G., & Febres-Flores, S. (2021). Lead recovery in artificially contaminated agricultural soil as a remediation strategy using sunflower and vermicompost. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 27(3), 199–212. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.04.007>
- Sizmur, T., Quilliam, R., Puga, A. P., Moreno-Jiménez, E., Beesley, L., & Gomez-Eyles, J. L. (2015). Application of Biochar for Soil Remediation. 98104, 295–324. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub63.2014.0046.5>
- Vargas-Corredor, Y. A., & Pérez-Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, V(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>

- Vasconez, L., & Durán, W. (2015). "Evaluación Ambiental De Lacuena Del Río Gala Del Cantón Camilo Ponce Enríquez ". Universidad Politécnica Salesiana, 8–10. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8809/1/UPS-CT005022.pdf>
- Vasquez, R. J. E. S., & Valenzuela, B. M. Z. (2020). Interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en los suelos agrícolas: Revisión [Universidad Peruana Unión]. In Dirección general de Investigación. https://drive.google.com/file/d/1_IR8G2xOKhcG-2YVMyc1XXEeJ99GQQ2s/view
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van Der Velde, M., & Diafas, I. (2010). Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. In Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre (Ispra) Cranfield University (Uk) (Vol. 8, Issue 4). <https://doi.org/10.2788/472>
- Villacis, D. (2019). Utilización del bagazo de la caña de azúcar para la fabricación de complementos decorativos para el hogar. *Proyecto de Investigación*, 53(9), 1689–1699.
- Villasanti, C., Román, P., & Pantoja, A. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. In Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Viña Albarracín, A. (2000). Impacto ambiental de la minería informal y promoción de la minería sostenible como herramienta de desarrollo. 1–14.
- Volke-Sepúlveda, T., Velazco-Trejo, J. A., & De la Rosa-Perez, D. A. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación (R. M. de P. Lalli (ed.)).
- Wang, X., Guo, Z., Hu, Z., & Zhang, J. (2020). Recent advances in biochar application for water and wastewater treatment: A review. *PeerJ*, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.9164>
- WHO. (2017). International Lead Poisoning Prevention Awareness Campaign. World Health Organization, October, 1–8.
- Woolf, D. (2008). Biochar as a soil amendment : A review of the environmental implications . International Rice Research Institute, Black Soil, Green Rice, Rice Today, January, 1–31.
- World Health Organization. (2010). Exposure to lead: a major public health concern. WHO: World Health Organization, 165, 3–300. [https://doi.org/10.1016/s0031-3025\(16\)35080-2](https://doi.org/10.1016/s0031-3025(16)35080-2)

ANEXOS



Anexo 1. Distrito Minero Aurífero San Gerardo



Anexo 2. Recolección de suelo contaminado por plomo



Anexo 3. Vía San Gerardo – Chaupitranca Barranco Colorado



Anexo 4. *Camiones transportadores de relaves mineros*



Anexo 5. *Plantaciones de cacao cercanas a la zona de estudio*



Anexo 6. *Recolección de bagazo de caña de azúcar*



Anexo 7. *Bagazo de caña de azúcar*



Anexo 8. Secado al sol del bagazo de caña de azúcar



Anexo 9. Chimenea del horno



Anexo 10. Reactor de pirólisis



Anexo 11. Cilindro de combustión



Anexo 12. *Horno de pirólisis*



Anexo 13. *Llenado del reactor de pirólisis con el bagazo de caña de azúcar*



Anexo 14. *Colocación del reactor en el horno de pirólisis*



Anexo 15. *Llenado del horno con leña*



Anexo 16. *Extracción del biochar de bagazo de caña*



Anexo 17. *Biochar de bagazo de caña de azúcar*



Anexo 18. Balanza digital y maceta



Anexo 19. Pesaje del suelo a partir de una maceta y una balanza digital.



Anexo 20. Trituración del biochar



Anexo 21. *Pesaje de 3 kg de suelo (3000 g)*



Anexo 22. *Pesaje de 0.3 kg de biochar (300 g)*



Anexo 23. *Pesaje de 3 kg de suelo (3000 g)*



Anexo 24. *Pesaje de 0.9 kg de biochar (900 g)*



Anexo 25. *Mezcla de biochar con suelo*



Anexo 26. *Pesaje de 3 kg de suelo (3000 g)*



Anexo 27. *Pesaje de 1.5 kg de biochar (1500 g)*



Anexo 28. *Suelo y biochar pesados*



Anexo 29. *Mezcla de biochar con el suelo*



Anexo 30. *Tratamientos*



Anexo 31. *Tratamientos con sus respectivas etiquetas*



Anexo 32. *Remoción de cada tratamiento*



Anexo 33. Tratamiento 1: Pesaje de 125 g por cada maceta



Anexo 34. Tratamiento 1: 500 g de suelo con biochar en funda Ziploc



Anexo 35. Tratamiento 2: Pesaje de 125 g por cada maceta



Anexo 36. Tratamiento 2: 500 g de suelo con biochar en funda Ziploc



Anexo 37. Tratamiento 3. Pesaje de 125 g por cada maceta




Anexo 38. Tratamiento 3. 500 g de suelo con biochar en funda Ziploc.

ANALISIS METALES PESADOS

RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	METODOLOGIA
1	Pb	ppm	80.33	NTC 1857.1996
2	Pb	ppm	56.27	NTC 1857.1996



Dr. Carlos Falconi Borja PhD

BIONIKA Labs

0999796977-023460153

www.bionika.uy

Anexo 39. Resultados de análisis de laboratorio



Resultados de Análisis de Laboratorio No. PSL – 254-ANÁLISIS DE COMPONENTES

Fecha toma de muestra: 01.10.2021	Fecha laboratorio: 08.10.2021
Solicitado por: Mery Paguay Romero	Responsable: Mery Paguay Romero
Telf.: 959686864	email: marcosdavidparrasanchez@gmail.com
Localidad: Cuenca	Localización geográfica: Azuay
Sustrato: suelo agrícola	Lote: no reportado
Orden de trabajo: PSL 254	Factura No.: 4829

ANÁLISIS DE COMPONENTES RESULTADOS

MATERIAL ANALIZADO

ITEM	UNIDAD	VALORES	
pH	-	4.80	ISO 10523
Conductividad Eléctrica	mS cm ⁻¹	1.14	Std Methods 2510 B
Densidad Aparente	g ml ⁻¹	1.05	NTC 6339:2019
Materia Orgánica	%	4.6	WALKLEY Y BLACK
Granulometría	mm	0.88 – 5.5	Mesh
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC	me/100g	9.1	Volumétrico NTC 5167
Metales pesados			
Pb	mg Kg ⁻¹	80.33	Absorción Atómica NTC3934


Dr. Carlos Falconi Borja PhD
BIONIKA Labs, 0999796977-
023460158 www.bdki.eu



RUC: 1792492955001

Anexo 40. Resultados de análisis de laboratorio

Resultados de Análisis de Laboratorio
No. PSL254-ANALISIS DE COMPONENTES BIOCHARD

Fecha toma de muestra: 11.10.2021	Fecha laboratorio: 16.10.2021
Solicitado por: Mery Paguay Romero	Responsable: Mery Paguay Romero
Email: marcosdavidparrasanchez@gmail.com	Cell: 0959686864
Localidad: Cuenca	Localización geográfica: Azuay
Sustrato: Biochard	Lote de Producción: no reportado
Orden de trabajo: PSL254	Factura No.: 4829

ANALISIS DE COMPONENTES

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	BIOCHAR	METODOLOGIA
pH	-	11,5	AOAC 973,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 53-54 2012
Conductividad Eléctrica	mS cm ⁻¹	1.04	NTC 5396
Densidad Aparente	g ml ⁻¹	0.85	NTC 1974-2003
Carbono Orgánico Total	%	78,12	Walkley-black (NCT5167)
Oxígeno	%	14,29	SO 200 Apogee Instruments
N Total	%	2,40	AOAC 935,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 13-14 2012
S	%	0.69	Turbidimétrico COVENIN 2972-92 (ISO 5725-86)
Carbonatos totales	%	1.03	AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012
Materia Volátil	%	0.22	Norma Astm D-3173
Humedad	%	0.72	NTP 311,012 1970


Dr. Carlos Falconi Borja PhD
BIONIKA Labs.
0999796977-023460158
www.bdkl.eu

Bionika
LABORATORIOS
RUC: 1792492955001

1

No. PSL254-ANALISIS DE COMPONENTES BIOCHARD

Anexo 41. Resultados de análisis de laboratorio

Resultados de Análisis de Laboratorio
No. PSL 266-ANÁLISIS DE COMPONENTES BIOCHAR


Fecha toma de muestra: 16.11.2021
Solicitado por: Mery Paguay Romero
Email: marcosdavidparrasanchez@gmail.com
Localidad: Cuenca
Sustrato: Biochar y suelo
Orden de trabajo: PSL 266

Fecha laboratorio: 25.11.2021
Responsable: Mery Paguay Romero
C#B: 0959616864
Localización geográfica: Azuay
Lote de Producción: no reportado
Factura No.: 4852

ANÁLISIS DE COMPONENTES

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	SUELO + BIOCHAR 10%	SUELO + BIOCHAR 30%	SUELO + BIOCHAR 50%	METODOLOGÍA
pH	-	7,5	7,9	8,6	AOAC 973,04 Cap. 2 Ed. 19 Pág. 19, 53-54 2012
Materia Orgánica	%	72,3	62,4	44,8	Walkley-black (NCT5167)
Carbono Orgánico Total	%	66,32	46,77	30,15	Walkley-black (NCT5167)
Conductividad Eléctrica	mS cm ⁻¹	0,72	0,58	0,69	NTC 5596
Densidad Aparente	g ml ⁻¹	0,84	0,42	0,315	NTC 1974-2001
Gravimetría	mm	0,3-0,2	0,3-0,1	0,5-0,1	NTC INEN 696:2011
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol kg ⁻¹	8,55	45,2	32,2	Walkley-black (NCT5167)
Pb	ppm	69,2	42,2	29,13	NTC 3857:1996


Dr. Carlos Falconi Borja PhD
BIONIKA Labs.
0959796977-023460158
www.bika.es

Resultados de Análisis de Laboratorio
No. PSL276-ANÁLISIS DE SUELO Y BIOCHAR

Fecha toma de muestra: 10.12.2021
Solicitado por: Mery Paguay Romero
Email: marcodavidparrasanchez@gmail.com
Localidad: Cuenca
Sustrato: Biochar y suelo
Orden de trabajo: PSL276

Fecha laboratorio: 7.01.2022
Responsable: Mery Paguay Romero
Cel: 0959686864
Localización geográfica: Azuay
Lote de Producción: no reportado
Factura No.: 4852

ANÁLISIS DE COMPONENTES

RESULTADOS


PARAMETRO	UNIDAD	SUELO + BIOCHAR 10%	SUELO + BIOCHAR 30%	SUELO + BIOCHAR 50%	METODOLOGIA
pH	-	6,3	7.1	7.7	AOAC 973,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19, 53-54 2012
Materia Orgánica	%	12.2	39.4	59.8	Walkley-black (NCT5167)
Carbón Orgánico Total	%	22.14	48.77	70.45	Walkley-black (NCT5167)
Conductividad Eléctrica	mS cm ⁻¹	0,88	0,91	1,55	NTC 5596
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol kg ⁻¹	5,55	40.9	52.7	Walkley-black (NCT5167)
Pb	ppm	46,72	30.21	11.03	NTC 3857;1996


Dr. Carlos Falconi Borja PhD
BIONIKA Labs.
0999756977-023460158
www.bdki.eu

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Mery Paola Paguay Romero portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0106728579. En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Recuperación del suelo contaminado por plomo, a partir de biochar de bagazo de caña de azúcar en el cantón Camilo Ponce Enríquez" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 09 de mayo de 2023

F: 

Mery Paola Paguay Romero

0106728579