UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Inmovilización de plomo en suelos mediante biocarbón por pirólisis de residuos orgánicos en zona agrícola del valle de Carapongo

Tesis presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autora:

Bach. Sheily Ponce Cruz

Asesor:

Dr. Noe Benjamín Pampa Quispe

Lima, agosto de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

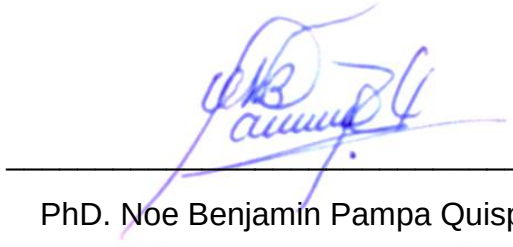
Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: "I**nmovilización de plomo en suelos mediante biocarbón por pirólisis de residuos orgánicos en zona agrícola del Valle de Carapongo**" constituye la memoria que presenta la Bachiller Sheily Ponce Cruz para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 18 días del mes de julio del año 2021



PhD. Noe Benjamin Pampa Quispe

221

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **28** días día(s) del mes de **agosto** del año 2020 siendo las **08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**... y los demás miembros: **Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez y la Ing. Nancy Curasi Rafael**.... y el asesor **Dr. Noe Benjamín Pampa Quispe**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Inmovilización de plomo en suelos mediante biocarbón por pirólisis de residuos orgánicos en zona agrícola del valle de Carapongo"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a).....**SHEILY PONCE CRUZ** .....

.....b) .....

.....conducente a la obtención del título profesional de

.....**INGENIERO AMBIENTAL**.....
(Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **SHEILY PONCE CRUZ** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy bueno	Sobresaliente

Candidato (b): ....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO				

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga		Secretario Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Asesor Dr. Noe Bejamin Pampa Quispe	Miembro Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez	Miembro Ing. Nancy Curasi Rafael
Candidato/a (a)		Candidato/a (b)

DEDICATORIA

Dedico esta investigación al que lo hizo todo posible, Dios, por su amor eterno hacia mí.

A mi tan amada familia, mis queridos padres y a mis entrañables hermanos, por ser mi motivación y fuerza día a día.

A toda persona interesada en hacer de este mundo un lugar mejor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su incondicional bendición durante todo el proceso que llevó a la realización completa de esta investigación.

A mi madre Carmen Cruz Crisóstomo por su amor, su apoyo y sus muchas maneras de formar parte de cada proceso; a mi padre Pablo Ponce Westreycher por su esfuerzo constante, por su fe en mí y por recordarme siempre de lo que soy capaz y a mis hermanos por ser mi motivación y fuerza.

A mi asesor Stive Flores, por su apoyo, su exigencia, profesionalismo y las enseñanzas compartidas.

A todas las personas que intervinieron con su apoyo emocional, físico, espiritual, económico y académico en el proyecto, ejecución y conclusión de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO I……...…… 19

EL PROBLEMA ……19

1.2. Justificación de la investigación ……..23

1.3. Presuposición filosófica……... 24

1.4. Objetivos ……..25

1.4.1. Objetivo principal ……25

1.4.2. Objetivos secundarios ……..25

CAPITULO II ……..26

REVISIÓN DE LA LITERATURA ……26

2.1. Antecedentes ……26

2.1.1. Ámbito internacional ……...26

2.1.2. A nivel nacional ……...27

2.1.3. A nivel regional……... 28

2.2. Base teórica ……29

2.2.1. Residuos solidos ……..29

2.3.1. Residuos Orgánicos. ……... 31

2.3.1.1. Contaminación del agua. ……...33

2.3.1.2. Contaminación del suelo. ……. 33

2.3.1.3. Contaminación en el aire. ……..33

2.3.1.4. Efectos en la salud del hombre. ……33

2.4. Metales pesados ……...34

2.4.1. Contaminación del suelo por metales pesados ……34

2.4.2. El Plomo (Pb) ……..36

2.4.2.1. Efectos del plomo en la salud del hombre ……37

2.5. Pirolisis ……39

2.5.1. Tipos de pirolisis ……40

2.5.1.1. Pirolisis lenta. ……40

2.5.1.2. Pirolisis rápida. ……..40

2.5.1.3. Pirolisis ultrarrápida. ……41

2.5.2. Variables que intervienen la Pirolisis. ……41

2.5.3. Ventajas y desventajas de la pirolisis ……..41

2.5.3.1. Ventajas de la pirolisis. …… 42

2.5.3.2. Desventajas de la pirolisis ……42

2.5.4. Formación del biocarbón 42

2.6. Biocarbón 43

2.4.1. Composición del biocarbón 44

2.4.2. Efecto del biocarbón en el suelo y el medio ambiente. 45

CAPITULO III ……47

MATERIALES Y METODOS ……...47

3.1. Ámbito de estudio 47

3.2. Tipo de investigación 48

3.3. Diseño de investigación 48

3.3.1. Hipótesis general. 48

3.3.2. Hipótesis específicas. 48

3.3.3. Muestreo y análisis de plomo en suelo 49

3.3.4. Recolección y adecuación de materia prima 50

3.3.4.1. Zona de acopio 50

3.3.4.2. Obtención de residuos orgánicos domésticos (ROD) 50

3.3.4.3. Obtención de excretas de cabra (REC) 51

3.3.4.4. Obtención de residuos de poda (RPO) 52

3.3.5. Construcción y acondicionamiento del horno de pirólisis. 53

3.4. Producción de biocarbón 55

3.4.1. Instalación de casetas de suelo.....59

3.5. Homogenización del suelo y el biocarbón. 60

3.6. Análisis de suelo con biocarbón. 61

3.7. Comparación de resultados 63

3.7.1. Cálculo de eficiencia. 63

3.8. Análisis de datos 65

3.8.1. Diseño estadístico 65

3.8.2. Análisis Estadístico 67

CAPITULO IV 69

RESULTADOS Y DISCUSIONES 69

4.1. Producción del biocarbón 69

4.1.1. Análisis físico del biocarbón 70

4.2. Análisis de suelo contaminado con plomo 72

4.2.1. Resultados de suelo contaminado de plomo con biocarbón de residuos orgánicos.

.....73

4.2.2. Estimación de la inmovilización del plomo en el tiempo según regresión linea..... 78

4.1.1.1. Estimación de inmovilización de plomo con biocarbón al 20%.

……..**¡Error! Marcador no definido.**

4.2.3. Resultados de análisis de parámetros 80

4.2.3.1. Temperatura …….……80

4.2.3.2. Potencial de hidrogeno (pH) ……82

4.2.3.3. Humedad …….……..85

CAPITULO V …….……88

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ……..88

5.1. Conclusiones 88

5.2. Recomendaciones 89

REFERENCIAS …….……91

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 51

Residuos orgánicos domésticos recolectados 51

Tabla 2 67

Diseño DCA 67

Tabla 3 68

Descripción de tratamientos del biocarbón en suelo contaminado con plomo. 68

Tabla 4. 69

Rendimiento de los biocarbones. 69

Tabla 5 72

Tipos de tratamiento de biocarbón para suelo contaminado con plomo. 72

Tabla 6 73

Resumen de resultados según tratamiento. 73

Tabla 7. 79

Concentración de plomo en el tiempo 79

Tabla 8 80

Temperatura del suelo contaminado antes y después del tratamiento. 80

Tabla 9 82

pH del suelo contaminado antes y después del tratamiento 82

Tabla 10 85

Humedad del suelo contaminado antes y después del tratamiento 85

Tabla 11 100

Operacionalización de variables 100

Tabla 12 101

Matriz de consistencia 101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Áreas degradas por residuos sólidos municipales (SINIA, 2018)..... 30

Figura 2. Generación de residuos sólidos en Lima Metropolitana (t) (SINIA, 2016)..... 30

Figura 3. Generación y desvío de aprovechamiento y procesamiento de residuos orgánicos (Comisión para la Cooperación Ambiental,2017)..... 32

Figura 4. Toxicocinética del plomo en el organismo humano. (Rodríguez et al.,2016) 37

Figura 5. Proceso de la pirolisis (Guevara y Pablo, 2016) 39

Figura 6. Esquema de los principales procesos termoquímicos y los productos intermedios y finales que se obtienen de ellos (Urien, 2013)..... 40

Según Urien (2003) y Ibarrola, Evar & Reay (2013), se caracteriza por trabajarse a temperaturas por encima de los 1000°C y los tiempos de resistencia son reducidos, y está enfocado a la producción de bioaceites teniendo un rendimiento de aproximadamente 70% (Figura 6). 41

Figura 7. Rendimientos de pirolisis (%) en función al tipo y a las fracciones obtenidas (Ibarrola, Evar & Reay, 2013). 41

Figura 7. Lugar de ejecución del proyecto, hay que señalar el lugar del muestreo en el mapa..... 47

Figura 9. Ubicación del área de estudio. 49

Figura 10. Zona de implementación para pirolisis. 50

Figura 11. Recolección de residuos orgánicos domésticos provenientes del comedor universitario. 51

Figura 12. Recolección de residuos de excretas de cabra..... 52

Figura 13. Recolección de residuos de poda. 52

Figura 14. Diseño de horno interno de pirolisis. 53

Figura 15. Diseño de horno de pirolisis..... 54

Figura 16. Flujograma de la producción del biocarbón a partir de residuos orgánicos..... 55

Figura 17. Preparación del residuo orgánico para la pirolisis. 56

Figura 18. Material de combustión para el horno de pirolisis. 57

Figura 19. Horno de pirolisis prendido por combustión..... 57

Figura 20. Proceso de pirolisis en el horno. 58

Figura 21. Biocarbón producido a partir de residuos orgánicos domésticos, excretas de cabra y residuos de poda..... 58

Figura 22. Casetas de tratamiento suelo con biocarbón. 59

Figura 24. Homogenización de suelo contaminado con biocarbón de residuos orgánicos. 61

Figura 25. Muestras de suelo para análisis de laboratorio..... 62

Figura 26. Flujograma de trabajo experimental..... 64

Figura 27. Muestra de residuos orgánicos domésticos y producto biocarbón resultante. .. 71

Figura 28. Muestra de excretas de cabra y producto biocarbón resultante..... 71

Figura 29. Muestra de residuos de poda y producto biocarbón resultante. 71

Figura 30. Concentración media de plomo por tratamientos al tiempo 1 donde se dosificó 10% de biocarbón. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p<0,05$). 74

Figura 31. Concentración media de plomo por tratamientos al tiempo 2 donde se dosificó 10% de biocarbón. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p<0,05$). 75

Figura 32. Concentración media de plomo por tratamientos al tiempo 1 donde se dosificó 20% de biocarbón. Las letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05). 75

Figura 33. Concentración media de plomo por tratamientos al tiempo 2 donde se dosificó 20% de biocarbón. Las letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05). 76

Figura 34. Concentración media de plomo por tratamientos. Las letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05). T0; testigo, T1_10p: es tiempo 1 al 10% de biocarbón, T1_20p: tiempo 1 al 20%, T2_10p: tiempo 2 al 10%; T2_20p: tiempo 2 al 20%. 76

Figura 35. Proyección de reducción del plomo del tratamiento REC/RPO al tiempo 2 con biocarbón al 20%. 79

Figura 36. Análisis de temperatura en suelos con biocarbón. 81

Figura 37. Análisis de pH en suelos con biocarbón. 83

..... 86

Figura 38. Análisis de humedad en suelos con biocarbón. 86

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS 100

Anexo 1. Operacionalización de variables 100

Anexo 2. Matriz de consistencia..... 101

ABREVIATURAS

OMS: Organización Mundial de la Salud

ANA: Autoridad Nacional del Agua

DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

MINAM: Ministerio del Ambiente

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental

RESUMEN

En la actualidad gran parte de nuestros suelos agrícolas se encuentran contaminados por metales pesados, provenientes de fuentes naturales o generados por actividades antrópicas, entre ellos, el plomo (Pb), el cual tiene la capacidad de movilizarse, es así que se considera de riesgo la presencia plomo en los productos cultivados, ingresando así a la cadena alimentaria; como consecuencia, se constituye en un problema transcendental para el desarrollo de las diferentes formas de vida. El objetivo de este estudio fue evaluar la inmovilización del plomo en suelos mediante biocarbón por pirolisis de residuos orgánicos en zona agrícola del Valle de Carapongo, el cual consistió en la producción del biocarbón de residuos orgánicos domésticos, excretas de cabra y residuos de poda, formando 6 diferentes tratamientos que se aplicaron al suelo contaminado con plomo en dosis de 10% y 20%, a los 120 y 180 días. Se usó el Diseño Experimental Completamente al Azar para la investigación del comportamiento del biocarbón en su proceso de descontaminación.

Por lo tanto, se llegó a la conclusión que todos los tratamientos evidencian eficiencia, es decir, los diferentes biocarbones de residuos orgánicos son óptimos para adsorber el plomo en suelos agrícolas, sin embargo, el biocarbón producido a partir de residuos de excretas de cabra tiene experiencias más significativas en cuanto a la inmovilización del metal en un 47%.

Palabras clave: Adsorción, biocarbón, inmovilización, pirolisis, plomo, residuo orgánico.

ABSTRACT

At present, a large part of our agricultural soils are contaminated by heavy metals, from natural sources or generated by anthropic activities, including lead (Pb), which has the capacity to mobilize, so the risk is considered of the presence of important concentrations of lead in the cultivated products, thus entering the food chain, as a consequence it is defined as a transcendental problem for different life forms.

The objective of this study was to evaluate the immobilization of lead in soils through biocarbon by pyrolysis of organic waste in the agricultural area of the Carapongo Valley, which consisted of the production of biocarbon from domestic organic waste, goat excreta and pruning waste, forming 6 different treatments that were applied to soil contaminated with lead in doses of 10% and 20%, at 120 and 180 days. The Completely Random Experimental Design was used to investigate the behavior of biocarbon in its decontamination process.

This is how the efficiency of all treatments is evidenced, that is, the different biocarbons of organic waste are optimal for adsorbing lead in agricultural soils, however, the biocarbon produced from waste from goat excreta has more significant experiences in terms of to the immobilization of metal.

Keywords: Adsorption, biocarbon, immobilization, pyrolysis, lead, organic waste.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

El Parlamento Europeo, en noviembre del 2019 aprobó una resolución que define a nuestro planeta en “emergencia climática y ambiental”. Según una nota de prensa de “El País” realizado por Planelles (2019). Las generaciones futuras tendrán que enfrentarse a duros y graves impactos del cambio climático, para ello ya se presagia que el 2019 será considerado uno de los 4 años más cálidos registrados desde 1850.

A esto se suma la Organización mundial de la Salud (OMS) que expresa que una de cada nueve muertes a nivel mundial está relacionada con la contaminación ambiental (OMS, 2018).

Entre tantas fuentes de contaminación que están ocasionando serios problemas en la calidad de nuestro ambiente, se encuentran los metales pesados, protagonistas de contaminación en suelos, aire y agua.

Los metales pesados en altas concentraciones tanto en agua como en suelos principalmente agrícolas, resultan ser un problema latente; puesto que al acumularse se constituyen como contaminantes que vulneran las diferentes formas de vida (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

De los diez metales pesados más importantes en la gravedad de problemas que genera, el plomo se ha constituido como uno de ellos, acierta la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018). Este metal puede provenir de fuentes naturales o ser sub productos generados por actividades antrópicas, especialmente por industrias y actividades mineras.

Las fuentes más comunes vienen a ser los lixiviados de relaves, liberación de sedimentos, filtraciones o derrames de materiales peligrosos, vertimientos de aguas residuales sin tratamiento y drenajes mineros (Calla, 2010). Además de agroquímicos y fertilizantes (Londoño *et al*., 2016). Y es fácilmente bioacumulado por organismos que viven tanto en suelo como en agua (Prieto et al, 2009)

Prieto *et al*. (2009) afirma que los contaminantes pueden transportarse por el aire o el agua, dependerá de la movilidad de estos, una vez en él, pueden quedar retenidos, precipitados como sólidos, o ser absorbidos por medios inorgánicos o por las plantas.

El plomo contamina el agua generando efectos preocupantes; tal es el caso de Ponce Enríquez (Ecuador) donde la minería impacta a grandes distensiones de la cuenca del rio Guayas (Hierro, López y Palet, 2017).

En el Perú, el estudio elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2012) indica que el rio Rímac contiene valores importantes de Plomo, sobre todo en la parte baja de la cuenca.

La contaminación por metales pesados también perturba la calidad del suelo, disminuyendo la población microbiana y provocando fitotoxicidad (Tello, Jave y Guerrero, 2018). Tal es el caso de Australia, donde se estima que 80 000 emplazamientos son afectados por suelos contaminados, el 19% de suelos agrícolas de China con gran índice de polución, unos 3 millones de zonas en Europa con el mismo problema y en Estados Unidos, este inconveniente es más relevante en 1300 localidades (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2018).

En nuestro país, el estudio realizado por Díaz (2016) en la Oroya evidencia la contaminación del suelo con Plomo, asimismo el caso de contaminación que sobrepasa los valores establecidos en la ciudad de Lima según Castillo (2010).

Respecto a los suelos del valle de Carapongo y su exposición al plomo, no existen datos exactos, sin embargo, Ravello (2013) mediante la Agencia de Noticias Andina, menciona que el problema más importante para los productores agrícolas yace en la contaminación de las aguas que sirven de riego para los campos de cultivo, provenientes del rio Rímac directamente. Según la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2009) preexiste el riesgo de que existan notables cantidades de plomo en los suelos agrícolas, asimismo en los productos cultivados.

La OMS (2018) señala que el plomo se incorpora al cuerpo por inhalación, por ingestión directa o mediante cadena alimentaria. Complementa la DIGESA (2010) que altas concentraciones de plomo expuestos al hombre consiguen perturbar la función renal, la hemoglobina, las articulaciones, el tracto gastrointestinal y el sistema nervioso.

Por otro lado, un problema socio ambiental latente en el Perú es la paupérrima gestión de los residuos sólidos, cuya producción es descontrolada.

Enfocándonos a nuestro país, el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2018); notifica que el Perú cada año crea aproximadamente siete millones de toneladas de residuos sólidos, y cerca del 50% no son gestionados adecuadamente, considerando que solo en Lima, se generan alrededor de 47% del total en el Perú al mismo tiempo de tener la huella ecológica más alta, por encima de lo autorizado.

Según el Romero (2014), se proyecta que el Perú en el año 2020 producirá un total de 4 247 372 toneladas de residuos orgánicos, considerándose que la recuperación de los residuos orgánicos será de un 100% por las diferentes formas que existen de poder valorizarlas.

Además de los diferentes residuos orgánicos que se generan, están los producidos por el sector ganadero, grandes volúmenes de estiércol y desechos que casi en su totalidad no son tratados, exponiéndose al medio directamente.

En nuestro país, existen abundantes corrales de animales, y la mayoría están en condiciones inadecuadas, convirtiéndose en una fuente y foco de contaminación, proliferación de enfermedades e incomodad social (Romero, 2016).

Asimismo, los restos de poda o jardinería, componen gases y lixiviados cuando se descomponen en ambientes impropios, convirtiéndose en una complicación medioambiental y una pérdida energético (Agencia Extremeña de la Energía, 2011).

Lamentablemente en nuestro país no existen suficientes infraestructuras para la disposición de residuos o para un tratamiento posterior, los residuos son arrojados en botaderos ilegales, y estos son los mayores generadores de contaminación a comparación de un relleno sanitario, afectando la calidad del aire, suelo, aguas y la salud del hombre.

Por ello, la generación de residuos se ha convertido en uno de los problemas más grandes que afectan al Perú y al mundo, siendo así, una prioridad la atención y solución de este conflicto medioambiental.

1.2. Justificación de la investigación

Los metales pesados en altas concentraciones en el suelo conforman un peligro en nuestra actualidad, por ello es apremiante la atención ineludible para reducir sus impactos. La contaminación de suelos crea una reacción en cadena incitando inestabilidad en el ambiente y el hombre.

Un suelo sano es la base del sistema alimentario, de la agricultura y el medio en el que crecen las plantas; es por ello que, los suelos agrícolas son considerados como finitos y frágiles que requieren de cuidado para que en sus óptimas condiciones produzcan productos de buena calidad, y su deterior tendrá efectos conexos a la salud humana.

Frente a esta problemática de suelos agrícolas, se presenta como solución el uso de enmiendas orgánicas, ya que tienen gran capacidad de remediar suelos contaminados de manera eficiente y viable. Entre las enmiendas óptimas para el mejoramiento de la calidad de suelos está el biocarbón, mejora la fertilidad de los cultivos y plantas, así como la materia orgánica, pH y capacidad de retener nutrientes; además, está calificado como un buen material para el secuestro de carbono y diversos estudios evidencian su eficiencia para inmovilizar y dominar el porcentaje de metales pesados presentes en el suelo.

Además, nuestra ciudad tiene relevantes falencias respecto al manejo adecuado de residuos sólidos, generándose grandes cantidades de residuos que no son tratados, ni valorizados, de modo que es necesario utilizar técnicas que nos permitan aprovechar de manera óptima los residuos, a origen de ello, el biocarbón.

Viendo los diversos beneficios que nos provee el biocarbón, se decidió aplicar en los suelos agrícolas contaminados con plomo del valle de Carapongo, como consecuencia se puedan brindar alternativas óptimas que mejoren la calidad de los suelos y por ende, los productos agrícolas y la salud de las personas.

1.3. Presuposición filosófica

El respeto por el medio ambiente, señala nuestro afecto por nuestro hogar, la tierra, y hacia nuestro prójimo porque es un patrimonio ambiental; considerando que una de las relaciones primordiales con el Creador, es mediante la naturaleza. Mencionándose así Génesis 1: 28 «Y los bendijo con estas palabras: "Sean fructíferos y multiplíquense; llenen la tierra y sométanla; dominen a los peces del mar y a las aves del cielo, y a todos los reptiles que se arrastran por el suelo"».

Lo que significa que el medio natural que nos rodea, fue dado al hombre para disfrutarla, cuidarla, y preservarla; generándose así un espacio amistoso entre el ser humano y su entorno. "Pero nuestro dominio no debería ser un dominio arbitrario, no podemos hacer lo que queremos con la creación. La autoridad que Dios nos da es autoridad bajo la autoridad de él, porque no somos los dueños sino administradores de la tierra (Salmo 24)".

El cuidado del suelo es vital para su uso sostenible, la contaminación del suelo agrícola no es saludable para humanidad; conscientes de la realidad, sabiendo que Lima cuenta con suelos agrícolas contaminados por metales pesados, es prescindible buscar alternativas para recuperar la calidad de los suelos, y esta investigación cumple con tal intención.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo principal

Evaluar la inmovilización de plomo en suelos mediante biocarbón por pirolisis de residuos orgánicos en zona agrícola del Valle de Carapongo, Lima.

1.4.2. Objetivos secundarios

- Producir biocarbón eficaz por pirolisis de residuos orgánicos domésticos, excretas de cabra y residuos de poda, al 10% y 20% en proporción a la cantidad de suelo.
- Cuantificar la concentración del plomo en el suelo, antes, durante y al final del tratamiento
- Evaluar la eficiencia del biocarbón obtenido de diferentes residuos orgánicos en diferentes proporciones para la inmovilización del plomo en suelos agrícolas del valle de Carapongo.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Ámbito internacional

En la Universidad de Córdoba se utilizó biocarbón de residuos de poda de pino y olivo respecto al desarrollo de girasol, los resultados demostraron mejoría de las características físicas del suelo aumentando su retención de agua y mejorando el pH, conductividad eléctrica; así como, demostrando que no hubo efectos negativos en dicho experimento (Alburqueque *et al*., 2013).

En el sur de la amazonia de Ecuador, se instalaron dos estudios experimentales en los suelos para testiguar el desarrollo de dos especies arbóreas, consideradas como Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y Pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) con dos niveles de fertilización y tres niveles de biocarbón obtenido de material leñoso, tras los dos años de desarrollo evidenciaron mayor altura, diámetro basal de la planta con acumulación de biomasa, mejores condiciones de fertilidad (Valarezo *et al*., 2016).

Otro estudio se realizó con el suelo obtenido de una mina de cobre del Reino Unido, llevando a cabo, tratamientos con biocarbón y compost combinados durante 4 meses en tres cosechas. Los resultados demostraron mayor presencia de materia orgánica, nitrógeno y fosforo, y redujeron el plomo y el cobre presente, resultando más eficaces que los otros experimentos para la reducción del plomo y la capacidad de captación de las plantas (Karami, Clemente, Moreno, Lepp y Beesley, 2011).

Belalcázar (2013) estudió la aplicación de cascarilla de arroz con método de pirolisis para evaluar el comportamiento de la diversidad bacteriana de suelos pertenecientes a bosques primarios no perturbados de la localidad de Chicoral, Colombia; a los 0, 30 y 60

días, demostrando el aumento de bacterias por acción del biocarbón, lo cual resulta como indicador para determinarlo como óptimo restaurador de suelos.

Asimismo, Aker (2014) en Nicaragua hizo una prueba en cultivos de maíz, mediante biocabón, gallinaza, fertilizantes sintéticos y todo lo anterior combinado sobre tres tipos de texturas de suelo, los resultados demuestraron un 78% de satisfacción respecto al biocarbón.

En México, se ha demostrado los beneficios del biocarbón respecto a la adsorción de sodio (Na) aplicando estiércol vacuno, olotes de maíz y *Typha domingensis* en suelos salinos, los resultados demostraron que los dos primeros productos tuvieron mayor capacidad de adsorber el sodio (Soria, 2016).

2.1.2. A nivel nacional

A lo largo de los años, nuestro país también se ha centrado en practicar maneras diferentes de mejorar o recuperar la calidad de los suelos. En Huaral, Ríos (2018) demostró que sus suelos tenían niveles de 391.0 mg/kg de plomo, ante esta problemática se produjo biocarbón de *Mespilus germanica L.* (níspero) y *Mangifera indica L*. (mango), y se añadió a muestras de 1 kg de suelo contaminado a 5%, 10% y 20% durante un periodo de 30 y 60 días, de los cuales, la proporción más eficiente fue la de 10% de biocarbón obteniéndose un suelo con solo 32.86 ppm.

En Amazonas, se llevó a cabo la producción de 4 kg de biocarbón de residuos de poda de Tara, a 300°C y 4 kg a 680°C, de cada muestra se extrajo 2 kg para la adición de H_3PO_4 en proporción de 10ml/100mg de biocarbón, teniendo un total de 4 calidades de biocarbón, para luego se compostaron con estiércol de vaca y poda durante 7 semanas. Todo para determinar la eficiencia de inmovilización de mercurio en el suelo, concluyéndose que el biocarbón a 680°C resultó suscitar la retención del metal mientras que el producido a baja

temperatura permitió más fitoextracción del metal por la planta (Gómez, Ladd, Muñoz, Anaya de la Rosa, 2017).

Además, existen investigaciones que se expanden a grandes aplicaciones en nuestro país, como la reciente noticia suscitada en Cusco, respecto a la planta de tratamientos de residuos para su transformación en biocarbón. “Fertilizante que se destinará al proyecto: Reforestación de un millón de árboles para el Santuario Histórico de Machu Picchu” (El Comercio, 2019)

2.1.3. A nivel regional

Condeña (2017) aplico su investigación en el Callao, un parque denominado Chota demostró un nivel de plomo de 1792.22 ppm, se elaboró biocarbón de bagazo de caña de azúcar en 3%, 5%, 10% y 50%, analizándose a los 30 y 60 días, determinó eficiencia de 61.09% respecto a la recuperación de suelos del plomo.

Una investigación efectuada en los laboratorios de la Universidad Cesar Vallejo, contó en la elaboración de biocarbón a partir de residuos de poda, en específico el molle costeño, se prepararon soluciones de plomo y se mezclaron con suelo, posteriormente se aplicó biocarbón al 20%, con un resultado de eficiencia de un 50.29% (De la Cruz, 2018).

En el distrito de Ancón, Lima; Zegarra (2015), elaboró biocarbón a partir de vísceras de pescado y lodos de lagunas de oxidación frente a suelos áridos, las proporciones aplicadas fueron de 5%, 10% y 15%.

Sus principales resultados fueron aumento de micro y macronutrientes, mejora de capacidad de intercambio iónico y mayor crecimiento y desarrollo de *Solanum Multifidum Lam,* conocida como papa nativa.

La inmovilización de plomo también fue aprovechada en el distrito de San Mateo, Romero (2017) utilizó excretas porcinas para la producción del biocarbón, aplicado a un 0%, 5%, 10% y 20% durante 2 meses, con un bioindicador denominado *"Lactuca Sativa",* conocido como lechuga americana. La eficiencia de inmovilización fue de un 77,38% demostrando así una enmienda óptima.

2.2. Base teórica

2.2.1. Residuos solidos

Los residuos sólidos con definidos como las sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido en los que su generador dispone o está obligado a disponer según normatividad a fin de evitar los riesgos que causen a la salud y el ambiente.

Según Jaramillo y Zapata (2008), no beneficiar los residuos orgánicos implicaría el agotamiento del lapso útil de los rellenos sanitarios y el acrecimiento de botaderos, contaminación por gases y lixiviados, deterioro de la calidad de los recursos de agua, aire y suelo.

Dulanto (2013) agrega a los vectores, que son medio de acceso y transmisión de microorganismos patógenos que se consiguen de los residuos orgánicos; problemática importante que preocupa la salud de las personas.

El estado de la generación y el aprovechamiento de residuos sólidos en nuestro país es crítico y existe una desmedida producción de residuos sin una valorización correspondiente. Este indicador muestra el número de áreas degradadas por residuos sólidos municipales según el Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales (SINIA, 2018), demostrando que Ancash. Cajamarca y Puno son los departamentos con mayor cantidad de áreas degradadas (Figura 1).

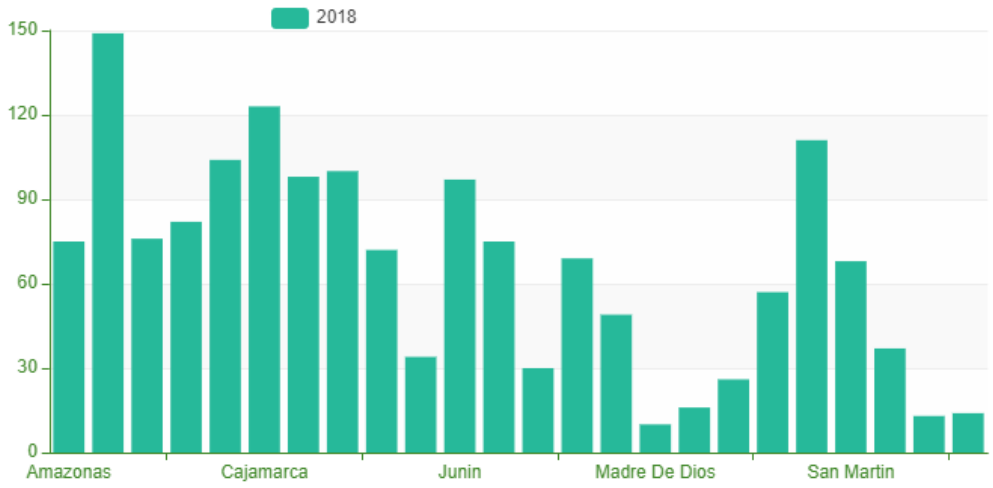


Figura 1. Áreas degradas por residuos sólidos municipales (SINIA, 2018)

De la misma manera el SINIA (2017) hizo un análisis que muestra la cantidad de residuos sólidos domiciliarios generados por habitante donde Ucayali muestra un 0.66 kg/Hab-Dia, seguido por Lima y Callao.

En Lima, el distrito con mayor generación de residuos sólidos según el SINIA (2016) es San Juan de Lurigancho con 301418 t anuales, otros distritos con altas cantidades de residuos sólidos son San Martin de Porres, Lima y Ate (Figura 2).

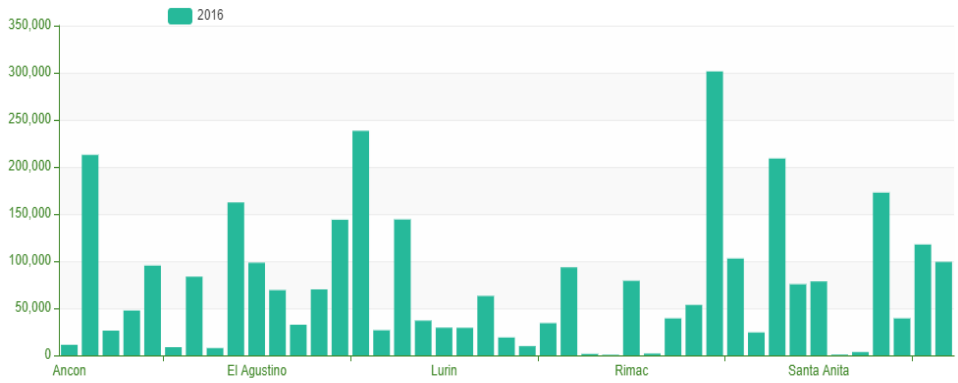


Figura 2. Generación de residuos sólidos en Lima Metropolitana (t) (SINIA, 2016)

En la actualidad la perspectiva ambiental es muy complicada. Sauri y Castillo (2002) comenta sobre una escala para el manejo de residuos sólidos, cuya parte superior de esta jerarquía está enfocado en la disminución de residuos sólidos en el origen, posteriormente se encuentra el reciclaje, hasta el composteo y la última etapa de esta jerarquía es la disposición final, por ello la última tecnología admisible es el relleno sanitario.

2.3.1. Residuos Orgánicos.

Es todo desecho de origen biológico, que en algún momento tuvo vida o fue parte de un ser vivo. Son de acelerada biodegradación y logran transformarse en otro tipo de materia orgánica (López, 2015). Según el Garita y Rojas (2015) los residuos orgánicos se clasifican en:

- Residuos de alimentos: Considerados bioresiduos domésticos, se trata de sobras de alimentos, derivados de diferentes fuentes, sea en estado crudo o cocidos.
- Excretas de animales: Son los desechos fecales de los animales, estas pueden ser de varios tipos, como cerdos, cabras, vacunos, etc.
- Restos de poda y jardín: Provienen de actividades como deshierbe o poda de áreas verdes, además encierran a residuos de cocina que se hallan en estado natural.

A continuación, se muestra un panorama de la generación y el desvío para el aprovechamiento de los residuos orgánicos (Figura 3).

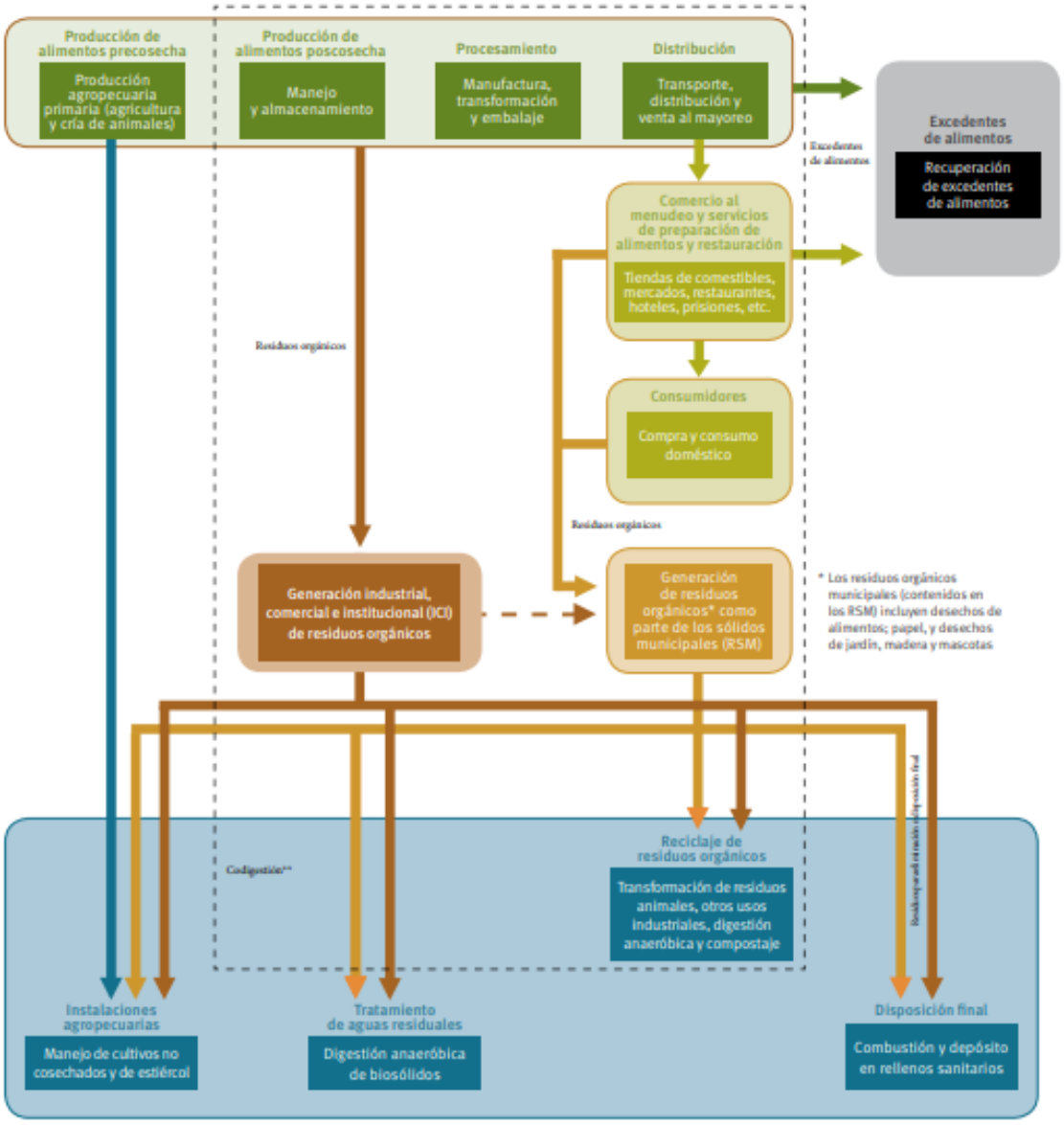


Figura 3. Generación y desvío de aprovechamiento y procesamiento de residuos orgánicos (Comisión para la Cooperación Ambiental,2017)

La inadecuada gestión produce:

2.3.1.1. Contaminación del agua.

Según Fernández (2006) los residuos orgánicos, al degradarse forman lixiviado y contiene sustancias tóxicas.

Para el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2009), la materia orgánica en el agua causa acidificación por medio de los microorganismos, eliminando así, el oxígeno, lo cual es un elemento vital para la supervivencia de los organismos acuáticos.

2.3.1.2. Contaminación del suelo.

Los lixiviados de residuos orgánicos se infiltra por medio del suelo, perjudicando la productividad del suelo y su microfauna.

Según Galán, Gomes, Bellinfance y Aparicio (2003), los compuestos orgánicos traen efectos devastadores sobre los organismos que habitan en el suelo, originando la reducción de la actividad de microorganismos.

2.3.1.3. Contaminación en el aire.

El proceso de descomposición de los residuos orgánicos, generan gases de efecto invernadero, como metano, óxido nitroso y dióxido de carbono (Rojas, Sheinbaum y Orta, 2001).

2.3.1.4. Efectos en la salud del hombre.

Escalona (2014) indica que mala disposición de residuos sólidos provocan infecciones respiratorias, irritaciones de ojo y nasales, la transmisión de enfermedades como el dengue, malaria y parasitismo intestinal, entre otras enfermedades causadas por microbios productos de la acumulación de residuos en espacios inadecuados.

2.4. Metales pesados

Este término es referido a algún elemento químico metálico que sea tóxico incluso en concentraciones menores y tengan alta densidad (Prieto, González, Román y Prieto, 2009). Romero (2009) los define como sustancias naturales del ambiente con alto peso molecular, útiles y difundidos, pero en concentraciones distintas resultan afectar la salud ambiental y del hombre. Los metales pesados son los contaminantes más comunes en el suelo, cubren un 34.8%, según la Agencia Europea de Medio Ambiente (Rodríguez y Gómez, 2016).

Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González (2016) mencionan que los metales pesados, al tener contacto con cuerpos acuáticos, se transforman y se distribuyen con diferentes peculiaridades fisicoquímicas, debido a procesos biogeoquímicos.

Además, son denominados como los contaminantes más grandes del medio ambiente. El plomo, el que tiene más incidencia de propagación en el mundo, el mercurio y el cadmio. Mahecha, Trujillo y Torres (2015) considera que la producción agrícola tiene bastante relación respecto a la contaminación de metales pesados, ya que facilita la trasmisión en el vínculo suelo, planta y consumidor; y están relacionados con el uso fertilizantes, plaguicidas, entre otros.

2.4.1. Contaminación del suelo por metales pesados

El suelo es el medio de vida para muchas otras formas de vidas, este sustrato posee gran significancia puesto que en él se afirman especies vegetales, animales terrestres, sistemas de cultivos, etc. Sin embargo, por las diferentes actividades antropogénicas, estos pueden acumularse mediante la adsorción, solubilización, cambios en estado de oxidación, precipitación, o por asimilación de las plantas a causa de distintas reacciones químicas. (Balderas, Cajuste, Lugo y Vásquez, 2003).

El metal pesado en el suelo puede repartirse paulatinamente entre los elementos de la fase sólida en dependencia de las propiedades mismas del suelo, el tiempo, la introducción y las especies del metal (Prieto, González, Román & Prieto, 2009).

También existen propiedades que favorecen la movilidad y la disponibilidad de los metales pesados en el suelo, como la materia orgánica, contenido de arcilla, el pH (Arévalo, Obando, Zúñiga, Arévalo, Baligar y Zhenli, 2016). Además de la composición iónica, capacidad de intercambio iónico, potencial redox, presencia de carbonatos, textura, etc. (Prieto, González, Román & Prieto, 2009). Las particularidades del suelo desempeñan una función reveladora en la toxicidad de los metales.

Romero (2009) alude que los metales pesados difieren en la alcalinidad del suelo, degradación de su calidad, lo que estimula la desertificación y modificación en el sistema de las plantas. Asimismo, inhiben el crecimiento natural de la planta, disminuye, además, la población microbiana generando polución de suelos.

Manifiesta Puga, Sosa, Quintana y Campos (2006) que la textura del suelo se desequilibra, la estructura edáfica disminuye, los nutrientes se desnivelan, el enraizamiento de las plantas se dificulta, la retención del agua baja y se irrumpe de compuestos tóxicos.

Por ser no biodegradables, tóxicos y su biodisponibilidad en los cultivos resultan sumamente peligrosos, esto último significa que es fácil de aumentar su concentración en un organismo vivo en un plazo de tiempo en comparación a su concentración en el ambiente (Prieto, González, Román & Prieto, 2009).

2.4.2. El Plomo (Pb)

Considerado un contaminante con alta toxicidad y su presencia es generada mayormente por actividades industriales, fundición y minería. El plomo con símbolo Pb, es un elemento que químicamente se considera un metal pesado y se ubica en la tabla periódica en el periodo 6 y grupo IV A. El uso de este metal tiene múltiples aplicaciones; se dan en procesos industriales y se usa tanto en forma sólida, como líquida, generándose polvo, humos o vapores

Más del 95 % del plomo actual acumulado en el ambiente, es de origen antropogénico.

Según Rodríguez *et al*. (2016), el proceso que el plomo tiene para provocar su efecto tóxico, se divide en tres etapas:

- La fase de exposición: Percibe el procedimiento de evoluciones químicas, degradación, biodegradación y desintegración que se ocasionan entre diferentes tóxicos y/o la influencia que tienen los elementos ambientales.
- La fase toxicocinética: Considera la absorción de los tóxicos en el organismo y todos lo proveniente de ello, como la transferencia por los fluidos corporales, distribución y acumulación en tejidos y órganos, biotransformación en metabolitos y eliminación por excretas.
- La fase toxicodinámica: "Comprende la interacción de los tóxicos (moléculas, iones, coloides) con lugares de acción específicos en las células o dentro de ellas (receptores), con el resultado de un efecto tóxico" (Rodríguez *et al*., 2016)

2.4.2.1.Efectos del plomo en la salud del hombre

Balderas et al. (2003) alega que los metales pesados, tienen la capacidad de permanecer durante varios años en el ambiente, después de ser emitidos al mismo; la bioacumulación tras ser ingeridos entre seres vivos, ya sea por plantas o animales, genera intoxicación (Figura 4). Este metal pesado, es absorbido por:

- Ingestión
- Inhalación
- Cutánea, por medio de la piel

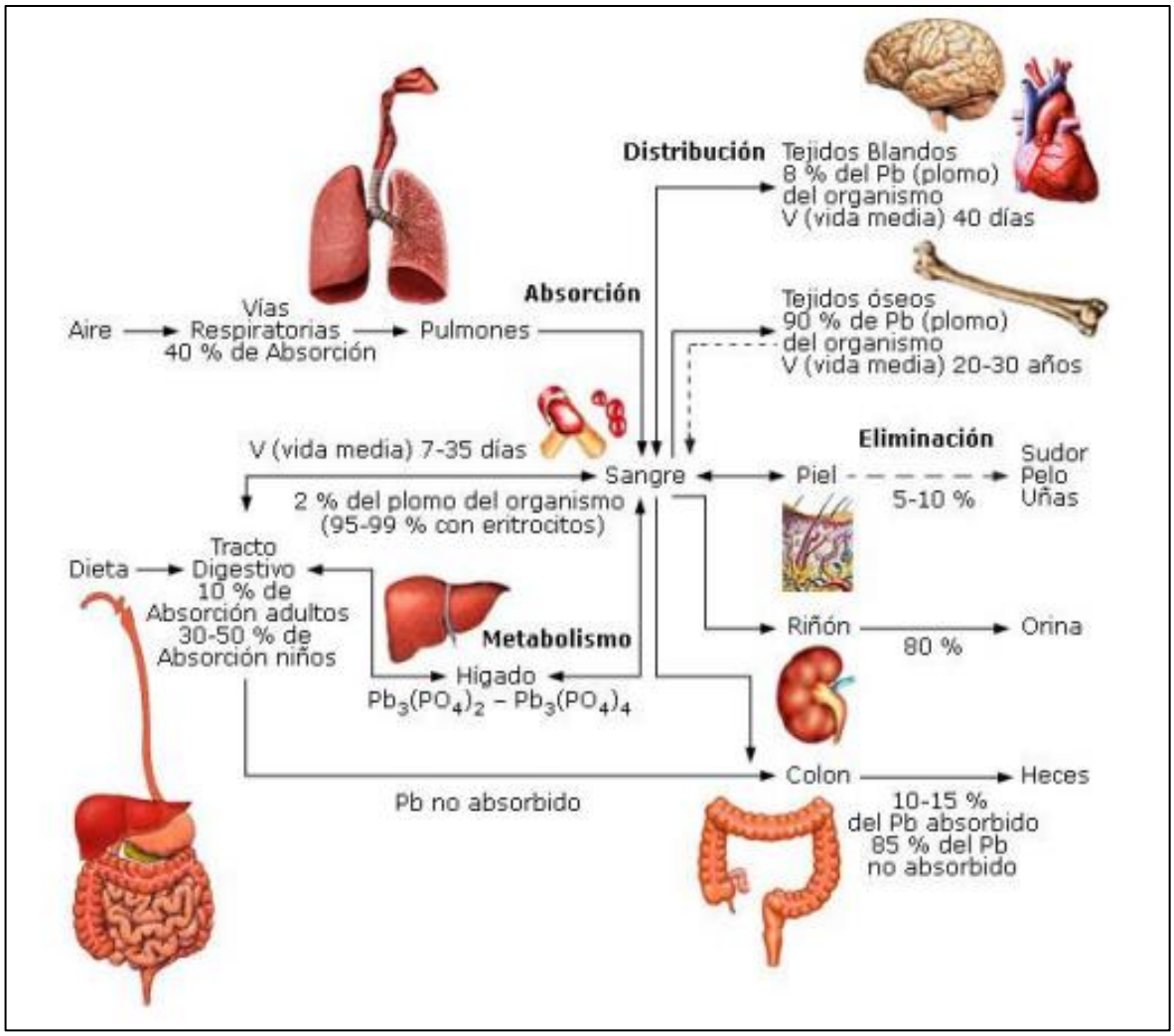


Figura 4. Toxicocinética del plomo en el organismo humano. (Rodríguez et al.,2016)

El plomo inorgánico solo logra ingresar por las dos primeras formas y no consigue ser metabolizado por el organismo, pero el plomo orgánico si puede acceder por cualquiera medio (Rodríguez *et al*., 2016).

Y sus principales medios de exposición pueden ser por la inhalación de partículas ocasionadas por la combustión de materiales que contienen plomo, y por la ingestión e alimentos o agua contaminada con plomo, además del polvo (Reyes, Vergara, Torres, Díaz & González, 2016).

El plomo que traspasa la piel transita por medio de los folículos pilosos y glándulas sebáceas y sudoríparas concisamente al torrente circulatorio. De darse por vía respiratoria se dispone con proteínas o con el dióxido de carbono espirado, creándose $PbC0_3$ soluble, aunque, en las personas la absorción de plomo por vía inhalatoria es menor, sin embargo, parte del plomo se precisa en la saliva y se pasa, es así que este medio es considerado como la más riesgosa. Respecto a la absorción digestiva, los adultos absorben el 10% mientras que los niños absorben hasta el 50% del Pb ingerido y tienden a retener mayor concentración del plomo en su organismo (Gutiérrez, Izquierdo, Revert, Lozano y Hardisson, 2013).

El Dr. Eróstegui (2009) afirma que el plomo, llega a causar daños en las neuronas del cerebro, la medula, es decir, el riñón; enfermedades como la esclerosis, parestesias, insuficiencia renal, también conductas antisociales, fatiga, retardo mental, problemas cognitivos.

En temas gastrointestinales, provoca anorexia, estreñimiento, espasmos intestinales, dolor de abdomen, dolos de cabeza, aparte puede ocasionar parálisis de músculos. (Londoño et al., 2016).

Entre los efectos generales podemos mencionar el efecto hematológico, efecto neurológico, renal, efecto cardiovascular, hepático, reproductivo y hasta efectos en el ADN; estos y más efectos negativos que el plomo tiene en la salud confirma que dicho metal no tiene ninguna función en el organismo de un ser vivo (Rodríguez *et al*., 2016).

2.5. Pirolisis

La pirolisis, afirma Condeña (2017) viene a ser la descomposición termoquímica de una materia de origen orgánico por calentamiento, produciéndose por encima de los 300°C.

Teniendo como principales resultados, productos sólidos, líquidos y gaseosos, tales como el carbón, el bio oil y el biogás respectivamente (Guevara y Pablo, 2016).

$$C_nH_mO_p(Biomasa) + Calor \xrightarrow{calor} \sum_{liquido} C_xH_yO_z + \sum_{gas} C_aH_bO_c + H_2O + C(char)$$

Figura 5. Proceso de la pirolisis (Guevara y Pablo, 2016)

Este proceso de pirolisis (Figura 5), se lleva a cabo mediante una serie de reacciones como la composición y la estructura de la materia que se utilizará, influye, además, la velocidad de calentamiento, tiempo de proceso, velocidad de enfriamiento y temperatura. (Urien, 2013)

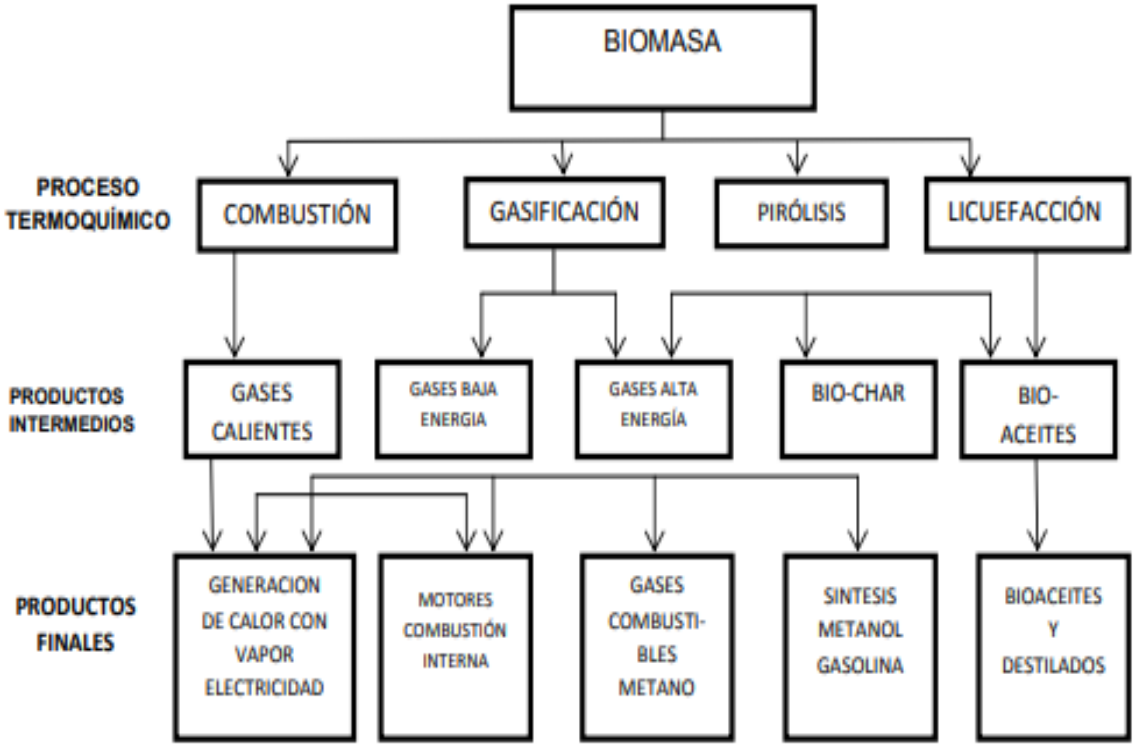


Figura 6. Esquema de los principales procesos termoquímicos y los productos intermedios y finales que se obtienen de ellos (Urien, 2013).

2.5.1. Tipos de pirolisis

2.5.1.1.Pirolisis lenta.

Es la técnica más común, enfocado básicamente en la producción del biocarbón; el proceso es caracterizado por tener resoluciones lentas de calentamiento, temperaturas menores a las de la pirolisis rápida, aproximadamente a los 400°C y duraciones largas, pudiendo tardar hasta varias horas (Guerra, 2015).

2.5.1.2.Pirolisis rápida.

Esta técnica está enfocada a la producción de energía, su velocidad de calentamiento es elevado, las duraciones cortas y la temperatura oscila a partir de los 500°C (Guerra, 2015).

2.5.1.3.Pirolisis ultrarrápida.

Según Urien *(2003) y* Ibarrola, Evar & Reay (2013), se caracteriza por trabajarse a temperaturas por encima de los 1000°C y los tiempos de resistencia son reducidos, y está enfocado a la producción de bioaceites teniendo un rendimiento de aproximadamente 70% (Figura 6).

	Temperatura y duración	Sólido (biocarbón)	Líquido (aceite bio)	Gas (syngas)
Pirólisis lenta	~500 °C, días	35%	30%	35%
Pirólisis rápida	~500 °C, seg.	12%	75%	13%
Gasificación	>800 °C, horas	10%	5%	85%

Figura 7. Rendimientos de pirolisis (%) en función al tipo y a las fracciones obtenidas (Ibarrola, Evar & Reay, 2013).

2.5.2. Variables que intervienen la Pirolisis.

Para Escalante et al. (2015) existen constantes que afectan el mecanismo de las reacciones que se dan en el proceso de la pirolisis, el cual interfiere directamente en el rendimiento del producto final.

- Composición del sustrato

- Intervalo de calentamiento, representa la acción de la temperatura que incluido el tiempo de duración y la intensidad, perturban las reacciones del proceso.

- Temperatura, es un factor determinante, cuando hay temperatura baja y el tiempo de residencia es alto, los rendimientos líquidos y sólidos son mayores, sin embargo, a temperaturas elevadas, existe beneficio para la producción de gases (Guevara y Pablo, 2016).

2.5.3. Ventajas y desventajas de la pirolisis

Según define Canales (2017):

2.5.3.1.Ventajas de la pirolisis.

- Se forma una porción liquida sencilla de manejar.
- Se reducen las emisiones atmosféricas por ser un proceso cegado.
- La materia secundaria de otros procesos sirve como combustible.
- Todos los subproductos producidos sirven para reutilizarse.
- En relación a la energía, se trata de un proceso autosuficiente.
- No se forma gases contaminantes que normalmente se originan en la combustión.
- El volumen de los residuos, al igual que la firmeza de la lixiviación d los metales pesados reducen (Cueto, 2016).

2.5.3.2.Desventajas de la pirolisis

- El material de alimentación requiere de un tratamiento previo (humedad y uniformidad) para no afectar el rendimiento.
- Existe menor rendimiento de los combustibles generados por pirolisis en comparación con los combustibles de origen fósil.

2.5.4. Formación del biocarbón

Según Urien (2013) para la formación del biocarbón está constituido por 3 fases:

- La primera etapa consiste en la eliminación de humedad de la biomasa y existe volatilización de algunos compuestos.
- La segunda etapa se trata de la producción del biochar (biocarbón) primario, en esta etapa se generan gases y hay volatilización de compuestos orgánicos.

- Finalmente, en la tercera etapa, se descompone el producto generado en la segunda etapa (biocarbón primario) y se forman solidos con gran contenido de carbono fijo, constituyendo así el biocarbón secundario, conocido también como el residuo final.

2.6. Biocarbón

Conocido como proceso termoquímico, ya que utilizan el calor a altas temperaturas para el medio de transformación y según el oxígeno disponible, pueden ser procesos de combustión, gasificación y pirolisis, además se pueden utilizar diversas materias primas, especialmente que contengan carbono generando así productos de naturaleza diferente (Fernández, 2010). En otras palabras, desde el punto de vista productivo, es la descomposición de materia orgánica térmicamente con oxígeno condicionado (Romero, 2017).

Viéndolo desde el enfoque químico, el biocarbón puede ser producido a partir de diversas materias y en diferentes condiciones generando así características específicas y con una perspectiva aplicativa, el biocarbón es definido como una enmienda para el suelo, por sus propiedades (Guerra, 2015). Llamado así, pirolisis de biomasa (Condeña, 2017).

Escalante et al. (2015) define al biocarbón como un solidos carbonoso, amorfo y oscuro, las características de su estructura tienen relación con el tiempo y el tipo de pirolisis, el tipo y el tamaño de la materia prima. Que requiere una temperatura de entre 350 °C y 900 °C máximo para su obtención (Herrera, 2018).

Se afirma que la principal característica que le otorga el potencial de adsorción al biocarbón, es el área, tamaño y distribución de los poros, estos pueden ser micro poros (<2 nm), meso poros (<50 nm) y macro poros (>50 nm) (Bejarano y Aguilar, 2017).

El biocarbón es un producto con gran contenido de carbono, tras el calentamiento de la biomasa en un horno con poco o nada de oxígeno, mediante una transformación térmica. (Iglesias, 2018)

Iglesias (2018) asevera mediante su investigación, que el biocarbón es una herramienta de aprovechamiento y mejoramiento para suelo, recomendada por la FAO (Food and Agriculture Organization),

Además, Guevara y Pablo (2016) afirman que a comparación del total de biomasa que ingresa al proceso de pirolisis, se alcanza obtener biocarbón entre un 40% a 80%. Y de esta se conserva la mayoría de nutrimentos que contenía la biomasa originaria (Arbaz, 2011).

El rendimiento de los productos de biocarbón depende de: Composición de la biomasa, temperatura de la pirolisis, presión, rampa de calentamiento, tiempo de residencia de la pirolisis y tipo de reactor (Canales, 2017).

La variedad de materia prima para la producción del biocarbón es abundante, es decir, pueden ser de beneficio los residuos forestales, agrícolas, de granja, industriales y hasta domésticos, llevando así a un nivel de interés el aprovechamiento de residuos orgánicos.

2.4.1. Composición del biocarbón

Fundamentalmente la composición dependerá de la materia prima utilizada, no obstante, cuenta con componentes básicos como el carbono orgánico recalcitrante y macros/micros nutrientes, además de oxígeno, azufre, hidrogeno, metales pesados, compuestos orgánicos y cationes básicos, y en algunos casos hidrocarburos aromáticos (Guerra, 2015).

Cueto (2016) determina tres fracciones obtenidas del proceso de pirolisis:

1. Fracción liquida. Formada por fracciones acuosas compuestas por agua y elementos orgánicos hidrosolubles y una fracción orgánica, esto dependerá de la constitución de la biomasa (Cueto, 2016). Bejarano y Aguilar (2017) comenta que el producto liquido puede ser transformado a combustible para combustión y generación de energía.

2. Fracción gaseosa: Compuesto por dióxido de carbón, oxido de carbono, hidrogeno, oxigeno, nitrógeno e hidrocarburos (Cueto, 2016). El gas que es generado por la pirolisis se utiliza para la producción de energía térmica y mecánica, o simplemente utilizado para otros productos (Bejarano y Aguilar, 2017).

3. Fracción sólida: Cueto (2016) afirma que el biocarbón viene a ser el producto solido con alto contenido de carbono. Los productos solidos generados pueden servir como materia prima para producir biocarbón o como combustible para otros procesos (Bejarano y Aguilar, 2017).

2.4.2. Efecto del biocarbón en el suelo y el medio ambiente.

Ramírez (2018) resalta la importancia del biocarbón por sus aplicaciones en la agricultura y en temas ambientales. Se ha demostrado que es ventajoso para reducir la disponibilidad de ciertos contaminantes consintiendo su remediación y desarrolla la fertilidad del suelo (Romero, 2017).

Además, se le considera como una de las mejores formas de mitigación del cambio climático por su potencial para secuestrar carbono, analizándo recientes investigaciones estiman que el tiempo aproximado de residencia del carbono en el biocarbón reside entre 90 y 1600 años (Bejarano y Aguilar, 2017).

A esto agrega Arbaz (2011) que el biocarbón mejora la capacidad de almacenamiento de agua y la absorción de nutrientes, la actividad microbiana, fija metales pesados y hasta los efectos de los pesticidas.

Añade Soria (2016) acrecienta la retención de macronutrientes, como fosforo, calcio, nitrógeno, potasio y magnesio y micronutrientes, cobre, zinc, manganeso y hierro. Considerando lo imprescindibles que son para la sostenibilidad del suelo y la agricultura.

Escalante et al. (2016) comenta que el biocarbón retarda el retorno del CO2 a la atmosfera, ya que es un estilo de carbono recalcitrante, lo que es beneficioso para la preservación del medio ambiente, logra estabilizar el carbono y almacenarlo en el suelo.

Es decir, la producción de biocarbón mediante este método, evita 3 kilogramos de emisión CO2 en comparación con los combustibles fósiles (Guevara y Pablo, 2016). O en la descomposición de la biomasa misma (Belalcázar, 2013).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Ámbito de estudio

Comprendió el estudio de suelo agrícola de una parcela del valle de Carapongo perteneciente a la asociación María Magdalena, del distrito de Lurigancho-Chosica, Lima (Figura 7).

Figura 7. Lugar de ejecución del proyecto, hay que señalar el lugar del muestreo en el mapa.

El trabajo experimental fue realizado en el campus de la Universidad Peruana Unión (UPeU), ubicado a 19.5 km del distrito de Lurigancho, Chosica, provincia de Lima, departamento de Lima.

El análisis de las muestras de suelo con biocarbón de residuos orgánicos y para medir la presencia de plomo, se realizaron en los laboratorios de la Universidad Agraria de la Molina.

El análisis del suelo para la medición de la temperatura, humedad, densidad aparente y pH, se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UPeU.

3.2.Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, ya que el estudio se aplicó como un procedimiento de solución ante el problema ya especificado, mediante el uso de variables que permitirán los resultados deseados.

3.3.Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue experimental.

3.3.1. Hipótesis general.

La aplicación del biocarbón a partir de residuos, si inmovilizan de manera óptima el plomo presente en suelos agrícolas.

3.3.2. Hipótesis específicas.

- Los residuos orgánicos domésticos, excretas de cabra y residuos de poda; son materias precursoras eficaces para la producción de biocarbón.
- Las concentraciones de plomo presente en suelos agrícolas, demuestran resultados de reducción de plomo en el tiempo 1 (120 días) y tiempo 2 (180 días).
- La inmovilización del plomo mediante el biocarbón de residuos orgánicos domiciliarios, excretas de cabra y residuos de poda son eficientes para el tratamiento de suelos agrícolas.

3.3.3. Muestreo y análisis de plomo en suelo

Las muestras fueron tomadas de suelo agrícola de una parcela del valle de Carapongo perteneciente a la asociación María Magdalena, con latitud de -12.000167 y longitud -76.857833, ubicada en el distrito de Lurigancho Chosica, mediante el muestreo compuesto definido por la Guía para Muestreo de Suelos – 2014, se obtuvieron 130 kilos de tierra a una profundidad de muestreo 30 cm (Figura 9).

Figura 9. Ubicación del área de estudio.

Según la Guía para muestreo de suelos (MINAM, 2014), se razonó el número mínimo de puntos de muestreo según el área de interés, para 1 hectárea (Ha) se considera 9 puntos de muestreos en total.

Además, se llevó a cabo el procedimiento aleatorio sobre rejilla regular que consiste en el trazo de líneas paralelas y perpendiculares, generando celdas de igual dimensión, esto depende del detalle que se requiere, y se marca un punto en cada celda, que será el punto de muestreo, de la homogenización de las sub muestras, se obtuvo una muestra final que fue utilizada para la investigación.

3.3.4. Recolección y adecuación de materia prima

3.3.4.1. Zona de acopio

La zona de acopio, estuvo ubicada dentro del campus universitario, básicamente consistió en un piso implementado de tierra firme cubierto por material aislante para evitar la contaminación de los residuos por agentes externos o viceversa. Fue útil para la selección adecuada, secado y almacenamiento de los residuos orgánicos precursores del biocarbón (Figura 10).

Figura 10. Zona de implementación para pirolisis.

3.3.4.2. Obtención de residuos orgánicos domésticos (ROD)

Los residuos orgánicos fueron recolectados del comedor universitario de la UPeU (Tabla 1 y Figura 11), compuesto generalmente por cascaras de frutas y verduras. El proceso de recolección fue durante 2 días.

Posterior a ello fueron situados en la zona de acopio donde se seleccionaron los residuos de interés, y fueron expuestos a temperatura ambiente durante 5 días con la finalidad de reducir la humedad presente, según confía Ramírez (2018). Se obtuvieron 12.950 kilogramos de residuos orgánicos domésticos.

Tabla 1

Residuos orgánicos domésticos recolectados

Residuos orgánicos	Peso
Cascara de sandía	300 g
Corona de piña	1.100 kg
Cascara de naranja	900 kg
Cascara de huevos	90 g
Cascara de plátano	250 g
Residuos de vegetales	750 g
Cascaras de alverjas	900 g

Figura 11. Recolección de residuos orgánicos domésticos provenientes del comedor universitario.

3.3.4.3.Obtención de excretas de cabra (REC)

Las excretas de cabra (Figura 12), provinieron de una granja ubicada en la prolongación Ramiro Prialé de Ñaña, en el distrito de Lurigancho - Chosica. Se recolectaron 12.2 kilogramos de excretas, estas fueron dispuestas en la zona de acopio determinada para ese fin, posteriormente permanecieron expuestos a temperatura ambiente para su secado por 5 días antes de ser carbonizado.

Figura 12. Recolección de residuos de excretas de cabra.

3.3.4.4. Obtención de residuos de poda (RPO)

Fueron comprendidos básicamente de ramas secas de *Schinus molle* (Molle) y *Caesalpinia spinosa Kuntze* (Tara), recolectándose un total de 10.3 kg (Figura 13). Para dicha cogida se tomaron en cuenta las actividades realizadas por el departamento de Ornato de la UPeU. Posteriormente fueron secados por aproximadamente 10 días según recomienda De la Cruz (2018). Y se cortaron de manera cuasi uniforme para facilitar su ingreso al horno de pirolisis.

Figura 13. Recolección de residuos de poda.

3.3.5. Construcción y acondicionamiento del horno de pirólisis.

Para la construcción del horno se consideró adecuaciones de diseño, obtenidas de los científicos de suelo Wells, Nilsson y Battle (2013) con las siguientes características:

1. Un cilindro metálico pequeño de 38 cm de diámetro y 46 cm de alto, cerrado en su totalidad, acomodada de una tapa a su medida, esta fue la cámara ubicada en la parte interna del horno (figura 14).

2. Un cilindro grande, de 56 cm de diámetro y 90 cm de alto, estos tuvieron orificios alrededor de las paredes del cilindro en la parte inferior y superior, con el fin de permitir el flujo adecuado de compuestos volátiles productos del proceso. Se incluyó también una tapa acondicionada con un tubo de 60 cm de alto y cm de diámetro para favorecer la ventilación (figura 14).

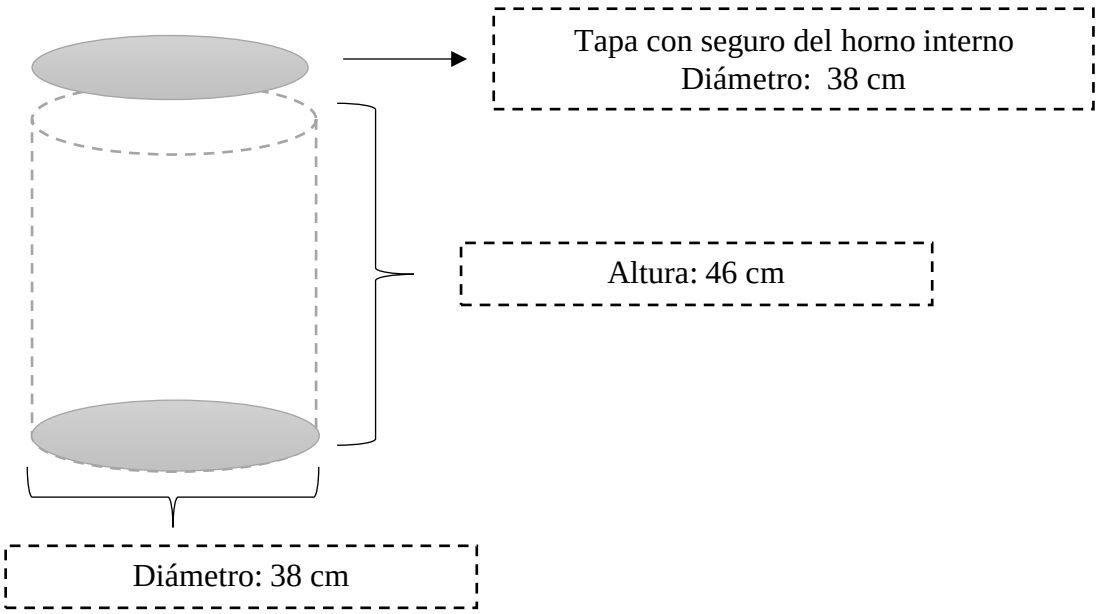


Figura 14. Diseño de horno interno de pirolisis.

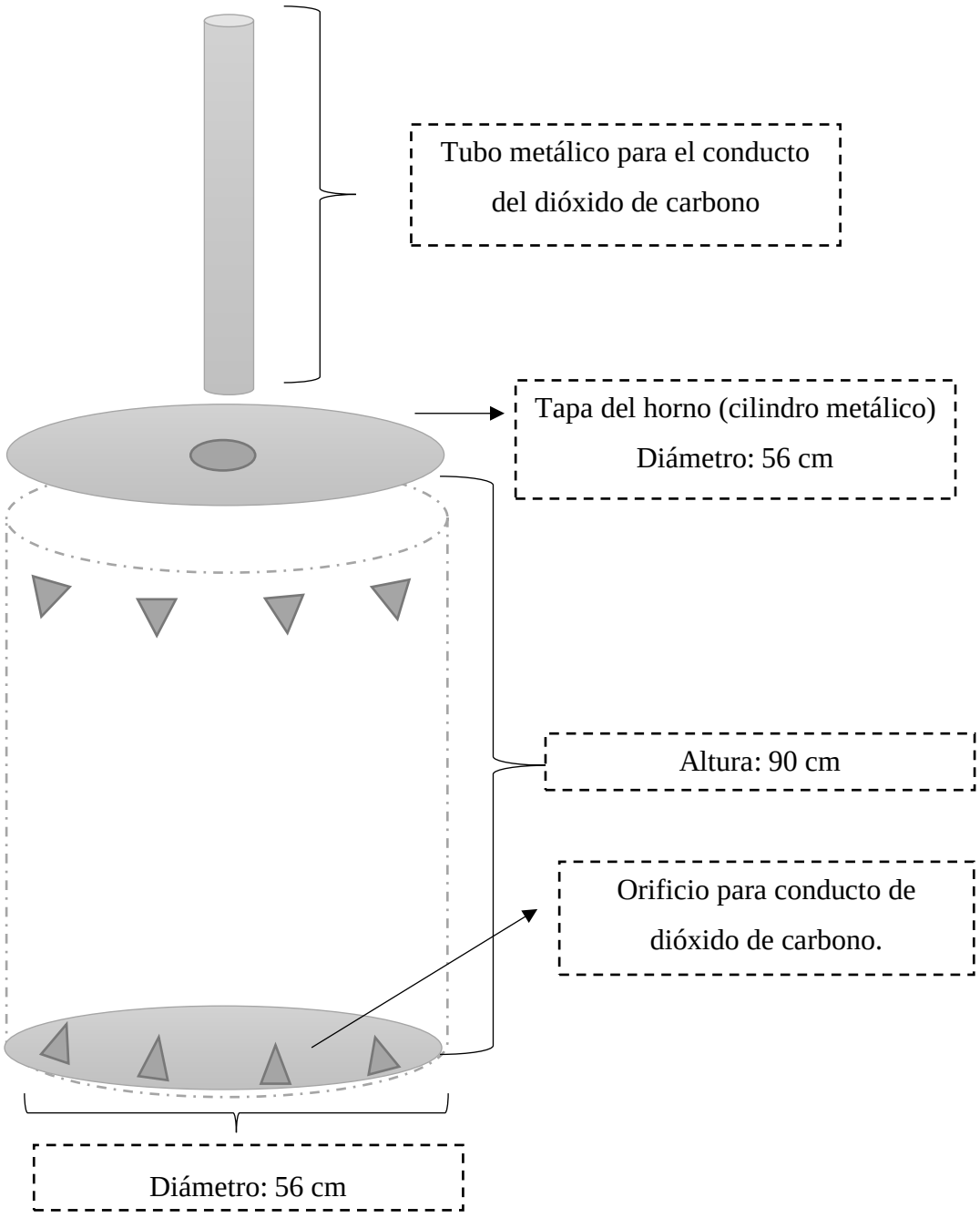


Figura 15. Diseño de horno de pirolisis.

3.4.Producción de biocarbón

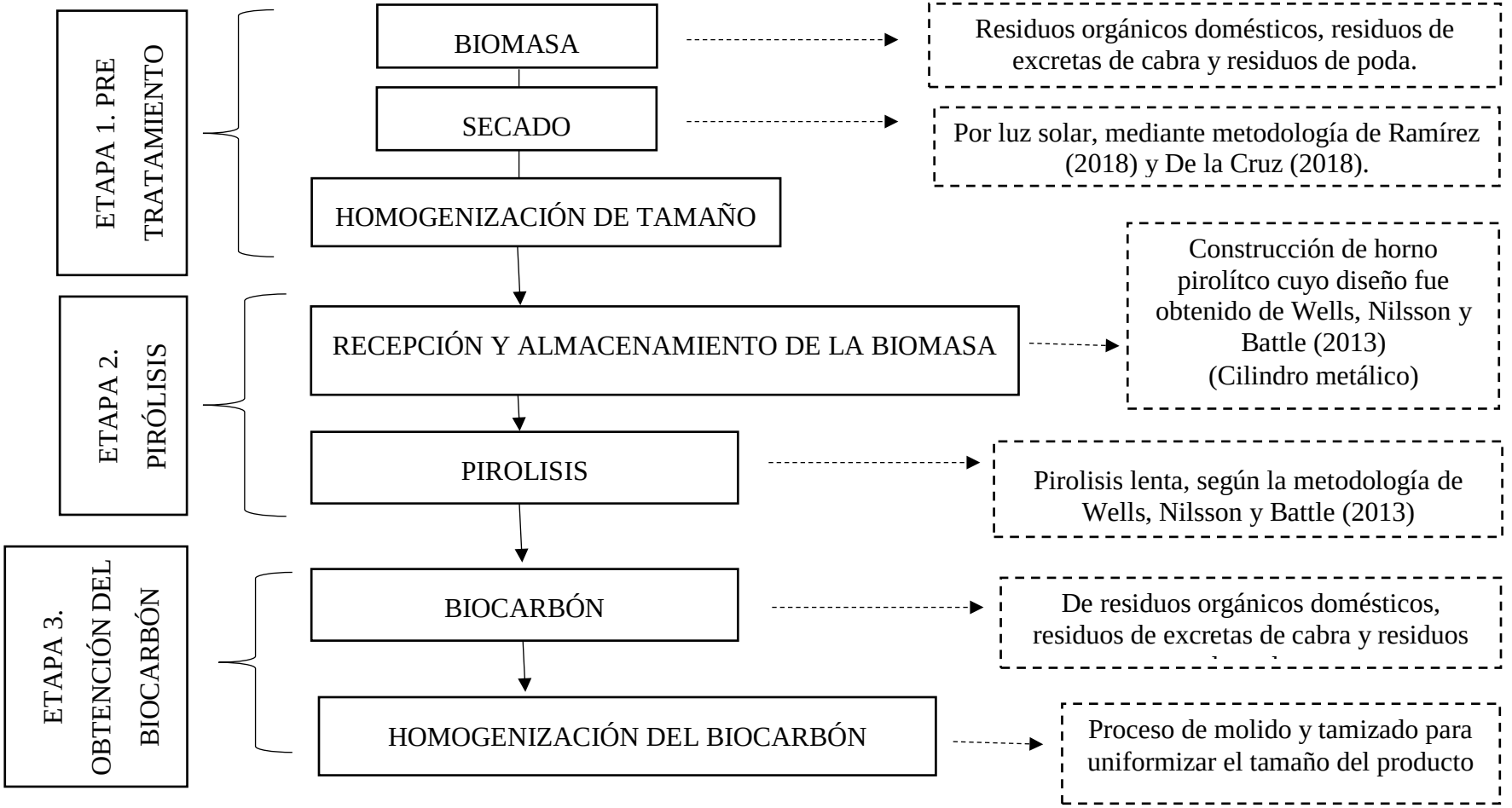


Figura 16. Flujograma de la producción del biocarbón a partir de residuos orgánicos.

El procedimiento del pre tratamiento se puede visualizar en los textos anteriores (Ver ítem 3.5)

Para la producción del biocarbón se consideró el proceso de pirolisis (Figura 17) mediante las siguientes etapas:

a. Según el tipo de residuo orgánicos, fueron colocados al interior del horno, en el cilindro pequeño, cuya capacidad es de 0.05 m^3.

Posteriormente se aseguró con la tapa correspondiente, para evitar la fuga de gases que se generaron durante el proceso. Se tuvo que repetir el proceso 3 veces por tratarse de diferentes tipos de residuos orgánicos.

Figura 17. Preparación del residuo orgánico para la pirolisis.

b. Al ser el cilindro interno más pequeño (Figura 18), el área restante entre este y el cilindro grande fue rellenado con material de combustión, es decir, leña, ramas secas, etc.

Figura 18. Material de combustión para el horno de pirolisis.

c. Posteriormente se prendió el fuego dentro del horno (Figura 18) desde la parte superior de este.

Figura 19. Horno de pirolisis prendido por combustión.

d. Una vez que el fuego se esparció en la parte superior del horno, este fue cubierto por la tapa externa. El tiempo requerido para el proceso de pirolisis fue de aproximadamente 3 horas (Figura 20).

Figura 20. Proceso de pirolisis en el horno.

e. Despues de la pirolisis se dejó reposar el horno durante 5 horas aproximadamente para su enfriamiento. Cuando el horno se encentró frio, el biocarbón fue acumulado en un espacio adaptado para su total enfriamiento, el tiempo considerado para dicho proceso fue de un par de horas adicionales (Figura 21).

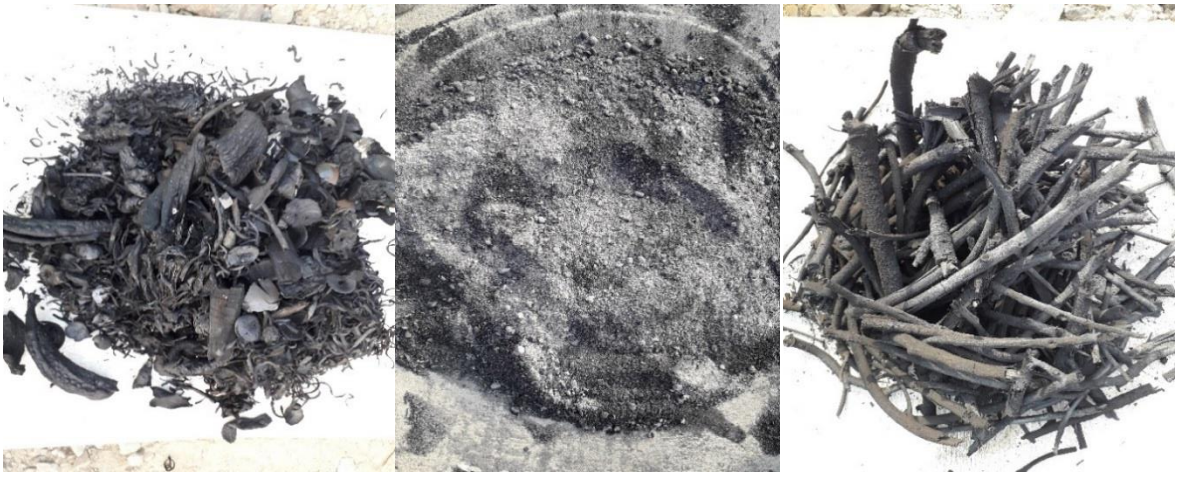


Figura 21. Biocarbón producido a partir de residuos orgánicos domésticos, excretas de cabra y residuos de poda.

3.4.1. Instalación de casetas de suelo.

El sustrato de tierra, que fue utilizada como muestra para el tratamiento, perteneció a una parcela del Valle de Carapongo. Estas fueron aisladas en casetas de madera con medidas de 60 cm2 y adaptadas con material aislante, cada caseta de suelo contuvo 2 kilos de suelo (Figura 22 y 23).

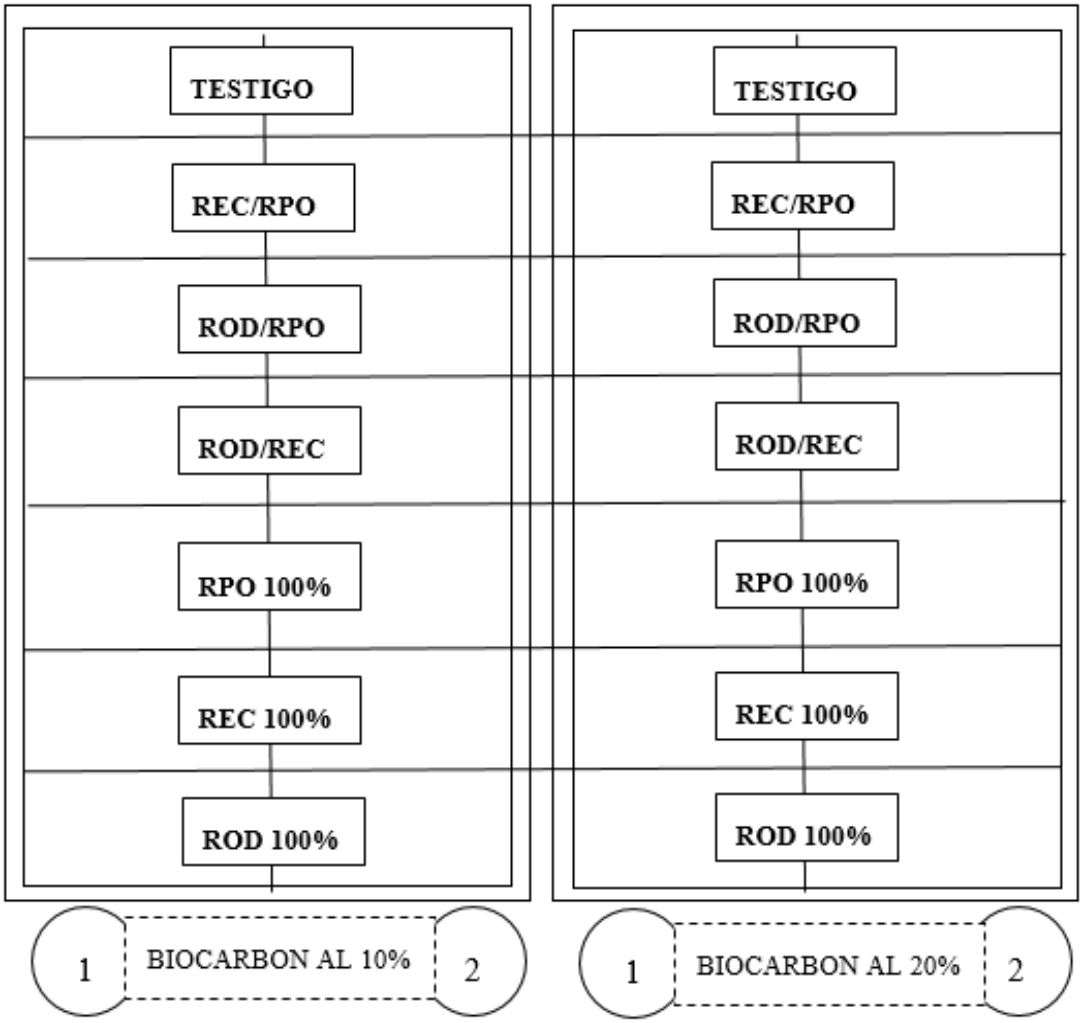


Figura 22. Casetas de tratamiento suelo con biocarbón.

Figura 23. Instalación de casetas de suelo.

3.5.Homogenización del suelo y el biocarbón.

Para ello se mezcló el suelo con el biocarbón de acuerdo al peso del suelo, Arbaz (2011) recomienda que las cantidades sean moderadas. De manera que no comprometan las funciones naturales del suelo o el ambiente, aun no existen autores que determinen una cantidad exacta para aplicar en suelos agrícolas. (Culturaedafica in Fertilidad, Uncategorized, 2018).

Cada caseta contuvo 2 kilogramos de suelo contaminado, para lo cual, se añadió el 10% y 20% de biocarbón respecto al peso del suelo, es decir 200 gramos y 400 gramos respectivamente. Los tratamientos conforman 6 muestras de 10% y 6 muestras de 20% de biocarbón respecto a la cantidad de suelo con su repetición correspondiente y una muestra testigo (Figura 24).

Figura 24. Homogenización de suelo contaminado con biocarbón de residuos orgánicos.

3.6.Análisis de suelo con biocarbón.

Se tuvo en cuenta la medición y observación del comportamiento de parámetros como:

- La temperatura, se analizó mediante un termómetro de suelo, donde se sumergió la varilla del termómetro en un vaso precipitado cubierto de la muestra de suelo, mediante el censor del equipo.

- El pH en el suelo, se analizó según el Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con fines de Riego (2017) del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA, mediante la lectura en relación 1:2.

  Donde:

1. Se seleccionó la muestra de suelo a analizar, de modo homogéneo.
2. Se tamizó la muestra, para seleccionar solo partículas pequeñas.
3. Posteriormente se pesó 10 gramos de suelo y se mezcló en un vaso precipitado de 100 ml con 20 ml de agua destilada.
4. Se agitó por un lapso de tiempo de 30 minutos.
5. Se dejó en reposo la solución por 15 minutos y se midió con el equipo medidor de pH

- La humedad se analizó mediante Test Methods for the Examination of Composting and Compost -TMECC. 03.09-A Total Solids and Moisture (Figura 24). Medición de parámetros de temperatura, pH y humedad de suelo.

Figura 25. Muestras de suelo para análisis de laboratorio.

3.7. Comparación de resultados

Para la comparación de resultados de los 12 tratamientos de suelo con biocarbón, se consideró el método de eficiencia de inmovilización de plomo, propuesto mediante una fórmula matemática que permite conocer el porcentaje de adsorción de plomo mediante el biocarbón.

3.7.1. Cálculo de eficiencia.

Según lo citado por Romero (2017), esta fórmula, permitirá conocer la eficiencia del biocarbón para inmovilizar el plomo en el suelo.

$$\%\, eficiencia = \frac{Ci\left(\frac{mg}{kg}\right) - Cf(\frac{mg}{kg})}{Ci(\frac{mg}{kg})} * 100$$

Ci = Concentración inicial del metal

Cf= Concentración final después del tratamiento.

Además de ello, el análisis mediante diseño estadístico que estudia el comportamiento de cada tratamiento de acuerdo al porcentaje y al tipo de biocarbón utilizado (ver ítem 3.10).

A continuación, se presenta el flujograma de la investigación flujograma de la investigación**:**

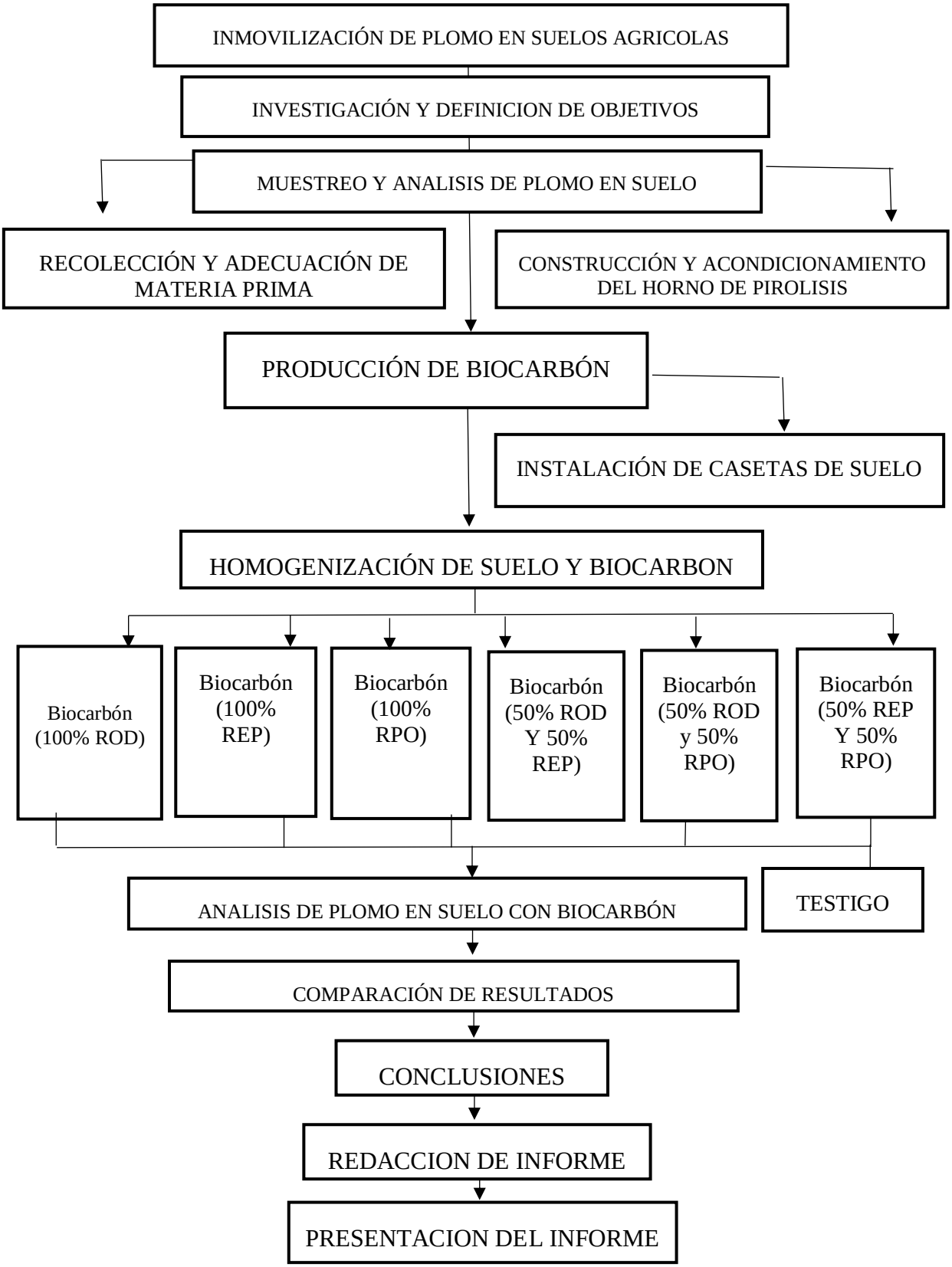


Figura 26. Flujograma de trabajo experimental.

3.8.Análisis de datos

3.8.1. Diseño estadístico

Para fines de esta investigación se utilizó el Diseño experimental completamente al azar (DCA). El DCA es el diseño experimental, que mejor se adapta a la evaluación de inmovilización de plomo en suelos según los datos obtenidos.

Teniendo en cuenta que se presentan 6 tratamientos, 1 muestra testigo, 1 repetición para cada tratamiento en dosis de 10% y 20% correspondientemente, dando un total de 28 puntos experimentales.

- Modelo estadístico asociado al diseño

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \ldots, \text{t}$$
$$j = 1, 2, 3, \ldots, \text{n}$$

Donde:

Y_{ij}= Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

ε_{ij} = Error aleatorio, donde $\varepsilon_{ij} \sim N\ (0, \sigma^2)$

- Análisis de la Varianza para el modelo

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

H_o: $\tau_1 = \tau_2 = \cdots = \tau_t$

Ha: al menos un efecto de un tratamiento es diferente de los demás.

Se considera que para el análisis de DCA:

Prueba de Normalidad para los errores del modelo

$$H_0 : Los\ errores\ se\ distribuyen\ normalmente$$

$$H_1 : Los\ errores\ no\ se\ distribuyen\ normalmente$$

Prueba de Homogeneidad de Varianzas

$$H_0 : \sigma_A^2 = \sigma_B^2 = \cdots = \sigma_G^2$$

$$H_1 : \sigma_A^2 \neq \sigma_B^2 \neq \cdots \neq \sigma_G^2$$

ANOVA del modelo

$$H_0 : \mathrm{T}_1 = \mathrm{T}_2 = \cdots = \mathrm{T}_7$$

$$H_1 : \mathrm{T}_1 \neq \mathrm{T}_2 \neq \cdots \neq \mathrm{T}_7$$

Prueba Dunnett de comparaciones con tratamiento control

$$H_0 : \mu_i = \mu_1$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_1$$

$$i = 2,3,4,5,6,7$$

Prueba Tukey de comparaciones con tratamiento control

$$H_0 : \mu_i = \mu_1$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_1$$

Para todas las pruebas se consideró un nivel de significancia de 95% (p=0,05).

3.8.2. Análisis Estadístico

Todos los análisis estadísticos (Tablas 2 y 3) fueron realizados a un nivel de confianza de 95 % ($\alpha = 0.05$) mediante ANOVA empleándose el programa estadístico RStudio versión 3.5.1.

Tabla 2

Diseño DCA

Trat.	Variables				
	Biocarbón			Inmovilización del Pb	
	ROD (%)	REC (%)	RPO (%)	120 días Tiempo 1	180 días Tiempo 2
1	100	0	0	-	-
2	0	100	0	-	-
3	0	0	100	-	-
4	50	50	0	-	-
5	50	0	50	-	-
6	0	50	50	-	-

Tabla 3

Descripción de tratamientos del biocarbón en suelo contaminado con plomo.

TRATAMIENTO	**Detalles**	
1	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 10% de biocarbón de Residuos orgánicos domésticos, (ROD 100%) y 1 replica.	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 20% de biocarbón de Residuos orgánicos domésticos (ROD 100%) y 1 replica.
2	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 10% de biocarbón de residuos de excretas de cabra (REC 100%) y 1 replica.	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 20% de biocarbón de Excretas de cabra (REC 100%) y 1 replica.
3	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 10% de biocarbón de residuos de poda (RPO 100%), y 1 replica.	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 20% de biocarbón de residuos de poda (RPO 100%) y 1 replica.
4	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 10% de biocarbón de residuos orgánicos domésticos y residuos de excretas de cabra (ROD 50% / REC 50%) y 1 replica.	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 20% de biocarbón de residuos orgánicos domésticos y residuos de excretas de cabra (ROD 50% / REC 50%) y 1 replica.
5	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 10% de biocarbón de residuos de poda y residuos orgánicos domésticos (RPO 50% / ROD 50%) y 1 replica.	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 20% de biocarbón de residuos de poda y residuos orgánicos domésticos (RPO 50% / ROD 50%) y 1 replica.
6	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 10% de biocarbón de residuos de poda y residuos de excretas de cabra (RPO 50% / REC 50%) y 1 replica.	1 muestra que contiene 2 kilogramos de suelo contaminado con 20% de biocarbón de residuos de poda y residuos de excretas de cabra (RPO 50% / REC 50%) y 1 replica.
TESTIGO	1 Muestra testigo y 1 réplica	Muestra testigo y 1 réplica

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.Producción del biocarbón

El biocarbón fue producido (Tabla 4) en base a residuos disponibles de ROD (15.9 kg), REC (12.2 kg) y RPO (10.3 kg) que se pudieron conseguir durante la etapa de la recolección de materia prima (Tabla 10) y con ella se produjo 10.3 kg de biocarbón de ROD (63% eficiencia), 5.05 kg de biocarbón de REC (41.4 % eficiencia) y 5.6 kg de biocarbón de RPO (Tabla 10). Para los diferentes experimentos solo fue necesario el uso de 2 kg de cada uno. Según Escalante *et al*. (2016) el proceso de la pirolisis lenta vendría a ser el tipo de proceso que tiene el más alto rendimiento de producción del biocarbón, y de acuerdo con Ibarrota, Evar & Reay (2013), con un 35% de rendimiento, muy por encima de otros procesos de pirólisis.

Tabla 4.

Rendimiento de los biocarbones.

Biocarbón	Biomasa (kg)	Biocarbón producido (kg)	Rendimiento (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (Horas)
ROD	15.9	10.3	63.0	>300	3
REC	12.2	5.05	41.4	>300	3
RPO	10.3	5.6	55.8	>300	3

Tal cual menciona Zegarra (2015), el biocarbón de residuos vegetales orgánicos está compuesto por altas concentraciones de minerales, cabe mencionar que las enmiendas con carbonatos alcalinos y cloruro de sodio tienden a aumentar los rendimientos del biocarbón, pudiendo definirse que a mayor contenido de minerales en la biomasa precursora habrá mayor rendimiento del biocarbón, evidenciando así que puede ser una efectiva opción de

manejo de residuos orgánicos, a esto se le atribuye la probabilidad de que la materia inicial estuvo con bajo contenido de humedad, ya que tuvo un tratamiento previo de secado y su estructura es sencilla de pirolizar; mientras que, el biocarbón de excretas de cabra fue el que tuvo menor rendimiento por su contenido de humedad y la composición estructural de la misma.

Respecto a la temperatura y tiempo de residencia, Del Amo (2018) confirma que el rendimiento de la producción del biocarbón tiende a disminuir cuando el tiempo de residencia aumenta generando mayor producción de cenizas, según estudios, el tiempo óptimo de residencia es de 2 horas con una temperatura de aproximadamente 400°C.

La experiencia respecto al proceso de pirolisis tuvo una duración de aproximadamente 3 horas, que permitió que la leña se consuma totalmente. A partir de los 10 minutos de iniciado la combustión, se mostró una llama de color amarillo, se dispuso a cerrar el horno para el procedimiento de pirolisis naturalmente.

4.1.1. Análisis físico del biocarbón

Se demuestra por análisis que el biocarbón es de apariencia carbonosa, de estado sólido, color negro cenizo, las características de sus estructuras externas varían dependiendo del tipo de biocarbón, los 3 tipos de biocarbón tienen están compuestas por partículas de distintos tamaños y se adaptan a su forma natural, sin embargo, según Escalante *et al*. (2016) son amorfos mediante análisis de microscopía electrónica de barrido.

El biocarbón resultante de las excretas de cabra mantienen su forma y tamaño original, mientras que el biocarbón obtenido de residuos de poda tienen contextura más gruesa.

A continuación, se adjuntan las evidencias del antes y del después del proceso de pirolisis de los residuos orgánicos (Figuras 26, 27 y 28):

Figura 27. Muestra de residuos orgánicos domésticos y producto biocarbón resultante.

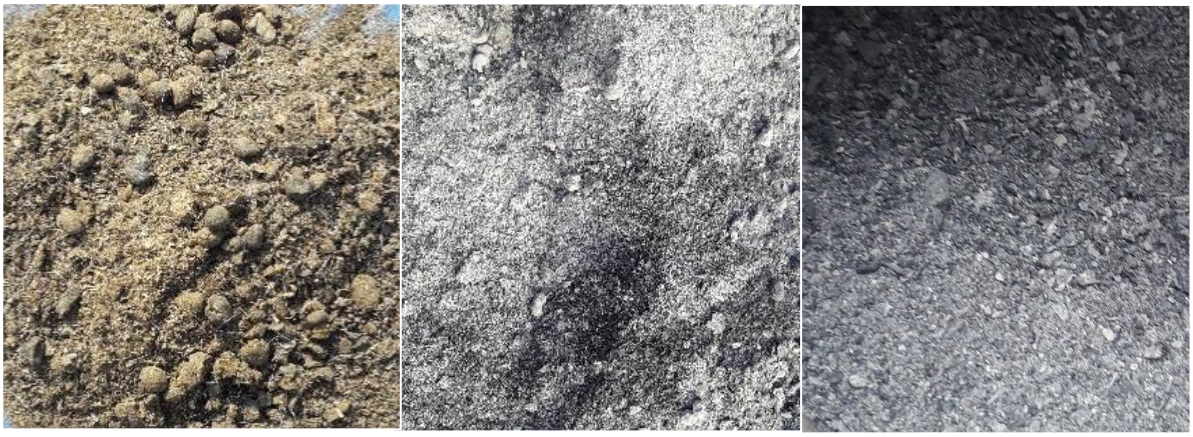


Figura 28. Muestra de excretas de cabra y producto biocarbón resultante.

Figura 29. Muestra de residuos de poda y producto biocarbón resultante.

4.2.Análisis de suelo contaminado con plomo

Se realizaron comparaciones de diferentes análisis de biocarbón, producidos a partir de distintas materias primas, tales como ROD, REC y RPO, además de la combinación entre ellas de manera proporcional (tabla 5). A continuación, se muestran los tipos de tratamientos y la dosis de biocarbón aplicada:

Tabla 5

Tipos de tratamiento de biocarbón para suelo contaminado con plomo.

Cantidad de suelo contaminado con plomo	Porcentaje de biocarbón	Número de tratamiento	Número total de casetas / Tratamiento
2 kg	10%	6	12
2 kg	20%	6	12

Cada caseta de suelo consistió de 2 kg de sustrato contaminado con plomo, al cual se le añadió dosis al 10% y 20% de biocarbón, para cada dosis se tuvieron 6 tratamientos en porcentajes diferentes de biocarbón. Cabe mencionar que no existe aún una dosis exacta de aplicación del biocarbón en el suelo, estos penderán del resultado obtenido de diferentes pruebas experimentales ejecutadas en el campo. Para ello se debe considerar además las características del suelo, ambiente donde se ejecute, finalidad de la aplicación, entre otros.

Además, hay que tener en cuenta la gran variedad de materias que pueden ser útiles como fuente de elaboración del biocarbón cuyas particularidades varían por naturaleza del biocarbón y consecuentemente tendrán influencian sobre la dosis de aplicación. Sin embargo, diversos estudios han obtenido efectos positivos con dosis de aplicación que varían desde 0.5 a 100 t/ha. (Trujillo, 2017). Por la amplitud de dosis de aplicación, se comprendió conveniente experimentar la inmovilización de plomo con biocarbón al 10% y 20%, teniendo antecedentes efectivos para dosis similares.

En la actualidad, la International Biochar Imitative (IBI), busca determinar qué combinación de características es la más conveniente para formar un biocarbón de calidad y óptimo con la capacidad necesaria para mejorar los suelos (Stadler & Hernado, 2018).

Según la IBI (2018) Los materiales de biomasa adecuados para la producir biocarbón incluyen residuos de cultivos, ya sean residuos de campo o derivados de procesamiento, así como desechos de jardín y bosques, además de estiércol animal. Por ello, el uso de diferentes tipos de residuos para la producción del biocarbón los excluye de un ciclo de contaminación, de la misma forma, se puede obtener subproductos.

4.2.1. Resultados de suelo contaminado de plomo con biocarbón de residuos orgánicos

Se demuestra evidentemente la disminución de concentración de plomo en las muestras de suelo analizadas, las muestras de tiempo cero señalan la concentración de este metal pesado en el suelo sin ningún tipo de tratamiento, mostrando un alto valor contaminante por encima de los estándares establecidos para suelo agrícola (70 mg/km según el Decreto Supremo n° 011-2017-MINAM), se evidencia que el tratamiento que pudo inmovilizar con mayor efectividad el plomo es el de 20% en ambos tiempos (Tabla 6).

Tabla 6

Resumen de resultados según tratamiento.

Experimentos (mg/kg)	Tiempo 0	Tiempo 1		Tiempo 2		Eficiencia al 10%	Eficiencia al 20%
		10%	20%	10%	20%		
ROD	261.36	239.51	231.13	164.65	153.97	37.00	41.09
REC	270.96	223.15	230.16	167.82	142.83	38.06	47.29
RPO	277.28	273.25	232.57	161.02	160.03	41.93	42.29
REC/RPO	292.7	234.21	195.15	167.76	162.92	42.69	44.34
ROD/RPO	263.95	231.12	216.24	159.86	156.55	39.44	40.69
ROD/REC	281.54	236.12	220.69	172.54	166.08	38.72	41.01

Los resultados muestran que biocarbón de ROD redujo el plomo en el suelo en 41.09%, el biocarbón de REC en 47.29%, el biocarbón de RPO en 42.29%, el biocarbón de REC/RPO en 44.34%, el biocarbón de ROD/RPO en 40.69% y el biocarbón de ROD/REC en 41.01%; siendo el más eficiente el tratamiento de biocarbón de REC.

Se efectuó el análisis de varianza (ANOVA) de la concentración media de plomo en el suelo con biocarbón: al tiempo 1 al 10%, previa comprobación de normalidad ($p > 0,05$) y homocedasticidad ($p > 0,05$), se procedió con efectuar el ANOVA y se determinó que no hubo diferencia significativa entre las medias ($p > 0,05$) de los tratamientos (excepto en el tratamiento con biocarbón de RPO), pero sí en relación con el testigo ($p < 0,05$) (Figura 30).

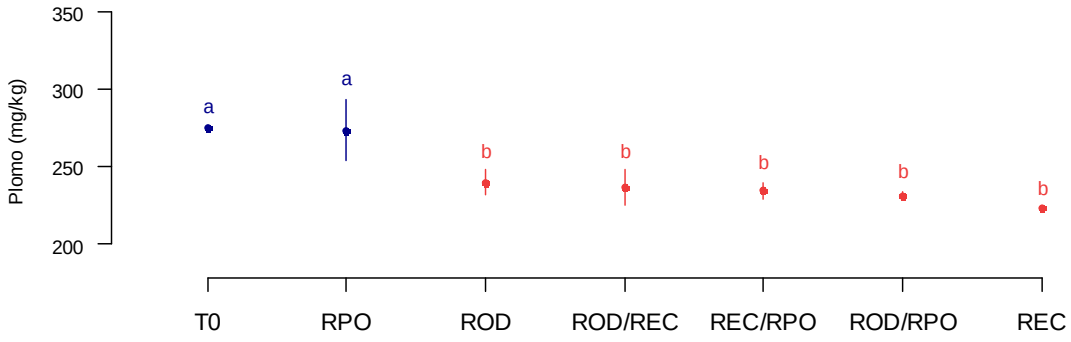


Figura 30. Concentración media de plomo por tratamientos al tiempo 1 donde se dosificó 10% de biocarbón. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p<0,05$).

Al tiempo 2 al 10%, previa comprobación de normalidad ($p > 0,05$) y homocedasticidad ($p > 0,05$), se procedió con el ANOVA y no se determinó diferencia significativa entre tratamientos ($p > 0,05$), pero sí de los tratamientos respecto al testigo ($p < 0,05$) (Figura 31).

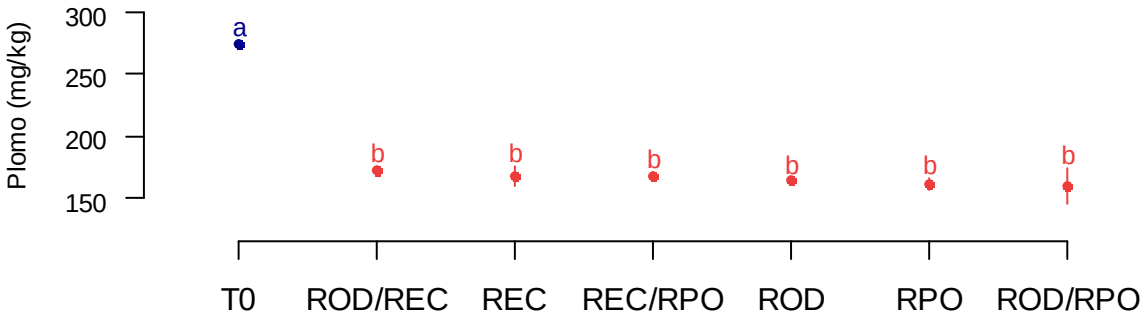


Figura 31. Concentración media de plomo por tratamientos al tiempo 2 donde se dosificó 10% de biocarbón. Las letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05).

Al tiempo 1 al 20%, previa comprobación de normalidad (p > 0,05) y homocedasticidad (p > 0,05), se procedió con efectuar el ANOVA y se determinó diferencia significativa entre las medias (p < 0,05) de los tratamientos, y también en relación con el testigo (p < 0,05) (Figura 32).

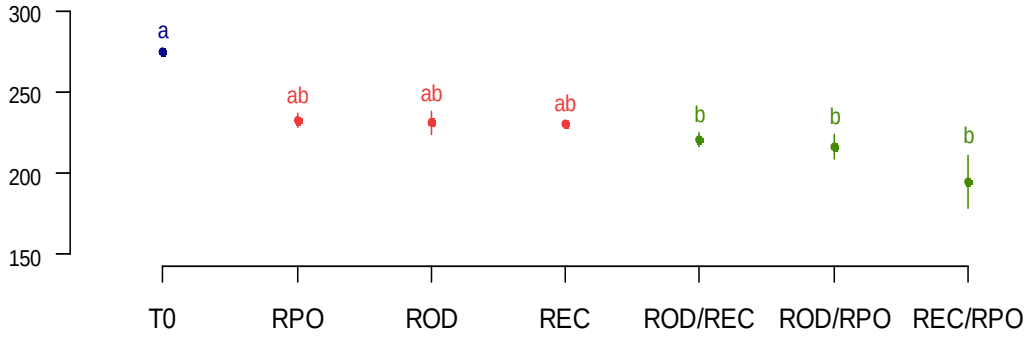


Figura 32. Concentración media de plomo por tratamientos al tiempo 1 donde se dosificó 20% de biocarbón. Las letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05).

Al tiempo 2 al 20%, previa comprobación de normalidad (p > 0,05) y homocedasticidad (p > 0,05), se procedió con efectuar el ANOVA y se determinó no hubo diferencia significativa entre las medias (p > 0,05) de los tratamientos, pero sí en relación con el testigo (p < 0,05) (Figura 33).

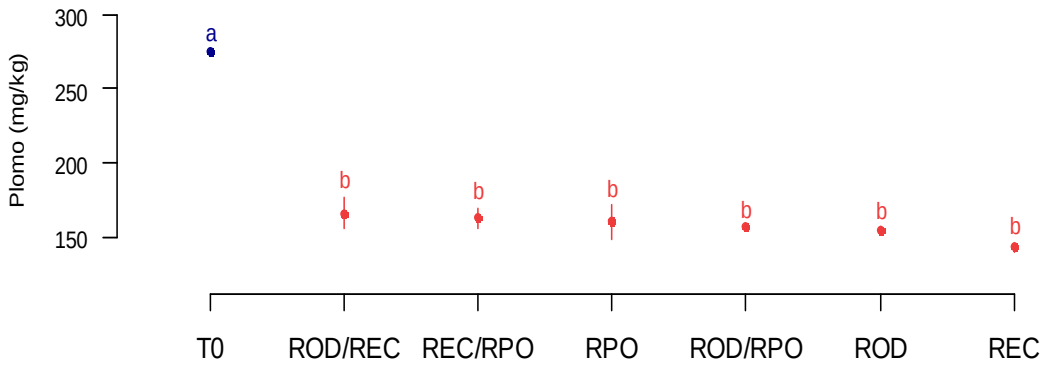


Figura 33. Concentración media de plomo por tratamientos al tiempo 2 donde se dosificó 20% de biocarbón. Las letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05).

De manera global, se determinó diferencia significativa entre los tiempos de tratamiento (p<0,05) (Figura 34); al tiempo 2 se observó menor concentración de plomo.

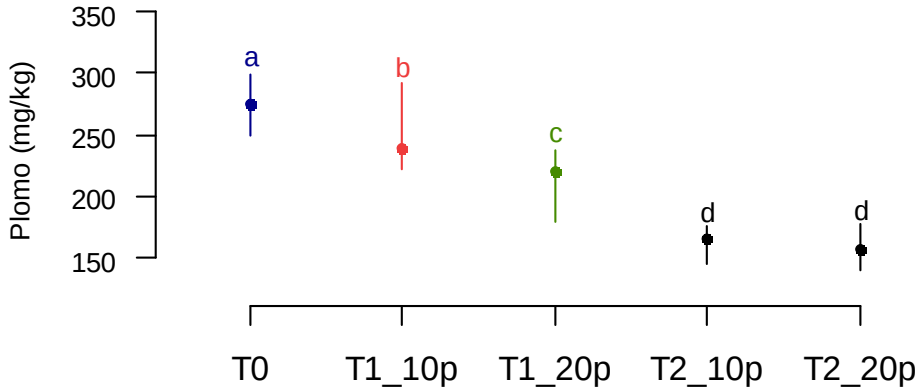


Figura 34. Concentración media de plomo por tratamientos. Las letras diferentes indican diferencia significativa (p<0,05). T0; testigo, T1_10p: es tiempo 1 al 10% de biocarbón, T1_20p: tiempo 1 al 20%, T2_10p: tiempo 2 al 10%; T2_20p: tiempo 2 al 20%.

Se entiende que la acumulación de plomo en suelos agrícolas puede afectar la actividad microbiana entorpeciendo los procesos necesarios para la nutrición vegetal y más importante aún, el plomo puede pasar a la cadena trófica afectando al hombre que es el principal consumidor de los productos que la agricultura provee.

Mediante diferentes investigaciones se ha demostrado la eficiencia del biocarbón en la adsorción de metales pesados. Balta (2019) experimentó la aplicación de biocarbón con la finalidad de tratar el cadmio en las plantas de tomate. Asimismo, Casteblanco (2018) expuso la reducción significativa de metales pesados en plantas de maíz. Y en casos menos significativos como en el de Meddeb *et al*. (2018) quienes utilizaron biocarbón mezclados con compost de lodos para la reducción de metales pesados.

Evidentemente el biocarbón da la posibilidad de estabilizar este metal pesado minimizando el peligro de bioacumulación. Así lo menciona Romero (2017) ya que el biocarbón puede intervenir en la adsorción del plomo mediante el intercambio del metal pesado con calcio, magnesio, sodio y potasio, mejorando así la estabilización de los mismos y evitando la biomagnificación del plomo.

Añade Escalante *et al.* (2016) que para aplicar una dosis es necesario conocer la cantidad de carbono en el biocarbón para que no implique las otras funciones de los suelos por lo que recomienda que las cantidades a aplicar deben estar basadas en estudios realizados de acuerdo al objetivo del experimento, teniendo en cuenta que su efecto benéfico es perdurable en el suelo, sin tener necesidad de realizar repetidas aplicaciones.

Esacalante *et al.* (2016) recomienda que, para considerar una dosis óptima, se deben considerar los siguientes factores: características del suelo, respecto a la humedad, erosión, etc; practica de cultivo, insumos, etc.; condiciones del lugar de estudio, es decir, clima, temperatura, etc.; método de aplicación, recomendada entre los 0 a 30 cm de profundidad.

Condeña (2017) aplica diferentes dosis de biocarbón al 3%, 5%, 10% y 50% respecto a la cantidad de la muestra de suelo para establecer la adsorción de plomo, concluyendo que el tratamiento de 10% es el más eficiente. Romero (2017) también trató el suelo para reducir

la concentración del plomo a una dosis de 0%, 5%, 10% y 20%, este último considerándose la dosis más eficiente.

Sin embargo, según Lehmann & Joseph, Biochar for Environmental Management, (2010) la aplicación máxima de Biocarbón que puede asimilar un suelo es el 30%. Del mismo modo, en comparación al tiempo 1 (120 días) y los tratamientos de control, la reducción de la concentración de plomo reduce notoriamente para el tiempo 2 (180 días), deduciéndose que la efectividad del biocarbón es manifestable en el tiempo.

Según la presente investigación se puede verificar que el biocarbón con dosis al 20% tuvo mejor rendimiento en la adsorción del plomo en relación al tiempo, a mayor tiempo y dosis expuesto el biocarbón con el suelo, mejores fueron los resultados de adsorción de plomo.

4.2.2. Estimación de la inmovilización del plomo en el tiempo según regresión lineal.

Según los estándares de calidad ambiental para suelo, se define que la concentración de plomo aceptables en suelos agrícolas debe estar por debajo de los 70 mg/kg de plomo.

Considerando que el tratamiento aplicado a esta investigación no logro inmovilizar el plomo a tal punto de que las concentraciones se encuentren bajo la normativa peruana, se aplica la estimación en el tiempo según regresión lineal, de esa manera conocer en cuanto tiempo se logrará dicho objetivo.

4.2.2.1.Estimación de inmovilización de plomo

De acuerdo al análisis de regresión lineal, efectuado para el experimento que evidenció mayor reducción, (REC/RPO) se estima que el suelo contaminado con plomo, alcanzará una concentración inferior a 70 mg/kg (ECA para suelo agrícola) para el día 300 de experimentación (Figura 35; Tabla 7).

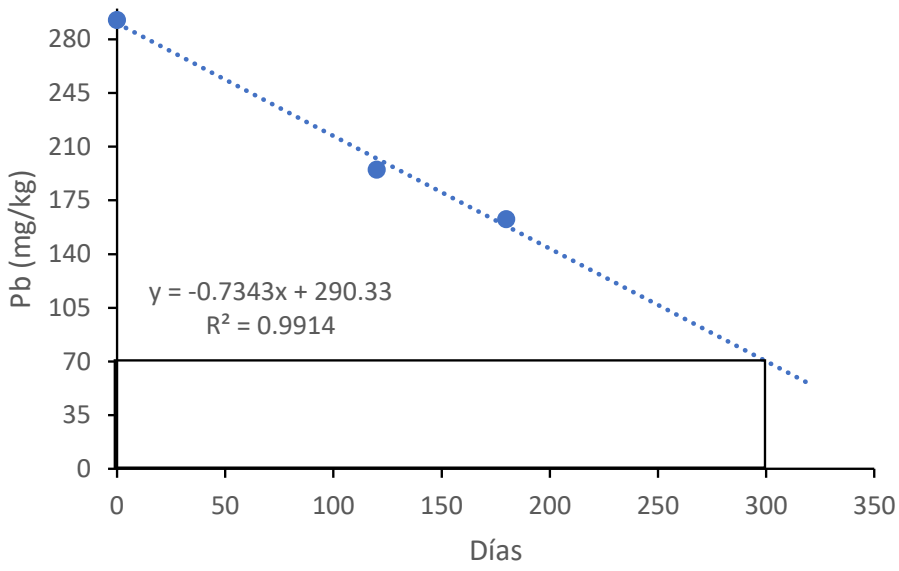


Figura 35. Proyección de reducción del plomo del tratamiento REC/RPO al tiempo 2 con biocarbón al 20%.

Tabla 7.

Concentración de plomo en el tiempo

MES	DÍA	PLOMO (mg/kg)
Tiempo 0	0	292.7
Tiempo 1	120	195.1
Tiempo 2	180	162.9
Tiempo 3 (estimado)	300	<70.0

4.2.3. Resultados de análisis de parámetros

Se realizó un análisis previo al tratamiento y al finalizar dicho proceso, para ello se extrajo una muestra representativa para el análisis correspondiente:

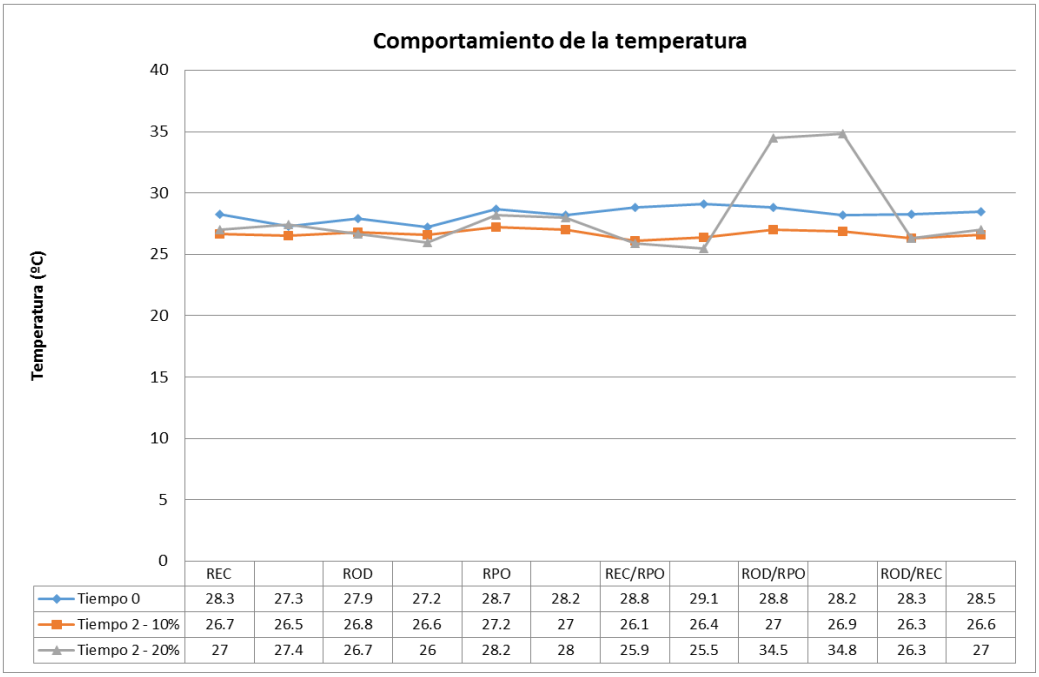
4.2.3.1.Temperatura

La temperatura, se analizó mediante un termómetro de suelo, esta se realizó en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Peruana Unión, teniendo en cuenta la altura de la varilla sumergida en el suelo y el cálculo del parámetro, mediante el censor del equipo. La temperatura se midió, antes del tratamiento y al finalizar el tratamiento con el suelo contaminado de plomo y el biocarbón. A continuación, se exponen los resultados de los análisis de temperaturas (Tabla 8 y Figura 36).

Tabla 8

Temperatura del suelo contaminado antes y después del tratamiento.

TRATAMIENTO	TIEMPO 0	TIEMPO 2 (10%)	TIEMPO 2 (20%)
ROD 100%	28.3	26.7	27
	27.3	26.5	27.4
REC 100%	27.9	26.8	26.7
	27.2	26.6	26
RPO 100%	28.7	27.2	28.2
	28.2	27	28
ROD/REC 50%	28.8	26.1	25.9
	29.1	26.4	25.5
ROD/RPO 50%	28.8	27	34.5
	28.2	26.9	34.8
REC/RPO 50%	28.3	26.3	26.3
	28.5	26.6	27
TESTIGO	28.2	25.9	25.7
	28	25.6	26



	REC		ROD		RPO		REC/RPO		ROD/RPO		ROD/REC	
Tiempo 0	28.3	27.3	27.9	27.2	28.7	28.2	28.8	29.1	28.8	28.2	28.3	28.5
Tiempo 2 - 10%	26.7	26.5	26.8	26.6	27.2	27	26.1	26.4	27	26.9	26.3	26.6
Tiempo 2 - 20%	27	27.4	26.7	26	28.2	28	25.9	25.5	34.5	34.8	26.3	27

Figura 36. Análisis de temperatura en suelos con biocarbón.

La temperatura es la variable que se mantiene más estable en todos los análisis, fluctuan entre los 25°C y 29°C, a excepción del tratamiento ROD/RPO que tiene valores altos para el biocarbón al 20% de 34°C. Según la FAO (2009) la temperatura del suelo puede variar cuando no consta de convertura vegetal que resguarde el suelo, estas pueden alterarse diariamente. Añadiendo a ello los eventos climáticos, ya que el clima es un factor determinante en la formación y la calidad del suelo.

Las temperaturas disminuyeron tras la adición del biocarbón, se puede sustentar este comportamiento, por los efectos que tiene el biocarbón en el mejoramiento de la humedad sobre los suelos, por tanto, al aumentar la humedad presente en los suelos consecuentemente la temperatura también asciende.

Es decir, las cargas superficiales del biocarbón son positivas cuando estas están recién preparadas, pero estas pueden varias por el tiempo, ósea, el envejecimiento del

biocarbón y las temperaturas medias. (Escalante, Pérez, Hidalgo, López, Campo, Valtierra & Etchevers, 2016)

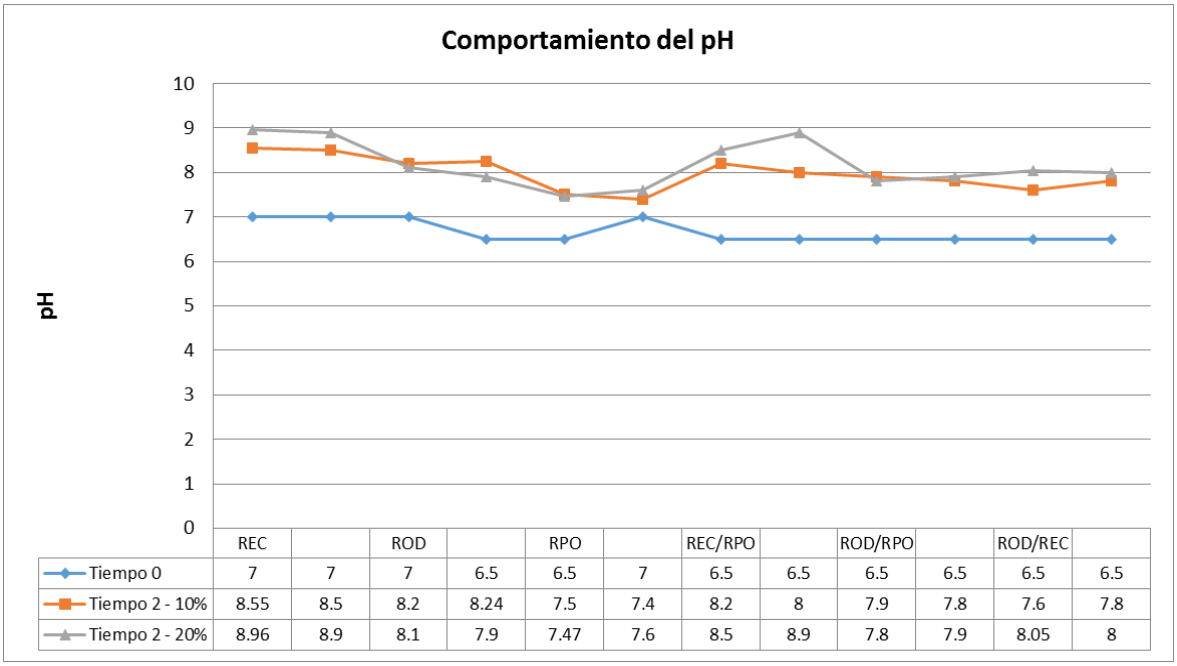
4.2.3.2.Potencial de hidrogeno (pH)

El pH en el suelo, permite medir la acidez o el nivel de alcalinidad de la solución del suelo, son necearías medirlas para valorar las necesidades que requiere el suelo para mejorar su calidad y productividad ya que esta variable puede afectar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Piedrahíta, 2009). El pH se analizó según el Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con fines de Riego (2017) del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA, mediante la lectura en relación 1:2. La Tabla 9 y Figura 37 demuestra los resultados de análisis de pH obtenidos antes y después de la aplicación del biocarbón en el suelo.

Tabla 9

pH del suelo contaminado antes y después del tratamiento

TRATAMIENTO	TIEMPO 0	TIEMPO 2 (10%)	TIEMPO 2 (20%)
ROD 100%	7	8.55	8.96
	7	8.5	8.9
REC 100%	7	8.2	8.1
	6.5	8.24	7.9
RPO 100%	6.5	7.5	7.47
	7	7.4	7.6
ROD/REC 50%	6.5	8.2	8.5
	6.5	8	8.9
ROD/RPO 50%	6.5	7.9	7.8
	6.5	7.8	7.9
REC/RPO 50%	6.5	7.6	8.05
	6.5	7.8	8
TESTIGO	6.5	7.2	7.3
	6.5	7.18	7



	REC		ROD		RPO		REC/RPO		ROD/RPO		ROD/REC	
Tiempo 0	7	7	7	6.5	6.5	7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Tiempo 2 - 10%	8.55	8.5	8.2	8.24	7.5	7.4	8.2	8	7.9	7.8	7.6	7.8
Tiempo 2 - 20%	8.96	8.9	8.1	7.9	7.47	7.6	8.5	8.9	7.8	7.9	8.05	8

Figura 37. Análisis de pH en suelos con biocarbón.

En la figura se observa que los valores de pH del suelo en el tiempo cero estuvieron entre 6.5 y 7, lo que indicaría un suelo ácido. En el tiempo dos se observa que los valores del pH aumentan tanto para el biocarbón al 10% como para el 20%. Por otro lado, el pH para los tratamientos ROD y RPO son menores, en tanto que REC y REC/RPO son mayores.

Inicialmente se muestra el suelo acido, posterior a la aplicación del biocarbón, las muestras de suelo pasaron a ser neutras hasta ligeramente alcalinas.

El pH es un parámetro importante que determina los efectos del biocarbón sobre el suelo y por ende sobre las plantas, este dependerá de la materia prima y las condiciones en las que fue producida el biocarbón. El biocarbón tiene la capacidad para incrementar el pH mejorando asi la fertilidad de los suelos (Guerra, 2015).

El pH tiene una gran influencia en la adsorción de metales tóxicos (Cuizano, Reyes, Dominguez, Llanos & Navarro, 2010). Ya que tiene el control de la movilidad de los iones, la disolución de los minerales, las reacciones redox, la actividad de la población microbiana, la disposición de nutrientes, el intercambio ionico, etc. (Sains, Echeverria & Angelini, 2011).

A esto agrega Barrio (s.f) si el pH del medio fuese acido, los cationes tienes más capacidad de movilización, por ende, tienen mejor facilidad para su transporte a las cadenas tróficas; sin embargo, si el pH es básico, el efecto es contrario ocasionando la inmovilización del metal.

De la Cruz (2018) el pH tiene un valor máximo de 14, una neutralidad e 7 y valores por debajo de los 7 significa acides en el suelo, por ende, es considerado que el pH viene a ser un componente importante con influencia sobre el comportamiento del metal en el suelo, ya que la adsorción por parte del biocarbón se da causa de la interacción de los iones metálicos y la superficie del biocarbón, en otras palabras, al aumentar el pH disminuye la solubilidad de los metales. Se añade a ello que existe liberación de sales alcalinas en el proceso de pirolisis del biocarbón, lo cual suma una razón más para explicar el aumento del pH en el suelo (De La Cruz, 2017).

Según estudios, la mayoría de los biocarbones son alcalinos, es decir con un pH mayor a 7 y a cuenta de la dosis aprovechada al suelo, consiguen ejercer un resultado de encalado (Olmo, 2016). Por lo tanto, hubo aumento de pH en los tratamientos porque el biocarbón tiene la capacidad de mejorar esta condición en el suelo (Balta, 2019), alcalinizándolo por ende disminuye la concentración del plomo, ya que este tiende a estar más disponible a un pH ácido.

Un suelo neutro con valores de entre 6.6 a 7.3 son considerados más óptimos para actividades de agricultura, debido a que, dentro de este rango, la disposición de nutrientes es más alta (Nates, 2014).

4.2.3.3. Humedad

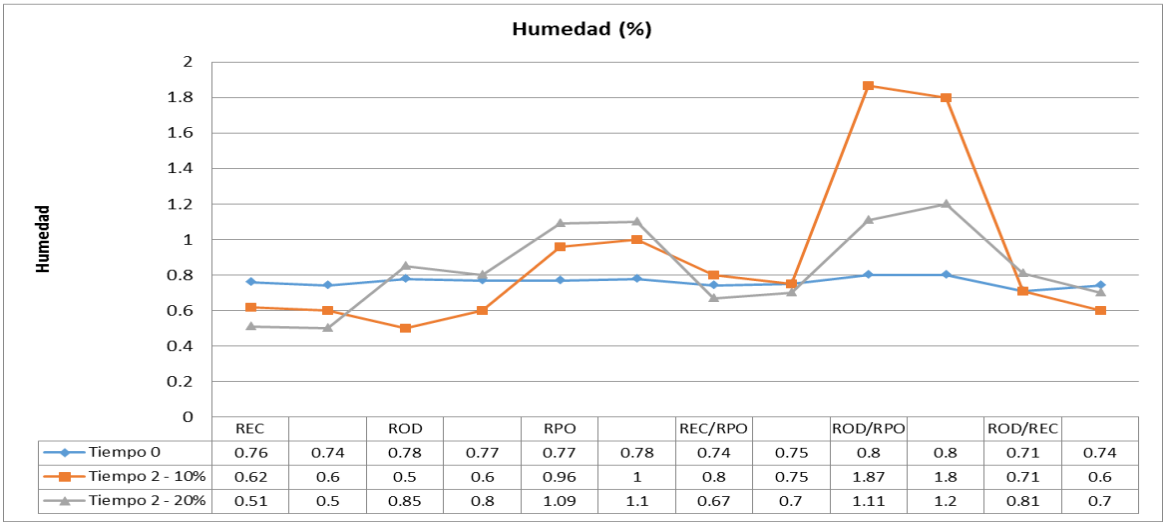
Esta variable es la relación del peso de agua en una masa de suelo y el peso de las partículas sólidas expresada en porcentaje; es fundamental para mejorar la sostenibilidad de la producción de alimentos y el abastecimiento de agua, además es fundamental para solucionar problemas respectivos a las necesidades de agua.

La tabla 10 demuestra los resultados de análisis de humedad obtenidos antes y después de la aplicación del biocarbón en el suelo.

Tabla 10

Humedad del suelo contaminado antes y después del tratamiento

TRATAMIENTO	TIEMPO 0	TIEMPO 2 (10%)	Tiempo 2 (20%)
ROD 100%	0.76	0.62	0.51
	0.74	0.6	0.5
REC 100%	0.78	0.5	0.85
	0.77	0.6	0.8
RPO 100%	0.77	0.96	1.09
	0.78	1	1.1
ROD/REC 50%	0.74	0.8	0.67
	0.75	0.75	0.7
ROD/RPO 50%	0.8	1.87	1.11
	0.8	1.8	1.2
REC/RPO 50%	0.71	0.71	0.81
	0.74	0.6	0.7
TESTIGO	0.76	0.66	0.93
	0.77	0.7	0.8



	REC		ROD		RPO		REC/RPO		ROD/RPO		ROD/REC	
Tiempo 0	0.76	0.74	0.78	0.77	0.77	0.78	0.74	0.75	0.8	0.8	0.71	0.74
Tiempo 2 - 10%	0.62	0.6	0.5	0.6	0.96	1	0.8	0.75	1.87	1.8	0.71	0.6
Tiempo 2 - 20%	0.51	0.5	0.85	0.8	1.09	1.1	0.67	0.7	1.11	1.2	0.81	0.7

Figura 38. Análisis de humedad en suelos con biocarbón.

Guerra (2015) afirma mediante su investigación, que el biocarbón presenta gran capacidad para la adsorción de humedad en el suelo por tratarse de un material higroscópico.

Los niveles de humedad son mínimos a comparación de un estándar para suelos, para el tiempo cero, cuando el suelo se encuentra sin adición del biocarbón la humedad fluctua en un promedio de 0.76%, mientras que de las muestras de biocarbón al 10%, el tratamiento de residuos orgánicos domésticos con residuos de poda presenta mayor humedad con un 1.87%, asimismo el tratamiento con mayor humedad de las muestras de biocarbón al 20% también es el de residuos orgánicos domésticos con residuos de poda con un 1.2%.

Por otra parte, el tratamiento con biocarbón de residuos de excretas de cabra presenta menor porcentaje de humedad para ambos casos.

Para todos los casos, los datos de humedad varían constantemente, lo cual podría ser sustentado por los cambios de clima que residieron durante la época de la ejecución del tratamiento, las características propias del suelo considerando que las muestras no fueron alteradas con ningún tipo de aditivos a excepción del biocarbón.

De esta manera, se determina que la humedad depende de las condiciones de transporte, almacenamiento y tratamiento de las muestras, considerando las circunstancias en las que fue elaborado el biocarbón (Trujillo, 2017). Además, el biocarbón reacciona como esponja para la absorción de agua y nutrientes de suelo, estos son liberados con el pasar del tiempo reteniendo de manera más óptima el agua presente en el suelo, comprobando así a la retención de humedad en el suelo (Aker, 2014).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El biocarbón es una tecnología eficiente y eficaz para mitigar el cambio climático y mejorar la seguridad de los suelos y con ello, la de los alimentos.

El rendimiento de producción del biocarbón fue más efectivo para el ROD con 63%, seguido por los RPO (55.8%) y finalmente los REC (41,4%).

El proceso de la pirolisis lenta vendría a ser el tipo de proceso que tiene el más alto rendimiento de producción del biocarbón.

El diseño del horno de pirolisis es efectivo ya que permitió las condiciones óptimas operaciones y de producción para la conversión del residuo orgánico en biocarbón.

Los 6 productos de biocarbón resultaron óptimos para el tratamiento de suelos contaminados con plomo, todos demostraron eficiencia en la inmovilización de este metal en similares porcentajes, sin embargo, el tratamiento de biocarbón de REC seguido de REC/RPO fueron más eficientes en la inmovilización del plomo en el suelo, en comparación a los demás tratamientos.

Los parámetros analizados de temperatura y humedad, no mostraron cambios significativos, a excepción del pH que demostró mejorar su composición de ácido a alcalino.

La temperatura es la variable que se mantiene más estable en todos los análisis, fluctúan entre los 25°C y 29°C, disminuyeron tras la adición del biocarbón, se puede sustentar este comportamiento, por los efectos que tiene el biocarbón en el mejoramiento de la humedad sobre los suelos.

Los valores del pH aumentan tanto para el biocarbón al 10% como para el 20% porque el biocarbón tiene la capacidad de mejorar esta condición en el suelo (Balta, 2019), alcalinizándolo por ende disminuye la concentración del plomo, ya que este tiende a estar más disponible a un pH ácido.

Los datos de humedad varían constantemente, lo cual podría ser sustentado por los cambios de clima que residieron durante la época de la ejecución del tratamiento, las características propias del suelo considerando que las muestras no fueron alteradas con ningún tipo de aditivos a excepción del biocarbón. Además, el biocarbón reacciona como esponja para la absorción de agua y nutrientes de suelo, estos son liberados con el pasar del tiempo reteniendo de manera más óptima el agua presente en el suelo.

Según los estándares de calidad ambiental para suelo, se define que la concentración de plomo aceptables en suelos agrícolas debe estar por debajo de los 70 mg/kg de plomo, mediante la prueba de regresión lineal, el tratamiento más significativo (REC/RPO) logrará que el suelo contaminado con plomo, tenga concentraciones menores de 70 mg/kg en el día 300 de tratamiento.

5.2. Recomendaciones

1. Para aplicarse esta investigación en proyectos más grandes se recomienda la implementación de un medio de aprovechamiento de los sub productos que provienen de la pirolisis, tales como el lixiviado, la energía térmica y el carbón no procesable.

2. Se recomienda ampliar el análisis de biomasa con otros tipos de materias primas que pueden estar generando mayor impacto negativo en el medio ambiente y para

obtener mayor fiabilidad de los resultados, se recomienda ejecutar más repeticiones para cada tratamiento.

3. Se recomienda realizar más investigaciones respecto al tipo de contaminantes presentes en el suelo y a tipos de suelo al que se quiere aplicar, para establecer definiciones exactas que faciliten a la población interesada.

4. Para el mejoramiento de la gestión de residuos orgánicos se recomienda la difusión de información de este procedimiento ambiental de modo que se explote progresivamente sus beneficios.

5. Se recomienda llevar a cabo un estudio considerando las variables de características fisicoquímicas del suelo. Y para minimizar los efectos sobre el medio ambiente, se recomienda un estudio de emisiones respecto a los gases que provienen del proceso de pirolisis.

6. Para un óptimo rendimiento del biocarbón, los residuos deben contener un porcentaje mínimo de humedad al iniciar el proceso de pirolisis, para ello requiere de un proceso de secado exigente para la vaporización del agua, caso contrario existirá un balance energético negativo, no confiable.

REFERENCIAS

Agencia Extremeña de la Energía (2011). *Los residuos agrícolas de poda.* Recuperado de https://www.agenex.net/images/stories/deptos/residuos-agricolas-de-poda.pdf

Aker, C. (2014) *Evaluación del uso de estufas ecológicas, análisis de la producción y uso del biocarbón como enmienda del suelo en los rendimientos de maíz (Zea mays) en tres municipios de León, Nicaragua.* (Tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.

Alburquerque, J., Calero, J., Barrón, V., Torrent, J., Del Campiro, M., Gallardo, A. y Villar, R. (2013). *El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO_2 y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo*. Cordoba: Sociedad de Ciencias Forestales

Arbaz. (2011). *El biocarbón como material orgánico para la mejora del suelo*. Recuperado de: http://www.dc.delinat-institut.org/doc/espagnol/biocarbon-como-material-para.pdf

Arévalo, E., Obando, M., Zúñiga, L., Arévalo, C., Baligar, H. y Zhenli, H. (2016). *Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (theobroma cacao l.) en tres regiones del Perú*. Ecología Aplicada, 15 (2), 81-89. Doi: http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.747

Autoridad Nacional del agua (2012). *Informe Técnico Sobre El Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hídricos En La Cuenca Del Río Rímac Realizado En Abril Del 2012.* (Informe N° 006-2012). Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/2.-_resumen_ejecutivo_0_2.pdf

Balderas, M., Cajuste, J., Lugo, J. y Vázquez, A. (2003) *Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho.* Terra Latinoamericana, vol. 21 (4), 449-459.

Balta, R. (2019) "*El carbón activado y el biocarbón en la asimilación del cadmio por el tomate (solanum lycopersicum l.) bajo el invernadero.* Universidad Nacional La Agraria La Molina: Perú

Barrio, N. (s.f) *Metales pesados en suelos y sus efectos en la salud. Universidad Complutense*. Recuperado de: http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/NOELIA%20BARRIO%20VEGA.pdf

Bejarano, L. & Aguilar A. (2017). *Evaluación de biochar e hidrochar como medio para captura de carbono en el suelo.* Universidad de la Salle: Bogota.

Belalcázar, S. (2013). *Evaluación del biocarbón derivado de cascarilla de arroz como potenciador del establecimiento y proliferación de bacterias en suelos no perturbados. (Trabajo de grado, Universidad ICESI).* Recuperado de: https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76991/1/belalcazar_evaluacion_biocarbon_2014.pdf

Calla, H. (2010). *Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras*. (Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú). Recuperado de: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/797/calla_lh.pdf;jsessionid=96C86DD6968235D5F1B32C8312BCF1A1?sequence=1

Canales, I. (2017) *Valorización de biocarbones obtenidos mediante pirolisis de residuos orgánicos.* Universidad Politecnica de Cartagena: España

Castillo, Y. (2010). *Evaluación química toxicológica de plomo en suelo de Lima Metropolitana* (Tesis pre grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Condeña, E. (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*. (Tesis pre grado). Universidad Cesar Vallejo, Lima.

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.* Universidad Politécnica de Madrid: España.

Cuizano, Norma A., Reyes, Ursula F., Dominguez, Susana, Llanos, Bertha P., & Navarro, Abel E. (2010). *Relevancia del PH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas.* Revista de la Sociedad Química del Perú, 76(2), 123-130. Recuperado en 20

de noviembre de 2019, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000200002&lng=es&tlng=es

Culturaedafica in Fertilidad, Uncategorized (2018). *Biochar (Biocarbón)*. (Mensaje en un blog). Recuperado de: https://agrologia.wordpress.com/2018/08/12/biochar-biocarbon/

De la cruz, L. (2018). *Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV, 2018*. (Tesis pre grado). Universidad Cesar Vallejo, Lima.

Del Amo, E. (2018). *Producción de biochar a partir de material bioestabilisado*. Universidad de Valladolid. Recuperado de: https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/31220/TFG-I-894.pdf;jsessionid=4467FDEF6CD2EB53CAB961E03FDA18E6?sequence=1

Díaz, W. (2016) *Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú.* Rev. Del Instituto de Investigación IIGEO, 19 (38), 103 – 110. Recuperado de http://tramite.ingemmet.gob.pe/BusquedaGeodoc/images/biblioteca/RFIGMMG-38-103.pdf

Dirección General de Salud Ambiental. (2010). *Evaluación de los resultados de los monitoreos realizados a los Recursos Hídricos en la cuenca del río Rímac, correspondiente al periodo de agosto a diciembre de 2009*. (Informe N° 001860-2010). Recuperado de: http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/rios/2009/RIO_RIMAC_DIGESA-SEDAPAL_2009.pdf

Dulanto, A. (2013). *Asignación de competencias en materia de residuos sólidos de ámbito municipal y sus impactos en el ambiente*. (Tesis pre grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Eróstegui, C. (2009) *Contaminación Por Metales Pesados.* Rev Cient Ciencia Médica, 12 (1). Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013

Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E. y Etchevers, J. (2016). *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo*. Tierra Latinoamericana 34: 367-382.

Escalona E. (2014.) *Daños a la salud por mala disposición de residuales sólidos y líquidos en Dili, Timor Leste*. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000200011

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2009). Guía para la descripción de suelos. Recuperado de: http://www.fao.org/3/a0541s/A0541S.pdf

Fernández, A. (13 de octubre de 2006). *Contaminación por lixiviados*. (Mensaje de un blog). Recuperado de: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2006/10/13/156373.php

Fernández, Y. (2010). *Tratamientos térmicos asistidos con microondas en procesos de valorización energética*. (Tesis doctoral). Universidad de Oviedo, Oviedo.

Galan, R., Gomes, J., Bellinfance N. y Aparicio, P. (2003). *Contaminación de Suelos por Compuestos Orgánicos*. España: Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

Garita, N. y Rojas, J. (2015). *Guía práctica para el manejo de los residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompos*t. Costa Rica: Universidad Nacional de Costa Rica. Recuperado de: http://www.documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Guerra, P. A. (2015) *Producción y caracterización de biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonia peruana.* Tesis para optar por el título de Ingeniera ambiental, Universidad Nacional Agraria de La Molina

Gómez, X, Ladd B., Muños A. y Anaya R. (2017). *Determinación del efecto del biocarbón en movilidad del mercurio en sistema suelo-planta.* The Biologist (Lima), 15(1), jan-jun: 37-48

Guevara, C. y Pablo, M. (2016). "*Diseño de un Reactor de Pirólisis Experimental para pruebas de biomasa agroforestal*". (Tesis pre grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.

Herrera, Eber L., Feijoo, Cesar Y., Alfaro, Rubén, Solís, José L., Gómez, Mónica M., Keiski, Riitta L., & Cruz, Gerardo J. F.. (2018). *Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de Capparis scabrida (Sapote).* Scientia Agropecuaria, 9(4), 569-577. https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.13

Hierro, A., López, M., y Palet, C. (2017). *Tratamiento de aguas contaminadas con plomo (ii) mediante una técnica en continuo de bioadsorción en columna de corcho.* Universidad Autónoma de Bacerlona, Barcelona.

Ibarrola, R. Evar, B. & Reay, D. (2013). *Comercialisación de biocarbón (biochar) en México.* Recuperado de: http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Comercializacion_de_Biochar_en_Mexico.pdf

Iglesias, S. (2018). *Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano*. Universidad Nacional Agraria La Molina: Perú

Jaramillo, G. y Zapata, L. (2008) *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.* (Trabajo de grado). Universidad de Antioquia, Medellín.

Krami N., Clement R., Moreno E., Lepp N., Beesle L. (2011). *Eficiencia de compostaje de residuos y suelos biocarbón enmiendas verdes para reducir el plomo y el cobre de la movilidad y la absorción de raigrás*

Lehmann, J y Joseph, S. (2009*). Biochar for Environmental Management: An Introdution. London, Earthscan*. Recuperado de: http://www.biocharinternational.org/images/Biochar_book_Chapter_1.pdf

Londoño, L., Londoño, P. y Muñoz, F. (2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 14 (2): 145-153. Doi: 10.18684/BSAA(14)145-153

López, C. (2015). *Diseño del programa de manejo de residuos sólidos de la unidad educativa del milenio por estándar Dr. Camilo Gallegos Domínguez, de la parroquia nueva loja del cantón lago agrio, provincia de sucumbíos*. (Tesis pre grado). Universidad Nacional de Chimborazo, Chimborazo.

Mahecha, J., Trujillo, J. y Torres, M. (2015). *Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta*. Universidad de los Llanos, 19 (1)

Meddeb, S. *et al*. (2018). *Efectos de biochar y compost en un suelo de huerto urbano moderadamente contaminado por metales pesados*. Recuperado de: https://digital.csic.es/bitstream/10261/170507/1/Efectos_biochar_compost_suelo_huerto_urbano_2018_CL_ComCong.pdf

MINAM (2019). Taller: "*Implementación de un sistema integrado de Manejo de residuos sólidos municipales".* Recuperado de: https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/migl/municipalidades_pmm_pi/meta3A_2019_implementar_SI.pdf

Ministerio del Ambiente. (2009). *Manual de residuos sólidos. Lima: Lerma Gómez, EIRL.* Recuperado de: http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39096

Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para muestreo de suelos*. Lima: Mavet Impresiones E.I.R.L. Recuperado de: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf

Nates E. (2014). *Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de uchuva (physalis peruviana l.).* Pontificia Universidad Javeriana: Colombia

Olmo, M. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal*. (Tesis doctoral). Recuperado de: https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1

Organización Mundial de la Salud (23 de agosto de 2018). *Intoxicación por plomo y salud.* (Mensaje en un blog). Recuperado de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health

Parlamento Europeo (2019). Resolución del 28 de noviembre de 2019, sobre la situación de emergencia climática y medioambiental. Recuperado de: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2019-11-28_ES.html#sdocta7

Prieto, J.; González, C.; Román. A.; Prieto, F. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua* Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 10, núm. 1, pp. 29-44. Universidad Autónoma de Yucatán, México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (07 de junio de 2018). *Perú por un reciclaje más inclusivo.* (Mensaje en un blog). Recuperado de: http://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/presscenter/articles/peru-por-un-reciclaje-mas-inclusivo.html

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C. y Campos, A. (2006). *Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera*. Ecología aplicada, 5 (1 y 2): 149-155.

Ramírez, I. (2018). *Eficiencia del biochar obtenido a partir de residuos orgánicos municipales para la remoción de materia orgánica en aguas residuales, Chachapoyas, Amazonas, 2018*. (Tesis pre grado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas.

Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz-Lagos, M., & González, E.E. (2016). *Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo, 16 (2), pp. 66-77

Rodríguez, A., Cuellar, L., Maldonado, G. & Suardiaz M (2016*). Efectos novicos del plomo para la salud del hombre.* Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. 2016;35(3). Recuperado de: https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubinvbio/cib-2016/cib163f.pdf

Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2018). *Sol Pollutión a Hidden Reality*. Roma: Leadell Pennock, University of Saskatchewan.

Rojas, N., Sheinbaum, C. y Orta, T. (2001). *Gases de invernadero generados de residuos sólido*s. México: Universidad Autónoma de México.

Romero, J. (2017). *Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima*. (Tesis pre grado). Universidad Cesar Vallejo, Lima.

Romero, K. (2009). *Contaminación por metales pesados.* Ciencia Médica, 12 (1): 45-46. Recuperado de: http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf

Sauri, M. & Castillo, E. (2002). *Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes.* Ingeniería, vol. 6, núm. 3, septiembre-diciembre, pp. 55-60. Universidad Autónoma de Yucatán, México.

Sistema Nacional de Información Ambiental (2018). *Indicadores Nacionales sobre Residuos Sólidos*. Recuperado de: https://sinia.minam.gob.pe/indicadores/listado/383

Soria, L. (2016). *Tratamientos térmicos asistidos con microondas en procesos de valorización energética*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.

Stadler, N. & Hernando, A. (2018). *Más Allá de la Agroforestería. El Biocarbón Activado y la Madera Rameal Fragmentada: utilización y preparación en Mollesnejta.* Acta Nova, 8(4), 572-592. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000200006&lng=es&tlng=es

Tello, L., Jave, J. y Guerrero, J. (2018). *Análisis De Cuantificación De Plomo En Suelos De Parques Recreacionales De La Ciudad De Lima – Perú.* Ecología Aplicada, 17 (1). Doi: http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1168

Trujillo E. (2017). *Producción y caacterisación de biochar a partir de residuos organicos avícolas.* Universida Nacional Agraria La Molina: Perú.

Urien, A. (2013). *Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual.* (Tesis de maestría). Recuperado de: https://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pf

Valarezo C., Villamagua M., Mora R., Maza H., Wilcke W. y Nieto C. (2016). *Respuesta del pachaco (schizolobium parahybum vell. conc) y la melina (gmelina arbórea roxb.) a la aplicación de biocarbón y fertilización en el sur de la amazonia ecuatoriana.* Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/315203981_Bosques_Latitud_Cero_THE_IMPLEMENTATION_OF_BIOCARBON_AND_FERTILIZATION_IN_THE_SOUTH_OF_THE_AMAZON_ECUATORIANA.

Wells B., Nilsson J. y Battle P. [Living Web Farms]. (21 de noviembre de 2013). *Biochar Workshop Part 1, How to Make Biochar* [DVD]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=svNg5w7WY0k&t=87s

Zegarra, S. (2015) *Uso de biocarbón elaborado con vísceras de pescados y lodos de lagunas de oxidación para el mejoramiento de suelos áridos del distrito de Ancón-Lima-Perú.* (Tesis pre grado). Universidad Cesar Vallejo, Lima.

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Tabla 11

Operacionalización de variables

Variables		Definición conceptual	Definición Operacional	Categorización	Indicador	Unidad
Variable independiente	Biocarbón de residuos orgánicos	Es la descomposición de materia orgánica térmicamente con oxígeno condicionado (Romero, 2017). El biocarbón es definido como una ecotecnologia, mejora la fertilidad de los cultivos y plantas, y mejora en gran porcentaje la calidad de los suelos. (Ayala, 2016)	Es el biocarbón de residuos domiciliarios (ROD), excretas de cabras (REC) y residuos de poda (RPO) que serán evaluados e incorporado en diferentes tratamientos para medir su calidad.	Dosis ROD	100	%
				Dosis REC	100	%
				Dosis RPO	100	%
				Dosis ROD + REC	50 - 50	%
				Dosis ROD + RPO	50 - 50	%
				Dosis REC + RPO	50 - 50	%
Variable dependiente	Inmovilización del plomo en suelo agrícola	Romero. (2017) El biocarbón tiene la capacidad de inhibir o inmovilizar los metales pesados en suelos contaminados, lo cual permite la minimizar los riesgos de fitotoxicidad y biodisponibilidad.	Para la inmovilización de plomo se aplicará el biocarbón de residuos orgánicos en el suelo contaminado, siendo monitoreada constantemente durante 4 meses a través de análisis para medir la eficiencia del proceso.	Características fisicoquímicas	Temperatura	°C
					pH	1-14
		Gracias a su característica recalcitrante y su estructura estable de carbono aromático, se facilita la absorción del plomo (Obaji *et al.*,2017)			Humedad	%
				Tiempo	Días	120-180
				Concentración de plomo	unidad	mg/kg

Anexo 2. Matriz de consistencia

Tabla 12

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
Problema general.	Objetivo general	Hipótesis general	VARIABLE INDEPENDIENTE	Tipo de investigación: Aplicada Diseño de investigación: Experimental Población: Carapongo, distrito de Lurigancho Chosica. Muestra: Suelo agrícola de una parcela de Carapongo Metodología: 1. Investigación y definición de objetivos 2. Muestreo y Análisis de plomo en suelo 3. Recolección y adecuación de materia prima • Construcción de la zona de acopio • Obtención de residuos orgánicos • Construcción de horno pirolítico 4. Producción de biocarbón 5. Homogenización de suelo y biocarbón 6. Análisis de plomo en suelo con biocarbón 7. Comparación de resultados 8. Conclusiones Diseño estadístico: Diseño experimental completamente al azar (DCA) Análisis estadístico: Todos los análisis estadísticos serán realizados a un intervalo de confianza de 95 % (α<= 0.05) usando el software RStudio 3.5.1
¿El biocarbón de residuos orgánicos, permite la inmovilización de plomo en suelos agrícolas?	Inmovilizar el plomo en suelos mediante biocarbón obtenido por pirolisis de residuos orgánicos en zona agrícola del Valle de Carapongo (Lurigancho, Lima)	La aplicación del biocarbón a partir de residuos, si inmovilizan de manera óptima el plomo presente en suelos agrícolas.	Biocarbón de residuos orgánicos DIMENSIONES: • Características fisicoquímicas del biocarbón • Dosis de biocarbón de residuos domiciliarios, excretas caprinas y residuos de poda.	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	VARIABLE DEPENDIENTE	
¿Es eficaz la producción de biocarbón a partir de residuos orgánicos domiciliarios, excretas de cabra y residuos de poda?	Producir biocarbón eficaz por pirolisis de residuos orgánicos domésticos, excretas de cabras y residuos de poda.	Los residuos orgánicos domésticos, excretas de cabra y residuos de poda; son materias precursoras eficaces para la producción de biocarbón.	Reducción del plomo en suelo agrícola DIMENSIONES: • Características fisicoquímicas • Tiempo • Concentración de plomo en el suelo.	
¿Existe reducción de las concentraciones de plomo presente en el suelo agrícola a los 120 y 180 días de tratamiento?	Cuantificar la concentración del plomo en el suelo al inicio del tratamiento, a los 120 y 180 días del tratamiento.	Las concentraciones de plomo presente en suelos agrícolas, demuestran resultados de reducción de plomo a los 120 y 180 días del tratamiento.		
¿Es eficiente la inmovilización de plomo en suelo agrícola mediante el biocarbón de residuos orgánicos domiciliarios, excretas de cabra y residuos de poda?	Evaluar la eficiencia de la inmovilización del plomo, mediante biocarbón de residuos orgánicos domiciliarios, excretas de cabra y residuos de poda en suelos agrícolas.	La inmovilización del plomo mediante el biocarbón de residuos orgánicos domiciliarios, excretas de cabra y residuos de poda es eficiente para el tratamiento de suelos agrícolas.		