

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Aplicación de enmiendas orgánicas y
fitorremediación en suelos agrícolas contaminados
por plomo en la margen izquierda de la cuenca
media del río Mantaro**

Johanna Del Rosario Indigoyen Porras
Katherin Fiorella Ninamango Franco

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Felipe Néstor ~~Quispe~~ Mesa
Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Edwin Natividad Gabriel Campos
Asesor de tesis
ASUNTO : Remite resultado de evaluación de originalidad de tesis
FECHA : 01 de Setiembre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y FITORREMEDIACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS POR PLOMO EN LA MARCEN IZQUIERDA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MANTARO", perteneciente al/los/as estudiante(s) INDIQOYEN PORRAS, Johanna del Rosario y NINAMLANCO FRANCO, Katherin Fiorella, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental; se procedió con la carga del documento a la plataforma ~~Turnitin~~ y se realizó la verificación completa de las coincidencias resultadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

• Filtro de exclusión de bibliografía	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
• Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (% de palabras excluidas: 10)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
• Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI y en la Directiva 005-2016-R/UCO.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Johanna del Rosario ~~Indigayen~~ Porras, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 77352340, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y FITORREMEDIACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS POR PLOMO EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MANTARO", es de mi autoría | la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizada, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

01 de Septiembre de 2023.



Johanna del Rosario ~~Indigayen~~ Porras

DNI. No. 77352340

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Katherin Fiorella ~~Ninamango~~ Franco, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 47909969, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y FITORREMEDIACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS POR PLOMO EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MANTARO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizada, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

01 de Septiembre de 2023.



Katherin Fiorella Ninamango Franco

DNI. No. 47909969

APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y FITORREMEDIACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

20% INDICE DE SIMILITUD	20% FUENTES DE INTERNET	5% PUBLICACIONES	9% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upeu.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	1library.co Fuente de Internet	1%
4	purl.org Fuente de Internet	<1%
5	cict.umcc.cu Fuente de Internet	<1%
6	digital.csic.es Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repository.unimilitar.edu.co Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1%

10 es.slideshare.net Fuente de Internet <1 %

11 dev.scielo.org.pe Fuente de Internet <1 %

12 docplayer.es Fuente de Internet <1 %

13 repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet <1 %

14 vsip.info Fuente de Internet <1 %

15 repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet <1 %

16 repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet <1 %

17 repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet <1 %

18 Alberto Luis Cantoral, Raquel Alonso-Redondo, Marta Eva García-González, Ángel Penas, Sara del Río. " Phytosociological analysis of the endemic forests of the Iberian Peninsula ", Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 2023
Publicación <1 %

19 repositorio.uap.edu.pe

	Fuente de Internet	<1 %
20	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
21	repositorioinstitucional.buap.mx Fuente de Internet	<1 %
22	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
24	Alexander Sánchez-Duque, Francisco Bautista, Rubén Cejudo, Avto Goguitchaichvili, Miguel Cervantes-Solano. "Los parámetros magnéticos como indicadores de contaminación por elementos mayores y plomo en suelos urbanos del Valle de Aburrá, Colombia", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 2020 Publicación	<1 %
25	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %

28	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to UNILIBRE Trabajo del estudiante	<1 %
31	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	www.revistascca.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to Universidad de Pamplona Trabajo del estudiante	<1 %
37	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.uceva.edu.co Fuente de Internet	<1 %
39	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1 %

Trabajo del estudiante

40 Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes <1 %
Trabajo del estudiante

41 repositorio.undac.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

42 repositorio.upla.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

43 repositorio.uptc.edu.co <1 %
Fuente de Internet

44 search.scielo.org <1 %
Fuente de Internet

45 www.dspace.uce.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

46 bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083 <1 %
Fuente de Internet

47 #N/A. "PAP de la Plataforma DOM-1 - Pozo Fortuna 1XD - ST3, en el Lote 116-IGA0000823", R.D. N° 388-2017-MEM/DGAAE, 2021 <1 %
Publicación

48 cupdf.com <1 %
Fuente de Internet

49 repositorio.ufms.br <1 %
Fuente de Internet

50	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	repositorioslatinoamericanos.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
52	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
53	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
54	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
56	dSPACE.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
57	rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com Fuente de Internet	<1 %
58	EVALUACION Y GESTION AMBIENTAL SOCIEDAD ANONIMA CERRADA EVAGAM S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto de Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos del Ámbito No Municipal Ecocentro Aqopampa-IGA0001775", R.D. N° 1801-2016/DSA/DIGESA/SA, 2020 Publicación	<1 %

59	GARCIA CABRERA JUAN CARLOS. "EIA del Proyecto de Planta de Segregación de Residuos Sólidos de Huancayo-IGA0003686", R.D. N° 3094/2008/DIGESA/SA, 2020 Publicación	<1 %
60	geoportal.agricultura.gob.ec Fuente de Internet	<1 %
61	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
62	CESEL S A. "EIA para el Proyecto Obras de Derivación del Río Colcabamba para el Sistema de Enfriamiento de la C.H. Santiago Antúnez de Mayolo-IGA0011284", R.D. N° 348-2002-EM/DGAA, 2021 Publicación	<1 %
63	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
66	www.minam.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
67	www.storyboardthat.com Fuente de Internet	<1 %

68	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
69	www.doccity.com Fuente de Internet	<1 %
70	MARIA DEL CARMEN MOLINA BELVER. "Estudios citogenéticos evolutivos del género Zea", Universitat Politecnica de Valencia, 2011 Publicación	<1 %
71	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
72	visorsig.oefa.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
73	Submitted to EP NBS S.A.C. Trabajo del estudiante	<1 %
74	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
75	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
76	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
77	ECOLOGIA Y TECNOLOGIA AMBIENTAL S.A.C. "Modificación del EIA del Proyecto en Ejecución de la Planta de Fabricación de Bolas de Acero a fin de Implementar el Proyecto Ampliatorio para la Planta de Fabricación de	<1 %

Piezas de Acero-IGA0009454", R.D. N° 490-
2015-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020

Publicación

78	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
79	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
80	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
81	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
82	Carlos Alberto Lazo Oscanoa, Keyla Xiomara Alzamora Solís, Jorge Rolando Llanos García, Katherine Rosario Elizabeth Solís Mendoza et al. "Análisis de la normativa aplicable por el derrame de hidrocarburos en Ventanilla", Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2022 Publicación	<1 %
83	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
84	repositorio.unbosque.edu.co Fuente de Internet	<1 %

85 GRUPO LLR E.I.R.L.. "Plan de Recuperación de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos del Botadero El Molino del Distrito de Sicaya, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín-IGA0016207", R.G.S.P. N° 404-2021-MPH/GSP, 2022 <1 %
Publicación

86 Submitted to UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología <1 %
Trabajo del estudiante

87 Submitted to Universidad Católica de Santa María <1 %
Trabajo del estudiante

88 Submitted to Unviersidad de Granada <1 %
Trabajo del estudiante

89 ri.ues.edu.sv <1 %
Fuente de Internet

90 Submitted to unasam <1 %
Trabajo del estudiante

91 www.scielo.org.co <1 %
Fuente de Internet

92 Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador <1 %
Trabajo del estudiante

93 INGENIEROS AMBIENTALES S.A.C.. "DAA para su Planta de Trabajos en Piedra-IGA0003176", <1 %

R.D. N° 335-2019-PRODUCE/DVMYPE-
I/DGAAMI, 2020
Publicación

94	Submitted to Submitted on 1689735015294 Trabajo del estudiante	<1 %
95	pt.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
96	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
97	rraae.cedia.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
98	www.minem.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
99	www.riaa.uaem.mx Fuente de Internet	<1 %
100	INSIDEO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - INSIDEO S.A.C.. "Cuarta MEIA-SD del Proyecto de Exploración Minera Constancia- IGA0000680", R.D. N° 388-2012-MEM/AAM, 2020 Publicación	<1 %
101	carreteros.org Fuente de Internet	<1 %
102	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %

103	rcta.unah.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
104	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
105	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
106	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
107	revistas.ufps.edu.co Fuente de Internet	<1 %
108	www.accesosalud.com Fuente de Internet	<1 %
109	www.catlab.com.ar Fuente de Internet	<1 %
110	www.inibap.org Fuente de Internet	<1 %
111	www.regionjunin.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y FITORREMEDIACIÓN
EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS POR PLOMO EN LA
MARGEN IZQUIERDA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MANTARO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

PRESENTADA POR:

BACH. INDIGOYEN PORRAS, Johanna del Rosario

BACH. NINAMANGO FRANCO, Katherin Fiorella

HUANCAYO - PERÚ

2023

AGRADECIMIENTOS

A nuestro asesor de tesis Mg. Edwin N. Gabriel Campos, quien con su enseñanza y orientación contribuyó para la culminación de la investigación.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental de quienes recibimos sabias enseñanzas y experiencias académicas.

Al ex alcalde de la Municipalidad Distrital de San Jerónimo de Tunán, Ing. Freddy Pablo Sachahuamán Palacios gestión 2019 – 2022, por facilitar el uso de un espacio en el invernadero municipal para el establecimiento de las parcelas del experimento.

A los vigilantes del invernadero municipal señores: Aquiles Sebastián Estrada y Juan Valle Crispín Gaspar, quienes vigilaron para que las muestras del experimento no sean manipuladas por personas ajenas.

DEDICATORIA

Dedicamos afectuosamente esta investigación a nuestros padres:

- Indigoyen Ramírez, Teófilo Eusebio y Porras Romo, Leonor María del Rosario.
- Ninamango Capcha, Fernando Fortunato y Franco Martínez, Edith Susana.

Con eterna gratitud por su apoyo incondicional, por el inquebrantable amor brindado, por creer en nosotras y por proporcionarnos todo lo que necesitábamos para poder llegar hasta aquí.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	xviii
DEDICATORIA.....	xix
ÍNDICE	xx
RESUMEN.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
INTRODUCCION.....	27
CAPÍTULO I	29
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	29
1.1. Planteamiento y formulación del problema	29
1.1.1. Planteamiento del problema	29
1.1.2. Formulación del problema.....	31
1.2. Objetivos.....	31
1.2.1. Objetivo general.....	31
1.2.2. Objetivos Específicos.....	31
1.3. Justificación e importancia.....	32
1.4. Hipótesis.....	33
1.4.1. Del experimento.....	33
1.4.2. Del modelo del crecimiento de Zea mays en suelos con Pb.....	33
1.5. Variables, operacionalización	33
1.5.1. Variables independientes	33
1.5.2. Variable dependiente	34
CAPÍTULO II	36
2. MARCO TEÓRICO	36
2.1. Bases teóricas	41
2.1.1. Medio ambiente y contaminación ambiental	41
2.1.2. El suelo y sus propiedades	41

2.1.3. Contaminación de suelo	48
2.1.4. El uso del agua con fines agrícolas	50
2.1.5. Técnicas de recuperación de suelos	51
2.1.6. Muestreo de suelo	56
2.2. Definición de términos básicos	57
CAPÍTULO III	60
3. METODOLOGIA	60
3.1. Método y alcance de la investigación	60
3.1.1. Método de Investigación.....	60
3.1.2. Alcance de la Investigación.....	60
3.2. Diseño de la Investigación	60
3.3. Factores y niveles de estudio:	60
3.4. Experimentación	70
3.5. Población y muestra	63
3.5.1. Población	63
3.5.2. Tamaño de muestra	66
3.5.3. Recolección de muestras de suelo.....	67
3.6. Evaluación final de Pb en el suelo	71
3.7. Correlación y modelo de crecimiento del Zea mays en presencia de Pb	72
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	70
3.8.1. Técnica de recolección de datos.....	70
3.8.2. Instrumentos de recolección de datos.....	70
CAPÍTULO IV	73
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
4.1. Nivel de concentración de plomo.....	73
4.2. Evaluación de la aplicación de enmiendas orgánicas.....	75
4.3. Prueba de hipótesis	76
4.3.1. Contenido final de Pb en el suelo	76

4.4.	Evaluación del crecimiento Zea mays	80
4.4.1.	Correlación entre crecimiento del maíz y concentración de Pb.....	82
4.4.2.	Modelo de crecimiento del maíz en función de concentración de Pb.....	82
4.5.	Discusión de resultados.....	83
	CONCLUSIONES.....	85
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	86
	ANEXOS	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables	35
Tabla 2.	Textura de los suelos según tamaño de partículas	44
Tabla 3.	Nivel de capacidad de intercambio catiónico.....	47
Tabla 4.	Puntos de muestreo según área.....	57
Tabla 5.	Características del Biochar.....	61
Tabla 6.	Características del compost.....	61
Tabla 7.	Croquis del experimento 4x4x3.....	63
Tabla 8.	Aleatorización para selección de distritos (muestra)	66
Tabla 9.	Ubicación de puntos de muestreo	69
Tabla 10.	Esquema del ANVA	72
Tabla 11.	Análisis de suelo – caracterización.....	73
Tabla 12.	Concentración de plomo (ppm) en el suelo agrícola	74
Tabla 13.	Concentración de plomo (ppm) según tratamiento	75
Tabla 14.	Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el contenido final de Pb .	77
Tabla 15.	Análisis de variancia para el contenido final de Pb en el suelo.	79
Tabla 16.	Altura promedio del <i>Zea mays</i> a la octava semana según tratamiento. .	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama textural de USDA	44
Figura 2.	Combinación de tratamiento 4 x 4.....	62
Figura 3.	Localización de la cuenca media del río Mantaro	64
Figura 4.	Localización del valle del Mantaro en la cuenca media del río Mantaro.	65
Figura 5.	Ubicación de localidades muestreadas	67
Figura 6.	Ubicación de puntos de muestreo	68
Figura 7.	Concentración de Pb en tratamiento a la octava semana	78
Figura 8.	Prueba de Duncan para el contenido final de Pb en el suelo	79
Figura 9.	Crecimiento del <i>Zea mays</i> a la octava semana del experimento	81
Figura 10.	Comparación del crecimiento de <i>Zea Mays</i> con compost y Biochar ..	81

RESUMEN

Se analizó la variación de plomo (Pb) en suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro aplicando enmiendas orgánicas, se evaluó la eficiencia de la fitorremediación mediante el crecimiento del *Zea mays* (maíz). Se tomó muestras de suelos a una profundidad de 30 cm en terrenos agrícolas bajo riego con aguas del río Mantaro de las localidades de Ataura, El Mantaro, Matahuasi y Concepción, a las que se añadieron biochar de residuos de madera de *Eucalyptus globulus Labill* (Eucalipto) y compost en proporciones de 0, 25, 50 y 75 g/kg respectivamente, mediante diseño de experimento factorial de 4 x 4 con tres repeticiones. El análisis de suelos se realizó en el laboratorio de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina. La concentración promedio de plomo al inicio fue 2 014.57 ppm y a la finalización del experimento la menor concentración promedio de Pb con aplicación de biochar y compost correspondió al tratamiento T7 que fue 1 308.89 ppm, reduciéndose la concentración de Pb en 35.03%. El *Zea mays* se comporta como una buena planta indicadora de fitorremediación para fines de investigación, y siendo el producto de ese cultivo agrícola fuente alimenticia para la población humana es menester se realice la remediación de los suelos agrícolas en el Valle del Mantaro lo más pronto posible para evitar riesgos y efectos perjudiciales a la salud humana.

Palabras claves: Suelo, contaminación de suelos, biochar, compost, metales pesados.

ABSTRACT

The variation of lead (Pb) in agricultural soils on the left bank of the middle basin of the Mantaro River was analyzed applying organic amendments, the efficiency of phytoremediation was evaluated through the growth of *Zea mays* (corn). Soil samples were taken at a depth of 30 cm on agricultural land irrigated with water from the Mantaro River in the towns of Ataura, El Mantaro, Matahuasi and Concepción, to which biochar from *Eucalyptus globulus* Labill (*Eucalyptus globulus* Labill) wood residues were added.) and compost in proportions of 0, 25, 50 and 75 g/kg respectively, using a 4 x 4 factorial experiment design with three repetitions. The soil analysis was carried out in the laboratory of soils, plants, water and fertilizers of the Faculty of Agronomy of the La Molina National Agrarian University. The average concentration of lead at the beginning was 2,014.57 ppm and at the end of the experiment the lowest average concentration of Pb with the application of biochar and compost corresponded to treatment T7, which was 1,308.89 ppm, reducing the concentration of Pb by 35.03%. *Zea mays* behaves as a good phytoremediation indicator plant for research purposes, and since the product of this agricultural crop is a food source for the human population, it is necessary to carry out the remediation of agricultural soils in the Mantaro Valley as soon as possible. to avoid risks and detrimental effects to human health.

Keywords: Soil, soil contamination, biochar, compost, heavy metals.

INTRODUCCION

El suelo como medio natural es alterado física, química y biológicamente por las externalidades negativas de las industrias, de las explotaciones mineras, el transporte, manipulación y derrames de combustibles, entre otros, constituyéndose un problema muy grave a nivel mundial porque causan un desbalance en la composición de la materia orgánica (1).

Los suelos de toda la cuenca del río Mantaro están expuestas al uso excesivo de fertilizantes, quema de restos de siembras y al riego con aguas contaminadas con metales pesados, la absorción de plomo por el sistema radicular de las plantas (primer contacto metal pesado-raíces de las plantas) se bioacumula en los tejidos vegetales, siendo perjudicial para la cadena alimenticia por generar riesgos para los seres biológicos y la salud humana principalmente. (2)

Ante esta problemática surgió una inquietud de ¿Cómo disminuir considerablemente la presencia de plomo (Pb) en suelos agrícolas expuestas a riego con aguas que poseen presencia de metales pesados? La respuesta fue mediante tratamiento físico-químico y fitorremediación. En la investigación se abordó precisamente la utilización del Biochar como una opción de tratamiento físico químico y el compost como mejorador de suelo.

El biochar se elaboró con residuos leñosos sometido a un proceso de pirolisis entre 350 °C a 500°C (3), similarmente el compost fue elaborado con residuos orgánicos de los hogares, el biochar y el compost se utilizaron como enmiendas orgánicas porque interactúan en el suelo como inhibidor del contaminante atrayendo electrostáticamente y encapsulando el metal dentro de una estructura granulométrica del biocarbón, disminuyendo así la disponibilidad de que el metal sea absorbido por las plantas y como técnica remediadora de suelo expuesto a plomo se hizo uso del proceso de fitorremediación utilizando semillas de *Zea mays* que absorbe, volatiliza, tolera y acumula altas concentraciones que posibilitan la remoción de los contaminantes.

El objetivo fue analizar la variación de la concentración de Plomo presente en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro con la aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación con *Zea Mays*.

En el Capítulo I, comprende el planteamiento y formulación del problema, se explicitó el objetivo general y los específicos, la justificación e importancia, las hipótesis y las variables dependiente e independientes.

El Capítulo II, trata sobre el marco teórico, enfatizando en los antecedentes, las bases teóricas, y la definición de los términos básicos como el marco conceptual.

El Capítulo III, describe el método, el alcance, el diseño de la investigación, los factores y niveles de estudio, los tratamientos, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El Capítulo IV, incluye los resultados del nivel de concentración de plomo, la evaluación de la aplicación de enmiendas orgánicas y la evaluación de la eficiencia de la fitorremediación en suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro y la discusión correspondiente.

Finalmente se expone las principales conclusiones y recomendaciones a los que se arribó como consecuencia de la investigación realizada.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Para entender el problema de la contaminación a nivel global, enfocarse en la polución de los suelos como una realidad social latente para territorios como Eurasia y Latinoamérica es un buen punto de partida (4). De hecho, la contaminación de los suelos por metales pesados ocurre por la deposición atmosférica, la rápida urbanización, industrialización y la agricultura. “Los metales pesados además de contaminar los suelos son amenazas para la calidad del agua, disponibilidad de alimentos y la salud humana cuando entran en la cadena alimenticia” (5).

En el Perú existen diversos problemas ambientales como consecuencia de una serie de factores asociados al crecimiento de la población, crecimiento de las ciudades, cambios de uso del suelo y nuevas dinámicas territoriales (6). La contaminación del suelo puede acarrear problemas a la salud humana y al desbalance de los ecosistemas por incorporación de metales pesados provenientes de las actividades antropogénicas, entre ellas: Las industrias, las actividades agrícolas, las innovaciones tecnológicas, siendo la pequeña y gran minería las principales fuentes de contaminación de suelos con metales pesados como el mercurio, el plomo y arsénico (7).

El suelo es un recurso natural renovable, indispensable para la vida en el planeta, proporciona el ciclo de nutrientes primarios a todos los seres vivos del ecosistema, y actúa como una base para la alimentación, hidrocarburos, fibras de origen vegetal y proporcionan los principales activos para la producción de medicinas; la calidad de los vegetales depende mucho de la calidad del suelo (8).

El río Mantaro nace en el lago Chinchaycocha, sus aguas corren en dirección sureste hasta Mayoc dirigiéndose al noreste hasta su confluencia con el río Apurímac, abarca territorios de los departamentos de Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho. En tierras aledañas a este río se desarrollan diversas actividades económicas como la minería, la metalúrgica, piscicultura, agrícola, ganadería, electricidad, entre otras. (9)

En la cuenca alta y media de su recorrido de las aguas del río Mantaro existen fuentes puntuales de contaminación a lo largo del recorrido del río Mantaro, como es el caso de las aguas residuales de 17 centros poblados, de 9 empresas mineras, los pasivos ambientales de residuos sólidos asentados a ambas márgenes del río (9). Por estos casos el 2003, en el Perú se declaró “en emergencia ambiental la cuenca del río Mantaro” (10).

El suelo agrícola del Valle del Mantaro es parte esencial para la producción agrícola requerida por la población en el centro del país y la capital Lima, en periodos de estiaje el agua es requerida para el proceso de su producción, por lo que sus aguas son usadas para el riego de 29 660 has de suelos agrícolas, esa agua presenta concentraciones elevadas de metales pesados entre ellas tenemos al plomo por encima del límite máximo permisible (11).

La degradación y la pérdida de fertilidad del suelo, son causadas por malas prácticas agrícolas, como “la irrigación excesiva, uso de aguas de mala calidad y el uso excesivo de herbicidas, fertilizantes y pesticidas” (8). Los elementos químicos tienden a bioacumularse en diferentes cultivos agrícolas como el maíz, la papa, zanahoria y otros (12). Trascendiendo en un riesgo para la salud humana. Siendo el interés de la presente investigación analizar la variación de la concentración de plomo existente en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro, mediante la aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación.

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

¿Cómo varía la concentración de Plomo presente en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro, con la aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación?

Problemas específicos

- ¿En qué nivel se encuentran las concentraciones de plomo en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro?
- ¿Cuál de los tratamientos es más efectivo con la aplicación de las enmiendas orgánicas para reducir los niveles de concentración de plomo en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro?
- ¿Cómo es el crecimiento del *Zea mays* cultivado con enmiendas orgánicas en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar la variación de la concentración de Plomo presente en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro con la aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el nivel de concentración de plomo que se encuentran en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro
- Determinar el tratamiento más efectivo con la aplicación de las enmiendas orgánicas para reducir los niveles de concentración de plomo en los suelos agrícola de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro
- Evaluar el crecimiento del *Zea mays* cultivado con enmiendas orgánicas en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro

1.3. Justificación e importancia

La aplicación de enmiendas orgánicas se realizó para disminuir la concentración de plomo presente en los suelos agrícolas de la margen izquierda del río Mantaro y que no afecte la calidad nutritiva de los cultivos agrícolas en su producción. El presente estudio presenta una alternativa de solución sin demandar costo elevado para suelos contaminados por plomo debido a las actividades de las empresas mineras que están asentadas en el centro del Perú, mediante la aplicación de enmiendas orgánicas, esta estrategia tiene por objetivo absorber el plomo y mejorar las características del suelo, puesto que los suelos agrícolas constituyen un sistema importante para la producción alimenticia que requiere la población.

Los suelos aledaños al río Mantaro son regados con estas aguas en épocas de estiaje, la presencia de plomo en los suelos agrícolas constituye riesgos para el ambiente y la salud humana. En el año 2003 el gobierno peruano declaró la cuenca del río Mantaro en total Emergencia Ambiental, abarcando los departamentos de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho, es por ello que la investigación tiene por objetivo determinar la variación de la concentración del plomo en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro con la aplicación de enmiendas orgánicas.

La importancia de la recuperación de los suelos es fundamental porque son una fuente de producción agrícola y avícola, es por ello que a nivel mundial se han planteado innumerables soluciones a la contaminación de los mismos con la aplicación de biochar para la absorción del plomo y compost como mejorador de suelos y además porque son ricos en materia orgánica y aportan un elevado porcentaje de nutrientes, así mismo como una elevada carga microbiana.

Esta investigación estudió de manera más cercana las propiedades físicas y químicas de los suelos de la cuenca media del valle del Mantaro y se ha detectado la presencia de alto contenido de plomo en su constitución motivo por el cual se proporciona una alternativa de solución a la contaminación por plomo de estos suelos, posibilitando de este modo contribuir con la mejora de la salud y economía del agricultor debido a que estas alternativas son de bajo costo y su aplicación relativamente fácil.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Del experimento

Nula (H_0):

La aplicación de enmiendas orgánicas no disminuye la concentración de plomo existentes en los suelos agrícolas.

Alternativa (H_a):

La aplicación de enmiendas orgánicas disminuye la concentración de plomo existentes en los suelos agrícolas.

1.4.2. Del modelo del crecimiento de *Zea mays* en suelos con Pb

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_a: \beta_i \neq 0$$

1.5. Variables, operacionalización

1.5.1. Variables independientes

X_1 = Biochar

Indicadores:

Dosis crecientes de biochar

B_0 = 0 g de biochar /kg de suelo

B_1 = 25 g de biochar /kg de suelo

B_2 = 50 g de biochar/ kg de suelo

B_3 = 75 g de biochar/kg de suelo

X_2 = Compost

Indicadores:

Dosis crecientes de compost

C_0 = 0 g de compost /kg de suelo

C_1 = 25 g de compost /kg de suelo

C_2 = 50 g de compost/ kg de suelo

C_3 = 75 g de compost/kg de suelo

X_3 = *Zea mays*

Indicadores:

Altura de la planta (*Zea mays*). Se midió en centímetros tomando desde la parte baja del tallo donde se realizó el corte hasta la inflorescencia de la planta.

1.5.2. Variable dependiente

Y = Suelo agrícola con plomo

Indicadores:

Concentración de plomo en los suelos agrícolas al inicio y finalización de la investigación.

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	DEFINICIÓN	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
VARIABLE INDEPENDIENTE					
	Aplicación de biochar en suelos agrícolas	Biochar, elaborado por la conversión termoquímica de biomasa vegetal en un ambiente con oxígeno limitado, aporta al suelo alto contenido de carbono.	Dosis crecientes de biochar B ₀ = 0 g de biochar /kg de suelo B ₁ = 25 g de biochar /kg de suelo B ₂ = 50 g de biochar/ kg de suelo B ₃ = 75 g de biochar/kg de suelo	gramos	Ficha de resultados del laboratorio
ENMIENDAS ORGANICAS	Aplicación de compost en suelos agrícolas	Compost, aporte de material orgánico con contenido de nutrientes que mejoran la calidad del suelo.	Dosis crecientes de compost C ₀ = 0 g de compost /kg de suelo C ₁ = 25 g de compost /kg de suelo C ₂ = 50 g de compost/ kg de suelo C ₃ = 75 g de compost /kg de suelo	gramos	Ficha de resultados del laboratorio
Zea mays	Cultivo planta <i>Zea mays</i>	<i>Zea mays</i> , conocida como el maíz, es un cereal de alto valor nutricional con contenido energético cultivado para el consumo humano.	Altura de la planta (<i>Zea mays</i>). Semana 0: Semana 1: Semana 2: Semana 3: Semana 4: Semana 5: Semana 6: Semana 7: Semana 8:	cm	Ficha de observación y recolección de datos
VARIABLE DEPENDIENTE					
SUELO AGRÍCOLA	Suelos agrícolas con presencia de plomo.	Suelo agrícola, cuerpo natural que posee características adecuadas para el desarrollo de la agricultura.	Concentración inicial y final de plomo en los suelos agrícolas.	ppm	Ficha de resultados del laboratorio

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Antecedentes internacionales

Álvarez (2019) (13) trató suelos contaminados con metales pesados utilizando la colza (*Brassica napus*) añadiendo biochar a base de residuos ganaderos pirolizados a temperaturas de 300, 400 y 600°C, en diez suelos procedentes de tres zonas mineras, tomando una muestra para llevar al laboratorio, logró aumentar el pH de 4.22 a valores mayores a 8.0, la C.E. aumentó de 0.5 a 2.24 ds m⁻¹ mejorando las propiedades químicas del suelo para un mejor desarrollo de los microorganismos y vegetales, asimismo disminuyó la movilidad y la concentración de Co, Cu, Se y As; el Pb disminuyó por debajo de los niveles genéricos de referencia (NGR) como establece el Decreto 18/2015 que regula el régimen aplicable a suelos contaminados en la Junta de Andalucía (España).

Por su parte, Jiménez (2020) (14) evaluó la eficiencia de la Fitoextracción con tres especies vegetales: *Brassica oleracea*, *Helianthus annuus* y *Zea mays*; determinó su eficacia como especies fitorremediadoras. La *Brassica oleracea* absorbió del 57% al 79 % de Pb y Cd, la especie *Helianthus annuus* presentó una eficiencia de 33%, mientras que el *Zea mays* reportó una eficiencia del 18% para la absorción del Pb y concluyó que el *Helianthus annuus* extrae el Cd y Pb de suelos contaminados comportándose como una planta hiperacumuladora y el *Zea mays* como Fitoestabilizadora de Cd y Pb.

En su trabajo de investigación, Xiong (2015) (15) realizó dos experimentos mediante un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos para recuperar y rehabilitar los suelos contaminados con elementos traza de As, Cd, Cu, Zn y Pb utilizando la *Paulownia fortunei* con la aplicación de enmiendas: Espuma de azucarera (SL), compost de biosólidos (BC), y mezcla de leonardita con espuma de azucarera (LESL), la SL redujo la disponibilidad de Cd, Cu y Zn hasta un 83% y la BC el Cu redujo un 62%.

Dede otro lado, Encarnación (2013) (16) recuperó suelos degradados semiáridos con dosis de residuos orgánicos de origen doméstico y lodos de depuración de aguas residuales urbanas, mediante una dosis “normal – media” (150t/ha) equivalente a 1% de Corg (contenido en carbono orgánico total) y otra: “alta – muy alta” (450t/ha) igual al 3% de Corg. Los residuos orgánicos urbanos no perjudican

el crecimiento y la actividad microbiana de los suelos degradados del sudeste de España, así mismo, mejora las propiedades químicas, físicas, bioquímicas y microbiológicas, aportando sustancias húmicas que inmovilizan las enzimas, colaborando en la reactivando y mejorando los procesos de la vida del suelo, y contribuyendo al aumento del carbono estable.

Bernal et al. (2007) (17) realizaron fitorremediación en suelos agrícolas contaminados con As, Pb, Cd, Cu y Zn por la mina Aznalcóllar (España) utilizando mostaza de la India, ese experimento no resultó apropiado para la remediación de los suelos agrícolas, por la competencia a nivel radical, provocando una débil acumulación de biomasa y baja transferencia de metales al vegetal. Asimismo, la fitoestabilización mediante la leguminosa altramuza evidenció tolerancia a los metales y disminuyó los niveles disponibles de As, Cd, y Zn, lo cual indica una adaptación de esa planta en suelos acidificados y contaminados por lodos de pirita.

Santa-Olalla (2020) (18) determinó los efectos de la aplicación de biochar de cascarilla de arroz (BA) y biochar de hueso de aceituna (BO) durante 20 meses, en 3 muestras de suelos ácido contaminado (SAC) y 3 muestras de suelo moderadamente ácido (MC). La adición del biochar incrementó levemente el pH en SAC-BA (4,02), SAC-BO (3,77), SAC-Control (3,61) y en SMC-BA (6,03), SMC-BO (5,45), SMC-Control (5,71), y aumentó la humedad de los suelos SAC-BA (9,3), SAC-BO (11,2), SAC-Control (5,6) y en SMC-BA (16,2), SMC-BO (10,6), SMC-Control (11,2), mejoró las propiedades físicas y químicas aportando micro y macronutrientes al suelo.

Plaza (2021) (19) en la zona Norte de la Provincia de Los Ríos investigó la fitorremediación con vegetales ornamentales nativas en suelos contaminados con Cadmio (Cd), cobre (Cu), arsénico (As), plomo (Pb) y zinc (Zn). Asimismo, debido al uso de plaguicidas in extenso afectando la calidad de los suelos, el ecosistema y la salud humana y demostraron que esos vegetales tienen capacidad de eliminar los metales pesados. Ello beneficia a los agricultores que cultivan el maíz principalmente, aportando de este modo a la minimización de los costos de producción e incrementando sus beneficios económicos.

Escalante et al. (2016) (20) encuentran que el biocarbón se logra a partir de la descomposición térmica de biomasa en ausencia de oxígeno expuesto a una

temperatura mayor a los 500 °C. Su principal característica es que son ricos en materia orgánica y aportan nutrientes, lo que mejora las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos; sin embargo, se diferencian del carbón para combustible y del carbón activado.

Antecedentes Nacionales

Munive (2018) (11) en cultivos de maíz y girasol sembrados en suelos con contenido inicial de Pb de 1174.44 y 208.24 mg/kg en los distritos de El Mantaro y Muqui de la provincia de Jauja, evaluaron la remediación de suelos midiendo el efecto de la aplicación de enmiendas (Compost, vermicompost y fertilización química), raíz y hojas. En la culminación de su trabajo de campo el Pb en los suelos eran 26.73 y 119.17 mg/kg. Asimismo, determinaron que las enmiendas aplicadas extrajeron 15.66 mg/kg el Pb en cultivos de maíz y 26.17 mg/kg con el girasol, calificando al maíz como planta excluyente del Pb contenido en los suelos.

Gómez y Malca (2021) (21) trataron suelos con plomo por relaves de la minera Paredones en Cajamarca con adición de biochar elaborado a partir de estiércol de porcino a 500 °C por 2 horas, se utilizó la dosis de 5%, 10%, 15% y 20%, durante 30 días y 60 días, habiendo reducido 8676.75 mg/kg frente al contenido de plomo inicial de 24158 mg/kg, es decir, redujo un 36,92% de plomo en 60 días de tratamiento al 20% de concentración de biochar. Asimismo, afirma que la especie *Lactuca Sativa* no logró crecer posiblemente por el alto contenido de plomo en el suelo.

Munive et al. (2018) (22) utilizaron el maíz como planta fitorremediadora, en suelos degradados con altas concentraciones de Pb y Cd que superan el ECA de suelos en los distritos de El Mantaro, Mantahuasi y San Jerónimo (margen Izquierda) y Muqui, Orcotuna y Mito (margen Derecha) en el valle del Mantaro. Realizaron 3 tratamientos: (T1: Compost de Stevia, T2: Vermicompost de Stevia y T3: Químico) y 3 repeticiones por cada localidad, compararon los tratamientos y concluyeron que el *Zea mays L.* es una planta que excluye los metales pesados como Cd, Pb, Fe, Cu, Mn y Zn, asimismo la aplicación de enmiendas orgánicas como compost y vermicompost a base de *Stevia rebaudiana* solubilizó los metales pesados.

García y Pérez (2019) (23) evaluaron la eficiencia de diversas dosis de biochar 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% y 45% en 9 tratamientos, cada tratamiento

constó de 6 muestras de 1 kg de suelos contaminados, para absorber el plomo de los suelos de la ribera del río Rímac cuya concentración inicial fue de 76.03 ppm y a la finalización del estudio fue de 50.3 ppm, es decir, obtuvo una eficiencia de 33.84 % de adsorción de plomo.

Por su parte, Ríos (2018) (24) aplicó biochar de *Mespilus Germánica* L (Biomasa de poda). y *Mangifera Indica* L. con dosificación de 5%, 10% y 15% en suelos para reducir la concentración de Pb en La Huaca – Huaral, cuyo contenido promedio inicial fue de 391 mg/kg, cada tratamiento constó de 3 muestras contaminadas y una de control, el contenido final de plomo fue 32.86 ppm, por lo tanto, la adsorción del biochar fue 358.14 ppm de concentración de plomo.

De acuerdo con lo estudiando por Asencios (2017) (25), la bioacumulación de Pb y Cd en el cultivo de rábano (*Raphanus Sativus*) producido con compost de los residuos sólidos orgánicos municipales del distrito de Huachac, provincia de Huari, departamento de Ancash. recolectó una muestra de suelo a estudiar y otra de compost, realizó un análisis de espectrometría de absorción atómica para una mayor confiabilidad en los tratamientos que se aplicaron utilizando una dosificación de 25%, 50%, 75%, y 100% con sus 3 repeticiones y 1 muestra de testigo. Halló que los residuos sólidos urbanos utilizados para el compostaje llegaron a contener un mínimo de metales pesados que no causan un problema al crecimiento de las plantas, pero si acumulan metales pesados y estos podrían ser dañinos para la salud de las personas y los animales.

Para Vargas (2017) (26) determinó la eficiencia fitoextractora del *Zea mays* cultivado en suelos contaminados por la minera Catac (Pasivo ambiental) más la adición de compost y humos como abono orgánico, el objetivo fue analizar la disminución de la concentración de plomo, para lo cual realizó los tratamientos en 12 macetas de 15kg, sembró 3 semillas de *Zea Mays por maceta*. El contenido inicial de plomo para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fueron de 689.27, 731.56, 727.20 y 792.57 ppm respectivamente. En el tratamiento 3 el crecimiento del maíz fue mayor debido a las concentraciones altas de materia orgánica en el humus y en el tratamiento 2 que se añadió compost el crecimiento fue menor debido a que se presentó mayor salinidad, asimismo observó que en todos los tratamientos hubo una mayor concentración de plomo en las hojas del maíz, concluyendo que en el tratamiento 3 se ha reducido en mayor porcentaje el Pb en el suelo y una mayor concentración de Pb en sus tejidos aéreos.

El análisis de Sanchez y Zurita (2020) (27) recopilaron información en 40 artículos científicos nacionales e internacionales de fuentes confiables sobre la interacción del Biocarbón para la inhibición del plomo en los suelos agrícolas, los resultados los clasificaron en 4 fases enfocados en la contaminación de suelos, plomo en la salud, plomo en las plantas y biocarbón y los mecanismos de interacción. Concluyeron que el biocarbón aplicado en tratamientos in situ pasa a la formación de microporos que contribuye a la adherencia, atracción electrostática y la encapsulación del metal dentro de la estructura granulométrica del biocarbón. Así de esta manera se interrumpe significativamente la vía de exposición entre el metal y la biota, reduciendo el impacto negativo en la planta y su posterior ingesta en la cadena trófica.

Por su parte, Puga et al. (2006) (28) determinaron que el suelo es altamente contaminado por la industria minera, alterando y generando anomalías en su estructura por la deposición de elementos traza, es así como estos afectan negativamente la biota y la calidad del suelo, los micro y macroelementos afectan la actividad microbiana del suelo y el crecimiento de las plantas. Aquellos suelos que quedan después de una explotación minera contienen metales, desequilibra la clase textural, propiedades químicas anómalas, usencia de nutrientes, no hay presencia de ciclos biogeoquímicos, baja profundidad de enraizamiento, débil retención de agua. Los metales tienden a bioacumularse en superficie de los suelos quedando expuestos para la adherencia en los tejidos vegetales y perjudican la cadena trófica.

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Medio ambiente y contaminación ambiental

El medio ambiente es un sistema complejo y dinámico que resguarda los equilibrios biológicos, sociales, económicos, culturales, políticos, tecnológicos, éticos y estéticos (29). Además, es un hábitat físico y biológico que rodean a los seres vivos; lo que se ve, oye, toca, huele y saborea (30).

La Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, tratada en la Segunda Cumbre de la Tierra en 1992, estableció una alianza nueva y equitativa, creándose nuevos niveles de cooperación entre los Estados, los sectores claves de las sociedades y las personas, en un esfuerzo por buscar acuerdos internacionales centrados en el respeto de los intereses de todos, la protección del medio ambiente y el derecho soberano a utilizar sus propios recursos para lograr el desarrollo sostenible. (32).

En la constitución Política del Perú de 1993, establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida” (33).

La contaminación al ambiente es la introducción de agentes físicos, químicos y/o biológicos que provocan daños de manera leve o grave al medio ambiente (aire, agua y suelo), que pueden alterar de manera desfavorable a la salud, las alteraciones pueden ser producidas naturalmente o por actividad antrópica (34).

Cuando se menciona “*Medio ambiente*” se refiere al espacio donde se lleva a cabo el desarrollo de los seres vivos la cual está en constante transformación, se debe tener en cuenta que los seres vivos dependen de un ambiente saludable para la supervivencia, por ello es necesario lograr que los suelos sean saludables, puesto que es la base del sistema alimenticio y brindan servicios ecosistémicos.

2.1.2. El suelo y sus propiedades

El suelo es un cuerpo natural, no consolidado, formado por material original (sustrato mineral, provenientes de la roca madre que son erosionadas por acción del viento, agua y cambios de temperatura), componente orgánico (organismos

vivos, que crecen, mueren y son descompuestos por los microorganismos), agua y aire, entremezclados. Los suelos pueden tener diferentes características, en función de la geografía, clima, humedad, aireación y el tipo de uso (34).

En el suelo, la parte mineral suele ser mayor que la parte orgánica, siendo la parte orgánica fuente importante de nutrientes, que potencia la capacidad del suelo para la retención del agua. El agua del suelo contiene muchos nutrientes solubles para las vegetales. Los espacios porosos contienen aire, que es la fuente de oxígeno y dióxido de carbono necesario para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos y las plantas en el suelo (35).

“El suelo es un recurso natural renovable, es adaptado a diversos usos como a la agricultura, bosques, suelo urbano, industria, etc” (16). En este sentido, el suelo provee importantes funciones ambientales, dentro de los cuales se destaca ser el sustento de alimento para las plantas, almacenar nutrientes, poseer y albergar materia orgánica, ser el hábitat de diversos organismos, entre otros factores que lo hacen ser esencial en el desarrollo de los ecosistemas de los cuales forma parte. Es fundamental tener un manejo sostenible de dicho recurso natural, de manera ordenada y controlada, manteniendo su calidad (36).

La cuenca del río Mantaro abarca un área de 3 455.00 ha y comprende parcialmente los departamentos de Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho. En la cuenca se desarrollan las actividades agrícolas, ganaderas y minería. Los suelos de producción agrícola comprenden 339.065 ha. La actividad agrícola está dividida en tres zonas que corresponden a características fisiográficas de la cuenca:

1. La zona sur que comprende la parte baja de la cuenca, cuenta con mayor cantidad de tierras agrícolas y representa el 54% de la cuenca (18% bajo riego y 72% en seco), las mismas que se dedican a la producción de papa, tuna, oca, cebada y olluco.
2. La zona central que comprende el valle o planicie aluvial, la cual es de menor extensión a comparación del valle de la zona sur, y representa el 28% de la cuenca (29% bajo riego y 71% en seco) presentando cultivos importantes como papa, maíz, zanahoria, cebada, alfalfa, alcachofa.

3. La zona norte que comprende la cabecera de la cuenca en la cual los espacios de uso agrícola son más reducidos, pero a su vez poseen un mayor recurso hídrico, representa un 18% de la cuenca (33% bajo riego y 67% en seco) dedicadas a la producción de maca, avena forrajera, papa, cebada, olluco y oca (37).

Es importante mencionar que el suelo desempeña un papel fundamental en el mantenimiento local y global de la calidad medioambiental, la salud humana y el entorno” (16).

2.1.2.1. Propiedades físicas del suelo

La condición física de un suelo determina, la rigidez, la fuerza de sostenimiento, la facilidad para el crecimiento de las raíces, la aireación, movilidad del agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (38).

a. Textura del suelo

La textura del suelo se refiere a la distribución de arena, limo y arcilla en el suelo, tiene influencia en la fertilidad, la velocidad del consumo y el almacenamiento de agua en el suelo, y la amplitud de aireación (39).

Tabla 2. Textura de los suelos según tamaño de partículas

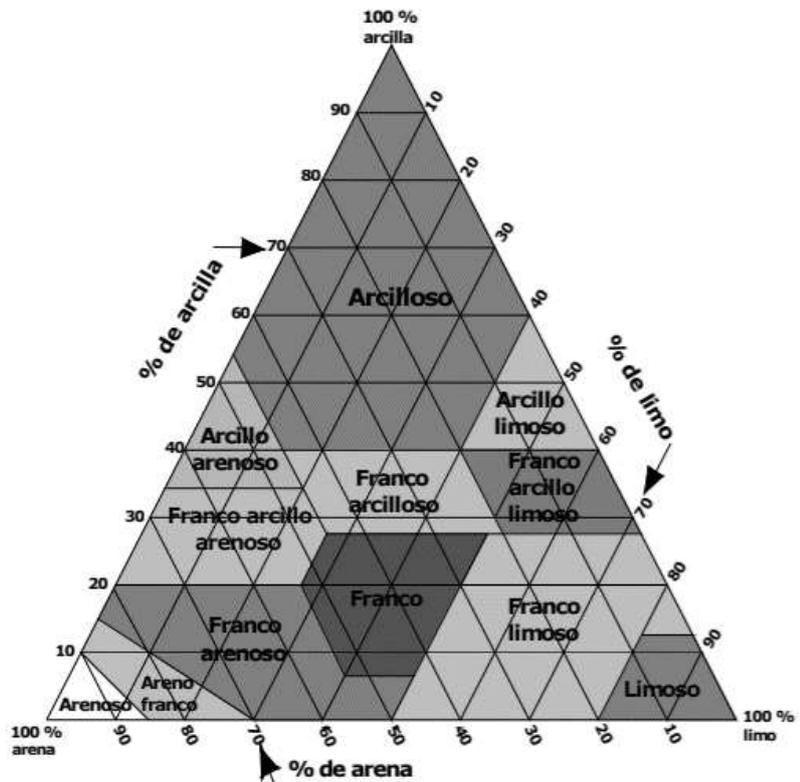
Tamaño de partículas	Textura
Hasta 2 micrones	Arcilla
De 2 a 20 micrones	Limo
De 20 a 200 micrones	Arena fina
De 200 a 2000 micrones	Arena gruesa
Más de 2000 micrones	Gravillas y gravas

1 micrón = Milésima parte de un milímetro

Fuente: Lutens y Salazar (2000)

Determinado los porcentajes de arena, limo y arcilla en laboratorio, se usa el **triángulo textural** para determinar la textura del suelo. (40).

Figura 1. Diagrama textural de USDA



Fuente: Luter et al. (1987)

El triángulo se divide en áreas que corresponden a las diversas clases texturales agrupadas en 4 grandes caracterizadas como sigue:

- Las **texturas arcillosas** dan suelos difíciles de trabajar, debido a la microporosidad, a la capacidad reducida de intercambio iónico y a su elevada capacidad de intercambio catiónico, retienen gran cantidad de nutrientes y agua.
- La **textura arenosa** presentes en suelos ligeros y fáciles de trabajar. muestran una excelente aireación y permeabilidad debido a que predominan las partículas de gran tamaño que facilitan la penetración del aire y agua. Es muy difícil que se pueda producir encharcamiento o escorrentía, se puede presenciar este proceso físico únicamente cuando se producen lluvias intensas.
- La **textura limosa** presenta carencia de propiedades coloidales formadoras de estructura, formando suelos que se apelmazan con escasa aireación y la circulación del agua. Es fácil la formación de costras superficiales que impiden la emergencia de las plántulas.
- Las **texturas francas o equilibradas** poseen un mayor equilibrio con buenas características de cada tipo de textura sin sufrir sus defectos, el estado ideal sería la textura franca y a medida que nos desviamos de ella se van mostrando los inconvenientes derivados (41).

b. Profundidad efectiva

Espesura del suelo, que determina el volumen de agua que puede almacenar y hasta donde puedan penetrar las raíces de las plantas sin obstáculos. (42).

c. Color

El color del suelo puede ser blanco, amarillo, café, gris, marrón, verde, rojo y/o negro; varía dependiendo el contenido de materia orgánica, la humedad y grado de oxidación de los minerales presentes. (42).

d. Estructura

Se define por la asociación de las partículas texturales (arena, limo y arcilla) para formar partículas mayores denominadas agregados, y depende de la estructura el comportamiento del aire, agua, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión (42).

e. Porosidad

Espacios del suelo no ocupado por sólidos, orgánicos o minerales; permite una buena circulación de agua, aire y nutrientes. Para el desarrollo y crecimiento de la planta, el tamaño de los poros es de gran importancia. (42).

f. Retención del agua en el suelo

Propiedad básica que es necesaria para el estudio de la disponibilidad del agua para las plantas. (42).

g. Disponibilidad de agua del suelo

Se denomina Capacidad de Campo (CC) es el volumen total del líquido que se encuentre en un área determinada, a medida que el suelo se seca, el potencial se hace más negativo (el agua está más retenida) y aumenta la dificultad de la raíz para absorber agua (42).

2.1.2.2. Propiedades químicas del suelo

Los parámetros químicos afectan las relaciones suelo – planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos, algunas propiedades son (16):

a. pH

El potencial de hidrógeno (pH) determina el grado de adsorción de iones hidronios por las partículas del suelo, indica acidez o alcalinidad, (1 a 14) y está correlacionada con el grado de saturación de base. A mayor concentración de iones hidronios (H^+) es ácida, si existe predominancia de iones hidróxilo (OH^-) es alcalina. Es neutra cuando la concentración de iones H^+ es igual a los iones OH^- (43). El pH óptimo para el cultivo de maíz en los suelos agrícolas del valle del Mantaro debe variar entre 5.5 y 7.5 (44).

b. Conductividad Eléctrica CE

La Conductividad Eléctrica (CE) mide la capacidad de transmisión de la corriente eléctrica en el suelo y está relacionada con la concentración de sales solubles, se recomienda que la CE del suelo sea baja (menor a 1 dS/m), a menor CE menor concentración de sales la que facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo (45). El valor de conductividad eléctrica que presenta el suelo influye en gran medida en el esfuerzo que tienen que realizar las raíces de la planta para absorber los nutrientes de la solución de fertilizantes aportada (43).

c. Capacidad de Intercambio Catiónico CIC

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) mide la cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) representando la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, etc). El nivel de CIC indica la propiedad del suelo a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH, entre otros. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. (43)

Tabla 3. Nivel de capacidad de intercambio catiónico y la clasificación de suelos según la CIC total (meq/100g).

CIC. Total meq/100g	NIVEL	OBSERVACIONES
0-10	Muy bajo	Suelo muy pobre; necesita aporte de materia orgánica.
10-20	Bajo	Suelo pobre; necesita aporte de materia orgánica.
20-35	Medio	Suelo medio
35-45	Medio alto	Suelo rico
Mayor de 45	Alto	Suelo muy rico

Fuente: Garrido (2005) (46)

d. Carbonato de Calcio CaCO_3

Es un compuesto inorgánico, se le conoce como calcita, enriquece el suelo empobrecido, a menor CaCO_3 menor productividad agrícola, reacciona con el agua liberando calcio (Ca^{+2}) (47).

2.1.2.2.1. Propiedades biológicas del suelo

Las propiedades biológicas del suelo comprenden: El Ciclo del Nitrógeno y el Ciclo del Carbono, el primero trata sobre la mineralización, la nitrificación, la fijación del nitrógeno y la desnitrificación, en tanto que el segundo describe el proceso más importante del planeta para reciclar y reutilizar el Carbono (43).

2.1.3. Contaminación de suelo

En el Informe Mundial sobre Recursos del Suelo, en el año 2015 identificó la contaminación como una de las principales amenazas a los suelos y a los servicios ecosistémicos que estos proporcionan (48). Los suelos se contaminan cuando se vierten sustancias tóxicas que alteran negativamente las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo, acarreando consecuencias negativas para los organismos vivos (36).

2.1.3.1.1. Fuentes de contaminación de suelos

A. Fuentes geogénicas naturales

Se produce una contaminación natural cuando se liberan al ambiente elementos tóxicos causadas por las actividades volcánicas o incendios forestales (4), en los suelos la presencia de “concentraciones nocivas de algunos elementos de origen geogénico procedentes de la roca madre, o de la lixiviación de mineralizaciones son un tipo especial de degradación que se denomina contaminación” (49). Por otro lado, el proceso que transfiere la concentración de contaminantes (partículas y gases) desde la atmósfera hasta la superficie terrestre es denominada deposición atmosférica (50).

B. Fuentes antropogénicas

- Actividades industriales, las actividades industriales liberan contaminantes a la atmósfera, el agua y el suelo. Por otro lado, el almacenamiento incorrecto de químicos o la descarga directa de desechos contaminan el suelo y el agua; esos contaminantes

pueden ingresar al suelo directamente a través de la lluvia ácida o la deposición atmosférica (4).

- Minería, evidentemente en esta actividad económica los principales riesgos son el “almacenamiento de lodos, la generación de aguas acidas de minas y el uso de reactivos químicos” (36). Las escorias y relaves mineros de la empresa Doe Run Perú (Junín) estaban siendo vertidas al río Mantaro, causando daños a los vegetales, animales y los pobladores del valle del Mantaro (51), muchas de las operaciones mineras están ubicadas cerca de los afluentes de ese río, desde la ciudad de Cerro de Pasco hasta la mina Cobriza (52).
- Pasivos ambientales, Se han identificado 272 Pasivos ambientales (área de disposición final de Residuos Sólidos urbanos mínimamente controlados) asentadas en ambas márgenes del río Mantaro en la cuenca alta y media (9), asimismo, existen vertederos que son emplazamientos por residuos sólidos potencialmente contaminantes, los lixiviados pueden afectar al suelo y al subsuelo circundantes contaminándolos (36).
- Riesgos por aguas residuales, la disposición de aguas residuales sin tratamiento y las tratadas inadecuadamente contaminan las aguas superficiales y subterráneas y el subsuelo (53). Los suelos bajo riego con aguas residuales tienen elevadas concentraciones de cadmio y plomo y otros metales pesados implicando riesgos a la salud (54).
- Actividades agrícolas y ganaderas; el uso de herbicidas funguicidas, estiércol de animales, plaguicidas y otros en la agricultura, son fuentes de contaminación de los suelos, puesto que pueden “perjudicar el metabolismo de las plantas y disminuir la productividad de los cultivos, los agroquímicos contienen metales traza como Cu, Cd, Pb y Hg” (4).

Los suelos agrícolas mundialmente están contaminados por la aplicación de fertilizantes fosfatados (55) y el uso de “aguas contaminadas para el riego” (56), en muchos casos, la movilidad, solubilidad y biodisponibilidad de los contaminantes dependen de las propiedades del suelo (57). La contaminación del suelo afecta directamente a la salud humana. “Los riesgos para la salud humana surgen de la contaminación de elementos como el arsénico, el plomo y el cadmio”. (4).

2.1.4. El uso del agua con fines agrícolas

La agricultura es la principal fuente de trabajo “para la población rural del país y su desempeño influye en las condiciones de vida de la población” (58), en la cuenca del río Mantaro “destacan dos actividades económicas principales la minería y agricultura” (37).

El contenido del agua en el suelo tiene una consecuencia importante sobre el crecimiento del vegetal y sus funciones en los vegetales son:

- Mayor componente del protoplasma (85 a 95%).
- Fundamental para la fotosíntesis.
- Esencial para la conversión de almidones a azúcar.
- Es el solvente en el cual los nutrientes se mueven en y a través de las partes de la planta.
- Provee turgidez a la planta para mantenerla en la forma y posición propias para que sus partes tomen la luz solar (40).

El agua se obtiene de los ríos, arroyos y acuíferos del suelo, estos últimos se recargan de forma natural en épocas de precipitación (59), sin embargo, las lluvias varían, siendo los meses de “diciembre a abril los más lluviosos y los meses de junio a septiembre los de escasa o nula precipitación” (37).

Las aguas del río Mantaro están contaminadas por los efluentes de la industria minera, de la ex planta metalúrgica de La Oroya, sumándose las descargas por el uso de pesticidas, fertilizantes, el vertimiento de aguas servidas domésticas sin tratar en muchos de los casos a lo largo del valle del Mantaro. “Identificaron 32 vertimientos industriales mineros de 9 empresas mineras (98´952,171.60 m³/año), vertimientos domésticos de 17 centros poblados con un total de 19,163´699,170 m³/año” (9).

2.1.5. Técnicas de recuperación de suelos

2.1.5.1.1. Enmiendas orgánicas

Abonos procedentes de materiales carbonados de origen vegetal o animal, sirve para aumentar o mantener el contenido de materia orgánica, mejora sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo, y reducen la biodisponibilidad de los metales pesados en los suelos (60).

Las enmiendas orgánicas se obtienen mediante diferentes procesos; entre ellos tenemos al proceso de **conversión bioquímica** que mediante la acción microbiana realiza la fermentación alcohólica para la producción de etanol y digestión anaerobia para la producción de metano. Procesos de **conversión termoquímica** a través de la acción térmica (combustión en condiciones con exceso de aire, gasificación en presencia de cantidades limitadas de aire y pirolisis en ausencia de aire). Proceso de **conversión físico-química** (prensado y extracción para la producción de aceites vegetales) (61).

La aplicación del biochar y compost puede reducir la toxicidad de Pb, Cd y Zn (11).

A. Biochar

Las materias primas para la producción del biochar son: residuos de cosechas, vegetales secos, biomasa de árboles, desechos de papel, residuos orgánicos (62) y residuos avícolas (63). Es importante mencionar que la materia prima seleccionada como fuente de producción no generan productos de mayor valor económico que el biochar (62).

El biochar también denominado biocarbón, es el resultado de la descomposición térmica de “materiales orgánicos (biomasa) con escaso suministro de oxígeno (pirolisis), a temperaturas relativamente baja (inferiores a los 700°C) y que es destinado a uso agrícola” (62) debido a que mejora las propiedades físicas –

químicos como “la textura, distribución del tamaño de poro, capacidad de retención de humedad, densidad aparente, intercambio catiónico (CIC) y el crecimiento de las plantas” (64). también se le considera como “una alternativa para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados” (3).

La diferencia entre el biochar y el carbón vegetal se relaciona a la utilización de esta materia. El biochar tiene en suelos para su recuperación y mejora de la productividad agrícola, mientras que el carbón vegetal es empleado como materia prima en procesos industriales (62).

Producción de biochar

La Pirolisis es un “proceso de descomposición termoquímica en donde la materia orgánica es convertida en un sólido rico en carbono y en materia volátil” (65) “con escaso o limitado suministro de oxígeno” (63), limitando la presencia de patógenos en el biochar y facilita su aplicación directa a los suelos (66).

Las condiciones de pirolisis como “la temperatura, velocidad de calentamiento y características del horno” influyen en las propiedades del biochar (67).

Pirolisis lenta, se caracteriza por “lapsos de calentamiento pausados de 0.1 a 2 °C por segundo, temperaturas bajas alrededor de 500°C y largos tiempos de residencia de los sólidos, este sería el proceso con el más alto rendimiento de biochar” (62).

Pirolisis rápida, “el calentamiento es mayor a 200 °C por segundo, la temperatura es mayor a 550 °C. La producción del biochar es mucho menor en este proceso debido al corto tiempo de residencia del vapor” (62).

Pirolisis ultrarrápido, caracterizada por un calentamiento rápido mayor a 2°C por segundo, la temperatura moderada entre 400 a 600°C y los tiempos de residencia del vapor son menores a 2 segundos (62).

Métodos de Aplicación al Suelo

La aplicación del biochar en el suelo puede ser manual o con maquinaria, a una superficie de 0 – 30cm o a mayor profundidad de 30 cm cerca de las raíces, dependiendo del cultivo. Puede aplicarse en forma de perdigones junto con otros mejoradores como abono o compost, no es necesario aplicar repetidamente en un cultivo, puesto que la recalcitrancia que exhibe el biochar perdura en el suelo (62).

B. Compost

“Abono orgánico de elevada calidad se obtiene mediante el compostaje (descomposición controlada de materia orgánica mediante oxidación y la acción de diversos microorganismos)” (68), “la aplicación del compost como enmienda mejora las características físicas de los suelos, como la estabilidad de su estructura, aumenta su capacidad de retención del agua y la infiltración, la porosidad y la permeabilidad de los suelos” (11)

Fases de descomposición de la MO:

Fase de latencia y crecimiento, dura de dos a cuatro días, período en el cual los microorganismos se aclimatizan a su nuevo medio y se inicia la degradación por bacterias de los elementos más biodegradables (68)

Fase termófila, este período dura entre una semana o dos meses dependiendo de las condiciones ambientales. Las bacterias y el aumento de la temperatura entre 60 y 70°C en la pila de los residuos orgánicos, favorece la aparición de organismos termófilos (bacterias y hongos), provocando una acelerada degradación de la materia y la eliminación de gérmenes patógenos, larvas y semillas. Pasado este tiempo, disminuye la actividad biológica y se estabiliza el medio. (68)

Fase de maduración, puede llegar a durar 3 meses, la temperatura de la pila desciende junto con la actividad bacteriana, lo que provoca que diversas especies de microbios colonicen la pila y ayuden a descomponer los componentes menos biodegradables de los residuo (68).

C. Vermicompost

El vermicompost o humos de lombriz es el proceso de bio-oxidación, degradación y estabilización de materia biodegradable por acción de lombrices de tierra y microorganismos. (69) Este producto se obtiene a partir del proceso de vermicompostaje en condiciones aeróbicas. (70)

Las lombrices desmenuzan el sustrato y las bacterias se encargan de la descomposición, lo que contribuye a su fase de naturalización. (71).

Los beneficios del vermicompost o humus de lombriz son los siguientes:

- Aporta nutrientes.
- Aporta materia orgánica.
- Mejora la infiltración y retención del agua.
- Reduce el riesgo a la compactación y a la erosión.
- Promueve el crecimiento de microorganismos y fauna beneficiosa del suelo.
- Inhibidor de plagas y enfermedades (72).

D. Yeso Agrícola

El yeso agrícola se produce bajo condiciones geológicas de alta temperatura y presión, a través de la evaporación del agua salada y es uno de los minerales más comunes, pueden ser extraídas de los depósitos a cielo abierto o subterráneo (73)

"El Yeso Agrícola es conocida como Sulfato de Calcio Dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), aplicada como enmienda aumenta la capacidad productiva del suelo. Su granulometría fina permite una rápida disponibilidad de nutrientes" (74), "disminuye la salinidad del suelo, mejorando así el pH del suelo" (75).

El yeso agrícola se utiliza para recuperar suelos de alta sodicidad (73).

2.1.5.2. Fitorremediación

La fitorremediación utiliza especies vegetales que tienen la capacidad de absorber, volatizar, tolerar y acumular altas concentraciones de contaminantes permitiendo su remoción (76).

A. Técnicas de Fitorremediación

Fitoextracción

Esta técnica conocida también como fitoacumulación, fitoabsorción, tiene la capacidad de que la plantas absorben o extraen el contaminante del suelo, mediante las raíces, el o los tallos y hojas de las plantas (77). La fitoextracción se puede repetir innumerables veces hasta que se logre el propósito de la aplicación, esta técnica tiene algunas características que se debe seguir para su aplicación eficiente como: Seleccionar las plantas adecuadamente según los metales que se encuentran presentes, cuando se haya desarrollado la planta, esta se corta y se procede a su incineración, trasladando las cenizas a un lugar o vertedero seguro, algunas plantas empeladas para esta técnica son: *Pistia stratiotes* (Pb, Zn, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni), *Brassica juncea* *Helianthus annuus*, *Sesbania drummondii*, *Zea Mays* (Pb) (78).

Fitoestabilización

Esta técnica permite inmovilizar y reducir la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo mediante la adsorción de las raíces, para prevenir la migración de estos a las aguas subterráneas, o su ingreso a la cadena trófica, cabe mencionar que esta técnica es usada como estabilizador de contaminantes potencialmente tóxicos (77).

B. Zea mays L

El maíz (*Zea mays*), tiene la siguiente clasificación botánica o taxonómica (79):

Reino	: Vegetal
División	: Embríobionta
División	: Angiospermae
Clase	: Monocotyledoneae
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Género	: Zea
Especie	: mays
Nombre científico	: <i>Zea mays L.</i>

Así mismo, se presenta las siguientes características botánicas: (80)

Raíces	: Son fasciculadas y fija a la planta en el suelo.
Tallo	: Es simple, no presenta ramificaciones, tiene una longitud aproximadamente de 4 metros de altura, robusta en forma de caña y macizo en su interior.
Hojas	: Son lanceoladas, alternas, paralelinervias, largas y de gran tamaño, adheridas al tallo y presencia de vellosidad en el haz.
Inflorescencia	: masculina y femenina separadas en la misma planta, por ello es una planta monoica.
Grano	: La cubierta de la semilla se llama pericarpio, es dura, contiene proteínas y en su interior se halla el endosperma, el embrión está formado por la radícula y la plúmula.

2.1.6. Muestreo de suelo

“El correcto muestreo y análisis de suelo, es una técnica ideal para la obtención de la máxima rentabilidad económica en un sistema de sustentabilidad productiva” (81). Es importante determinar si un lugar está contaminado y si el nivel de contaminación requiere una intervención para salvaguardar la integridad del ecosistema y la salud humana. (82).

2.1.6.1. Tipos de muestra

Muestra simple

Se obtiene de una sola extracción en un tiempo y en un lugar específico, particularmente en suelos muy homogéneos. (83).

Muestra compuesta

Se refiere a la muestra de suelo que se adquirió tomando múltiples muestras simples o submuestras, es crucial que cada submuestra tenga el mismo volumen y profundidad en volumen (83).

Muestra en profundidad

“Obtenida de los horizontes del suelo en donde se ubican y lixivian los contaminantes que se desean evaluar” (82).

Muestra duplicada para contaminantes volátiles

Es una muestra que se toma continua a la muestra original (82).

Muestra duplicada para contaminantes no volátiles

“Muestra que se toma después de la homogenización del material del cual se toma la muestra original” (82).

2.1.6.2. Número Mínimo de Puntos de Muestreo

Los puntos de muestro son determinadas de acuerdo con el área del predio de estudio (área de potencial interés).

Tabla 4. Puntos de muestreo según área

Área de potencial interés (HA)	Puntos de Muestreo
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50
Superior a 100	$N=0.1X +40$

N= Número mínimo de puntos de muestreo
X = Superficie en hectáreas

Fuente: Guía para el muestreo de suelos (2014) (82)

2.2. Definición de términos básicos

Contaminación

La contaminación es la presencia de sustancias no deseables en la atmósfera, el agua o el suelo, en concentraciones, tiempo y circunstancias tales, que puedan afectar significativamente, la producción agrícola, pecuaria, la salud y el bienestar de las personas (84).

Contaminación del suelo

Es la presencia de un elemento químico o sustancia más alta a la normal que tiene efectos sobre los organismos vivos, porque controlan la movilidad, biodisponibilidad y el tiempo de residencia de los contaminantes, tiene origen natural o antropogénico (84).

Cuenca

Es un sistema integrado, formada por un río principal y territorios asociados entre el origen del río y su desembocadura, esta unidad geográfica incluye ecosistemas terrestres y acuáticos. Se divide en tres sectores: Alto, medio y bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (85).

Enmiendas orgánicas

Son productos procedentes de materiales carbonados de origen vegetal o animal, beneficiosos para los suelos porque aportan materia orgánica y nutrientes asimismo mejora la productividad y rendimiento agrícola, son muy efectivos porque reducen la biodisponibilidad de los metales pesados en los suelos (75).

Fitorremediación

Es un método económico y respetuoso para la remediación de los suelos contaminados mediante el uso de vegetales, la absorción y transferencia de metales hacia tejidos aéreos están condicionadas por la genética y características fisiológicas de las plantas (76).

Suelos agrícolas

Es un activo poco valorado en el que viven hombres, animales y plantas, recursos limitados, fácilmente destructible, debiera ser protegido contra la erosión, la contaminación y el daño que estaría causando el crecimiento desmesurado de las urbes, es momento de planificar su uso actual y potencial para la seguridad alimentaria saludable de las generaciones actuales y futuras (4).

Plomo

Es un metal pesado presente en los suelos del valle del Mantaro, el plomo se convierte en uno de los más nocivos, dado que se puede acumular en la cadena biótica. Su presencia en los suelos agrícolas puede alterar el metabolismo de las plantas, disminuye la productividad de los cultivos, riesgos para la seguridad alimentaria, la calidad de las aguas, los medios de vida rurales y la salud humana. (2)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de Investigación

Se utilizó el **método científico** el cual se rige a una serie de operaciones y reglas, mediante los cuales se formuló el problema de investigación y se puso a prueba las hipótesis sobre si la aplicación de enmiendas orgánicas disminuye la concentración de Pb existente en los suelos agrícolas, que se formularon como posibles soluciones, con la finalidad de construir conocimientos aplicados (86). Además, se utilizó el **método experimental** como proceso lógico para la inducción, elaborando un esquema de cómo realizar el experimento y después observar las consecuencias y explicar si existe diferencia significativa entre los tratamientos y si hay correlación negativa entre la concentración de plomo y la altura del *Zea mays*. (87)

3.1.2. Alcance de la Investigación

Tipo de Investigación

El tipo de investigación fue la **aplicada**, puesto que tiene por finalidad resolver problemas (88), con un fin práctico, aplicativo o pragmático (86). aplica los conocimientos teóricos sobre una realidad en una determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ellas se deriven; para ello emplea parte de los conocimientos básicos (89), es más la presente investigación es de **enfoque cuantitativo** (88).

3.2. Diseño de la Investigación

Fue **experimental** porque explica las relaciones causa – efecto; en la cual se estudiaron como las variables independientes (causas: enmiendas: Biochar y compost) producen cambios en la variable dependiente (efecto: Concentración de plomo en los suelos agrícolas) (89), se manipuló deliberadamente las variables independientes para analizar las consecuencias sobre la variable dependiente.

3.3. Factores y niveles de estudio:

Biochar (B)

De origen vegetal, producidas de residuos de aserríos forestales (*Eucalyptus globulus*) en el horno ecológico de ladrillos tipo brasileño – peruano adecuado por la Empresa Bio Energy Ingenieros.

- B₀ = 0 g de biochar/kg de suelo
 B₁ = 25 g de biochar/kg de suelo
 B₂ = 50 g de biochar/ kg de suelo
 B₃ = 75 g de biochar/kg de suelo

Tabla 5. Características del Biochar

BIOCHAR	pH	C.E.	M.O.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
B	10.63	7.19	19.81	0.87	0.72	2.28

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes – UNALM (2021)

Compost (C)

De origen común, producidas a base de restos de poda, cortes de césped, residuos de frutas y verduras, descompuestas en área de compostaje de la Municipalidad Distrital de San Jerónimo de Tunán.

- C₀ = 0 g de compost/kg de suelo
 C₁ = 25 g de compost/kg de suelo
 C₂ = 50 g de compost/kg de suelo
 C₃ = 75 g de compost/kg de suelo

Tabla 6. Características del compost

COMPOST	CaO	MgO	Hd	Na
C	10.78	1.27	3.07	0.09

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes – UNALM (2021)

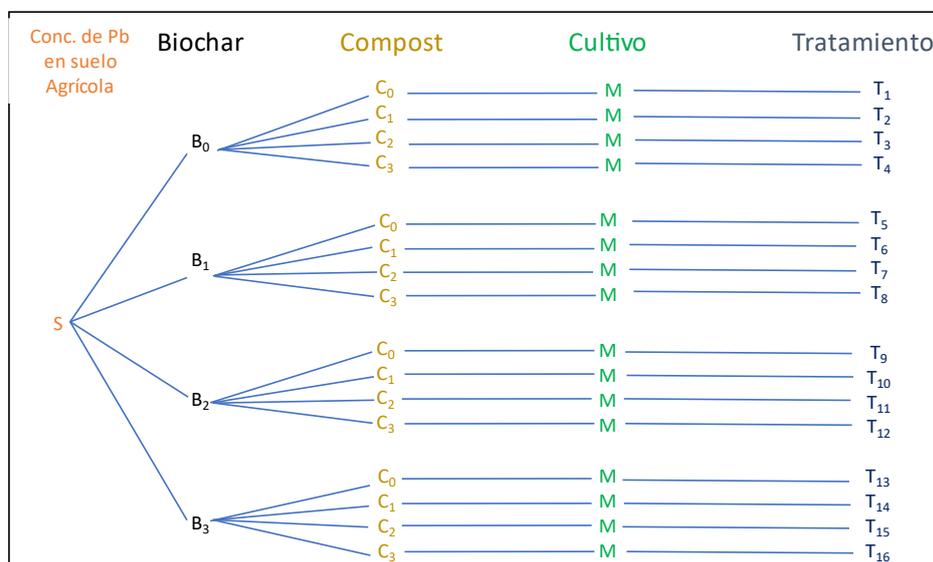
Nota: La concentración de cero (0) en biochar y compost se utilizó como testigo en el experimento, las concentraciones de 25, 50 y 75 gramos por kg se determinó esas dosis teniendo como base las concentraciones similares tales como:

- Investigación en Medicago Sativa realizada en Chimborazo Ecuador, aplicó 10t de biochar en 1ha (1000g – m²) por los requerimientos de alcalinidad de la especie (Fiallos – Ortega et al., 2015) citado por (90).
- Se agregó enmiendas orgánicas y el biocarbón aplicando dosis del 5%, 10% y 20% a los suelos contaminados con Pb (165.7 mg/kg) que se dispusieron en macetas de 2kg con excepción de la muestra control (91).

- Las dosis de compost que utilizaron fueron 0, 100, 200, 300, 400 y 500 g/10kg de suelo del distrito de Irazola, Perú. (92)
- Residuos orgánicos de origen doméstico fueron utilizados en dos diferentes dosis: una dosis que puede ser considerada “normal – media” para recuperación de suelos (150 t/ha) equivalente al 1% de C orgánico y otra dosis “alta – muy alta” (450 t/ha) equivalente a 3% de C orgánico (16).

Como parte del diseño se utilizó el experimento factorial con dos factores (biochar y compost) de 4 x 4 con 3 repeticiones. (89), figura 2:

Figura 2. Combinación de tratamiento 4 x 4



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Croquis del experimento 4x4x3

TRATAMIENTO																BLOQUE
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	I
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	II
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	III

Fuente: Elaboración propia

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

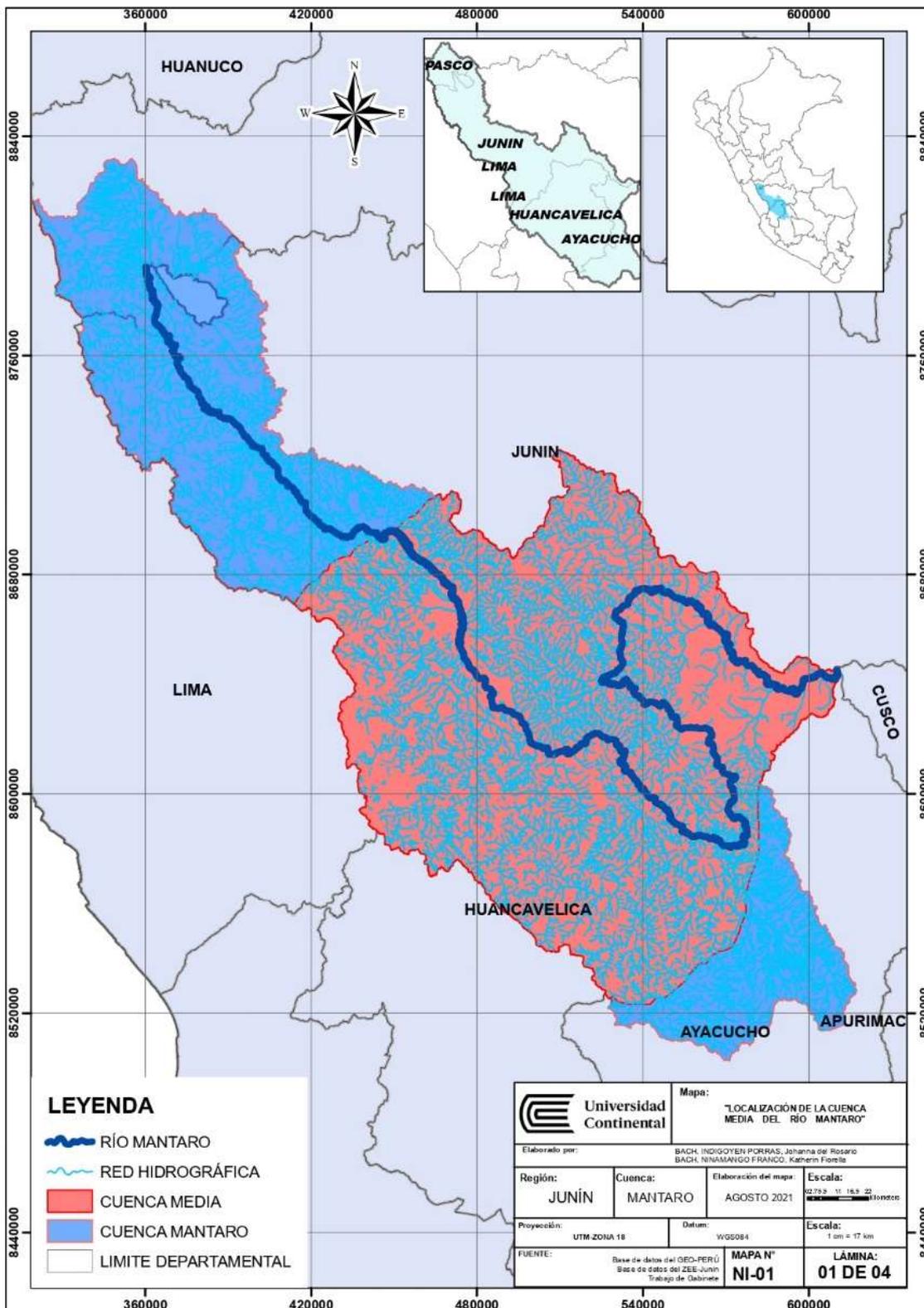
El estudio está constituido por 13 7660.039 ha aproximadamente de suelos agrícolas bajo riego por el río Mantaro de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro. La actividad agrícola de la cuenca media se desarrolla principalmente en el Valle del Mantaro, esta zona es productora de maíz a gran escala (37).

La población de estudio comprendió los suelos de los quince distritos de la margen izquierda del Valle del Mantaro (Jauja, Ataura, Huamali, El Mantaro, San Lorenzo, Matahuasi, Concepción, San Jerónimo de Tunán, San Pedro de Saño, Hualhuas, San Agustín de Cajas, Huancayo, Chilca, Huancán y Huayucachi) que poseen tierras agrícolas localizadas en las proximidades del río Mantaro y que tienen canales de suministro de aguas del río del mismo nombre para el riego de esas tierras.

La margen izquierda del río Mantaro es la más desarrollada, contando con la mayoría de sus afluentes y con los cultivos más extensos y ricos. El 90% de la población de todo el valle se asienta sobre la margen izquierda más plana y extendida. Mientras la margen derecha más angosta y empinada, con cultivos más pobres, predominantemente secos por lo que fue excluida del estudio (93).

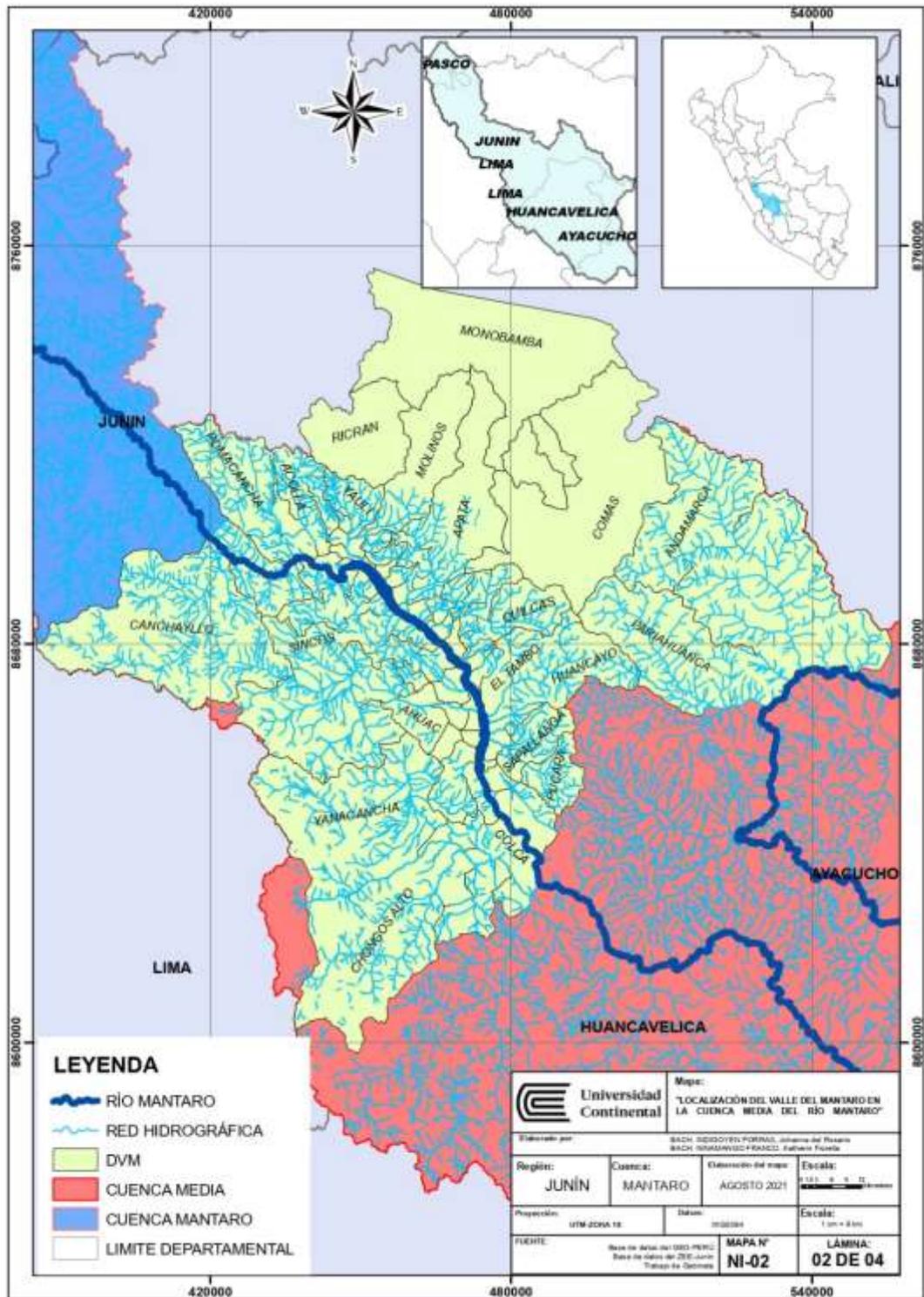
N = 15 distritos

Figura 3. Localización de la cuenca media del río Mantaro



Fuente: elaboración propia

Figura 4. Localización del valle del Mantaro en la cuenca media del río Mantaro



Fuente: elaboración propia

3.4.2. Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra se determinó mediante la fórmula propuesta por Martínez Bencardino, C. (2018):

$$n = \frac{Z^2 N p q}{E^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

Con los siguientes valores determinados por los tesisistas:

Z	=	1.96	
Z ²	=	3.8416	
p	=	0.5	
q	=	0.5	n = 3.75
N	=	15	
N-1	=	14	
E	=	0.01	
E ²	=	0.0001	

Por lo tanto, el tamaño de la muestra n = 4 distritos.

Por lo tanto, las muestras de suelos fueron tomados en 4 distritos del valle del Mantaro seleccionadas al azar.

Los 15 distritos del valle del Mantaro se listaron en una hoja de cálculo electrónica numerándolos correlativamente, luego con la función aleatorio- jerárquica se ha seleccionado los distritos a tomar en cuenta para el muestreo de suelos:

Tabla 8. Aleatorización para selección de distritos (muestra) en los que se realizó la recolección de suelos

Distritos	Aleatorización	n aleatorio
1 Jauja	0.367906841	2
2 Ataura	0.770401818	7
3 Huamali	0.622701379	4
4 El Mantaro	0.439955112	6
5 San Lorenzo	0.587075586	
6 Matahuasi	0.776126429	
7 Concepción	0.964815017	
8 San Jerónimo de Tunán	0.577368895	
9 San Pedro de Saño	0.901066078	
10 Hualhuas	0.942021288	
11 San Agustín de Cajas	0.44906437	
12 Huancayo	0.842844726	
13 Chilca	0.518061734	
14 Huancán	0.979242429	
15 Huayucachi	0.017445187	

Fuente: elaboración propia

Por lo que se recolectó suelos agrícolas en los distritos de Ataura, Concepción, El Mantaro y Matahuasi.

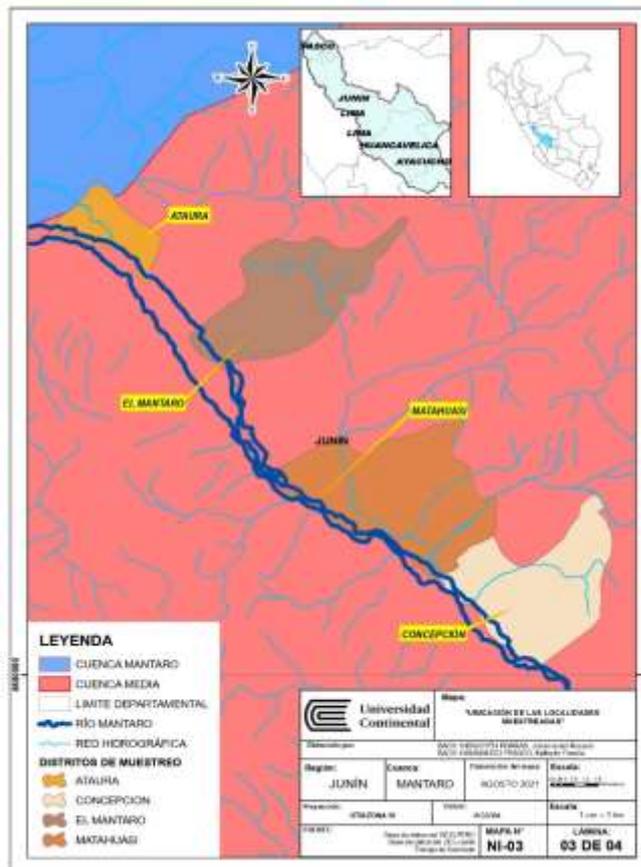
3.4.3. Recolección de muestras de suelo

Estuvieron constituidas por un conjunto de submuestras recolectadas de la primera capa u horizonte (A) de los suelos agrícolas bajo riego de cuatro localidades: Ataura, El Mantaro, Matahuasi y Concepción. En 16 puntos de muestreo a una profundidad de 30 cm, se colectó en total 250 kg de suelo, la cual se homogenizó y se cuarteó para obtener una muestra compuesta representativa de 1kg para ser analizada en el laboratorio de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

La recolección de muestras se hizo según el procedimiento de la GUIA PARA EL MUESTREO DE SUELOS, en el cual se especifican la definición de una muestra compuesta, la misma que se aplicó en esta investigación, las muestras están constituidas por un conjunto de muestras simples con unas características similares, convenientemente mezcladas y llevadas al laboratorio (82)

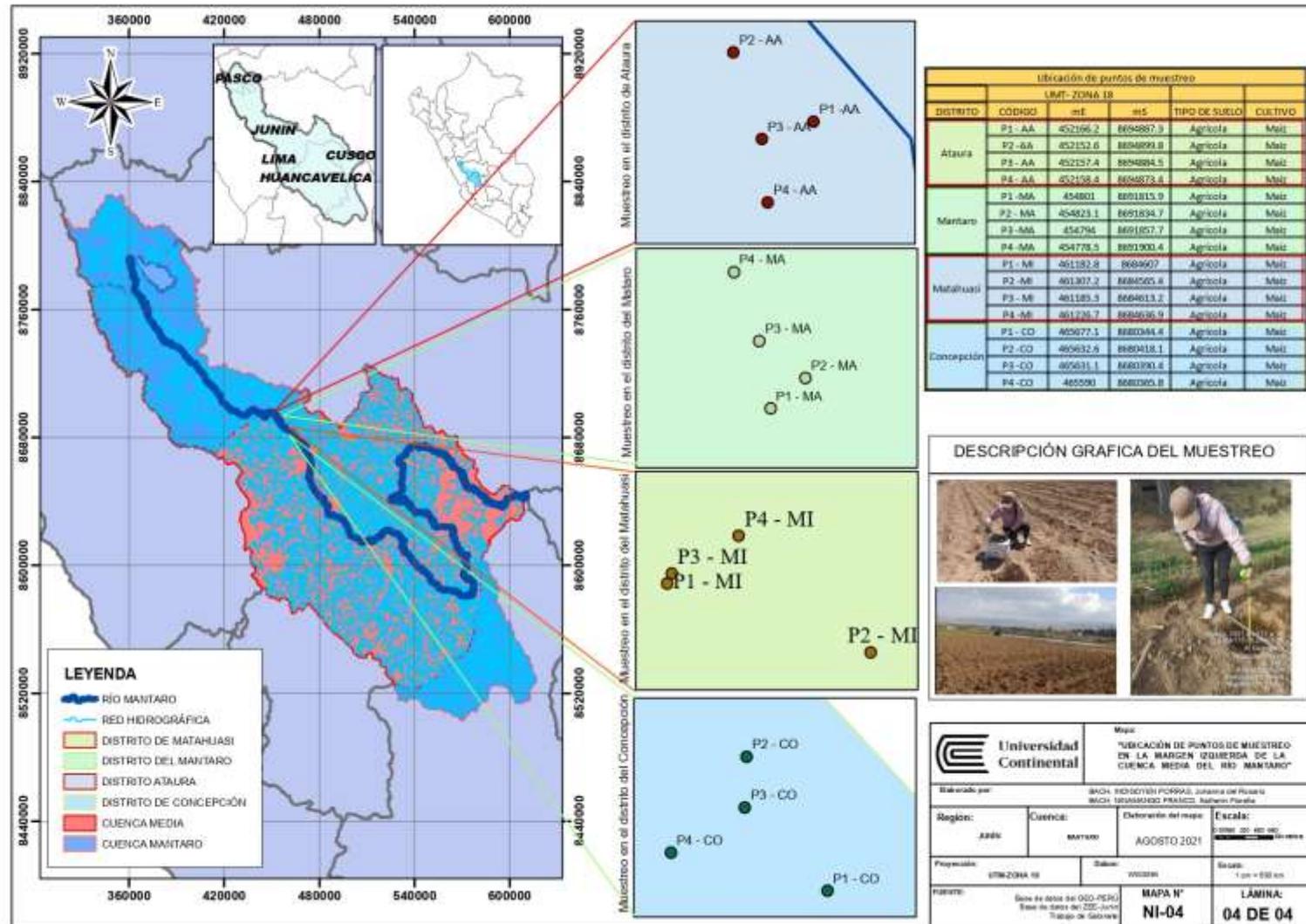
El suelo se distribuyó en 48 macetas de 6 kg donde se aplicó 4 diferentes dosis de biochar y compost, así mismo se sembró semilla de maíz (*Zea mays*) para evaluar su crecimiento.

Figura 5. Ubicación de localidades muestreadas



Fuente: elaboración propia

Figura 6. Ubicación de puntos de muestreo



Fuente: elaboración propia

Tabla 9. Ubicación de puntos de muestreo

DISTRITO	CÓDIGO	UTM – ZONA 18		TIPO DE SUELO	CULTIVO
		mE	mS		
Ataura	P1 - AA	452166.2	8694887.3	Agrícola	Maíz
	P2 - AA	452152.6	8694899.8	Agrícola	Maíz
	P3 - AA	452157.4	8694884.5	Agrícola	Maíz
	P4 - AA	452158.4	8694873.4	Agrícola	Maíz
Mantaro	P1 – MA	454801	8691815.9	Agrícola	Maíz
	P2 – MA	454823.1	8691834.7	Agrícola	Maíz
	P3 – MA	454794	8691857.7	Agrícola	Maíz
	P4 - MA	454778.5	8691900.4	Agrícola	Maíz
Matahuasi	P1 – MI	461182.8	8684607	Agrícola	Maíz
	P2 – MI	461307.2	8684565.4	Agrícola	Maíz
	P3 – MI	461185.3	8684613.2	Agrícola	Maíz
	P4 - MI	461226.7	8684636.9	Agrícola	Maíz
Concepción	P1 – CO	465677.1	8680344.4	Agrícola	Maíz
	P2 – CO	465632.6	8680418.1	Agrícola	Maíz
	P3 – CO	465631.1	8680390.4	Agrícola	Maíz
	P4 - CO	465590	8680365.8	Agrícola	Maíz

Fuente: Elaboración propia

“En base a las propiedades como: textura, materia orgánica y pH, de acuerdo con la información del laboratorio de Análisis de Suelos del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – sede Huancayo.” (44). Se determinó analizar las características de cada suelo agrícola muestreado ubicado en las localidades de Concepción, Matahuasi, Mantaro y Ataura las que fueron seleccionadas aleatoriamente (Anexo N°1).

Los suelos acopiados de los cuatro distritos en el proceso de investigación se juntaron para tener una muestra representativa y uniformizar el contenido de plomo presente en los suelos de la cuenca media de la margen izquierda del río Mantaro, las cuales están contaminadas con metales pesados procedentes de las descargas directas de las aguas ácidas de mina y la del ex complejo metalúrgico de La Oroya que desaguan en ese cuerpo de agua, suelos en los que los agricultores en el valle del Mantaro los utilizan para cultivar productos alimenticios para satisfacer su dieta alimentaria y para su comercialización de papa, maíz, alfalfa, entre otros.

Habiendo obtenido la muestra representativa de los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro, se determinó el nivel de concentración de plomo inicial la cual se presenta en la ficha de resultados emitido por el laboratorio de suelos, plantas y aguas de la UNALM (Anexo N°3).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnica de recolección de datos

Debido a la metodología del trabajo y siendo una investigación experimental, la técnica que se utilizó fue la observación y medición, para la toma de muestras del suelo se utilizó la "Guía para el muestreo de suelos" en el marco del Decreto Supremo N°002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Suelos - 2014. Así mismo, los análisis de la concentración de plomo en el suelo se realizaron en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la facultad de agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Asimismo, se midió la altura de la planta cada semana después de la siembra para analizar la correlación con la concentración de plomo.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos para la recolección de información que se utilizó fueron las fichas de observación y recolección de datos de crecimiento de la planta *Zea mays* (Anexo N° 9) y ficha de resultados del laboratorio (Anexo N° 1,3,4, y 6).

3.6. Experimentación

Para determinar el nivel de concentración de plomo en los suelos agrícolas de la margen izquierda se siguió los siguientes pasos:

- a. Se obtuvo las muestras de suelo aplicando la guía del muestreo de suelos, y luego se trasladó al área de trabajo para ser secada.
- b. El suelo se tamizó con un tamiz de 2mm de diámetro.
- c. Se homogenizó y cuarteo para obtener una muestra representativa para el análisis del contenido de Pb.
- d. Se envió la muestra representativa al laboratorio para el análisis de Pb total.
- e. El plomo total (mg/kg MS) se determinó utilizando el método de ensayo EPA 3050 - B EPA 3051.
- f. El estándar de calidad ambiental ECA suelo para suelo agrícola es 70 ppm.
- g. El plomo total Reportado por el Laboratorio de la UNALM fue 2014.57 ppm.

En la aplicación de las enmiendas orgánicas se siguió el siguiente procedimiento:

- a. Las muestras de suelo fueron llevada al área de trabajo para ser secada.
- b. Se tamizo la muestra de suelo con un tamiz de 2mm de diámetro.
- c. Se realizó la homogenización del suelo.

- d. Se rotuló las macetas de acuerdo con el croquis del experimento (4x4x3)
- e. Se pesó 4 kg de suelo las que se colocó en 48 macetas.
- f. Se adicionó las correspondientes dosis de enmiendas orgánicas (biochar y Compost) en las 48 macetas contenidas con muestras de los suelos agrícolas contaminados con plomo.
- g. Se agregó 960 ml de agua al suelo contenida en las macetas para lograr el 24% de humedad.
- h. Se sembró tres semillas de *Zea mays* en cada maceta.
- i. Se realizó el riego por aspersion.
- j. A la tercera semana de la siembra se homogenizó el número de plantas por tratamiento, dejando solo una planta por tratamiento.
- k. A la quinta y séptima semana se deshierbo cada una de las macetas.
- l. Se observó y midió la altura del crecimiento de la planta *Zea mays* durante el periodo de 8 semanas (28/08/2021-23/10/2021).
- m. Por último, se retiró una muestra de 1kg de suelo por cada tratamiento y se envió al laboratorio de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina, para el respectivo análisis de contenido de Pb en cada una de ellas.

Se ha evaluado el crecimiento del *Zea mays* cultivado con enmiendas orgánicas en los suelos agrícolas de la margen izquierda del río Mantaro, siguiendo el siguiente procedimiento:

- a. Se realizó las mediciones de altura del *Zea mays* por un periodo de 8 semanas.
- b. Se evaluó el crecimiento del *Zea mays*.

3.7. Evaluación final de Pb en el suelo.

En la evaluación del contenido final de Pb en el suelo se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks, planteando las siguientes hipótesis:

H₀: La población está distribuida normalmente

H_a: La población no está distribuida normalmente

Nivel de significación: $\alpha = 0,05$

Si el p-valor es mayor a 0.05, entonces se procederá a realizar el ANVA correspondiente.

Tabla 10. Esquema del ANVA

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Biochar					
Compot					
Biochar*compost					
Error					
Total					

Fuente: Elaboración propia

Luego la prueba de DUNCAN para analizar si existe diferencia significativa entre las medias del contenido final del Pb en los suelos.

3.8. Correlación y modelo de crecimiento del Zea mays en presencia de Pb

Se determinó la correlación negativa de la concentración de Pb y la altura del Zea mays y se modeló la altura del Zea mays con la concentración de plomo y las enmiendas orgánicas en los suelos del valle del Mantaro y el modelo econométrico correspondiente.

$$hzm = \beta_0 + \beta_1 Cpb + \beta_2 EO + e_i$$

Donde:

hzm : Altura del *Zea Mays*

Cpb : Concentración de Pb en suelos agrícolas del valle del Mantaro

EO : Enmiendas orgánicas

e_i : Error

La correlación y el modelo de altura se halló utilizando el software Gretl mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Nivel de concentración de plomo

En la tabla 11 se aprecia la caracterización de los suelos de los distritos de Concepción, Matahuasi, El Mantaro y Ataura, y el suelo compuesto según parámetros.

Tabla 11. Análisis de suelo – caracterización

PARAMETROS	UNID. MEDIDA	SUELOS				SUELO COMPUESTO (S)	
		CONCEPCION	MATAHUASI	MANTARO	ATAURA		
pH	(1:1)	7.21	6.8	6.87	6.8	7.17	
CE	dS/m	1.81	1.73	1.31	1.73	1.24	
CaCO₃	%	10.32	10.5	10.5	10.5	10.49	
M.O	%	3.3	2.32	2.65	2.32	2.65	
P	ppm	28.2	26.3	25.3	26.3	24.7	
K	ppm	123	100	101	100	108	
Análisis Mecánico	Arena	%	64	55	49	56	57
	Limo	%	30	22	28	29	34
	Arcilla	%	20	23	23	15	9
Clase textural		Fr.A.	Fr.Ar	Fr.A.	Fr.Ar	Fr.A.	
CIC		9.82	12.51	11.34	11.66	11.84	
Cationes Cambiables	Ca⁺²		7.75	10.65	9.32	9.72	9.75
	Mg⁺²		1.5	1.43	1.5	1.1	1.6
	K⁺	meq/100g	0.4	0.34	0.32	0.75	0.3
	Na⁺		0.17	0.09	0.2	0.09	0.18
	Al⁺³ + H⁺		0	0	0	0	0
Suma de Cationes		9.82	12.51	11.34	11.66	11.84	

PARAMETROS	UNID. MEDIDA	SUELOS				SUELO COMPUESTO (S)
		CONCEPCION	MATAHUASI	MANTARO	ATAURA	
Suma de Bases		9.82	12.51	11.34	11.66	11.84
% Sat. De Bases		100	100	100	100	100
Pb total	ppm					2 014.57

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes – UNALM (2021)

Interpretación del análisis de caracterización del suelo agrícola total:

- El pH es ligeramente alcalino (pH = 7.17), la cual es óptima para el cultivo del maíz (*Zea mays*).
- La conductividad eléctrica es muy ligeramente salino (CE = 1.24 dS/m), posible riesgo de fitotoxicidad en el cultivo.
- Hay presencia de carbonato de calcio alto ($\text{CaCO}_3 = 10.49\%$) por la naturaleza calcárea del material parental, que proporciona un pH ligeramente alcalino (pH = 7.17).
- La materia orgánica ocupa 2.65% del volumen total, siendo de nivel medio, eso indica que existe necesidad de adicionar materia orgánica al suelo para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas.
- El Fósforo (P=24.7 ppm) se encuentra en un nivel alto.
- El Potasio (K=108 ppm) se encuentra en un nivel medio.
- La clase textural es franco Arenoso, los porcentajes de las partículas son: arena (57%), limo (34%) y arcilla (9%). Presenta una excelente aireación.
- La capacidad de intercambio catiónico (CIC=11.84 cmol/kg), se encuentra en un nivel bajo, siendo necesario el aporte de materia orgánica.
- El catión dominante en el complejo de cambio es el Calcio ($\text{Ca}^{+2} = 9.75$ meq/100g) y el total de cationes presentes en el suelo es de 11.84 meq/100g.

Tabla 12. Concentración de plomo (ppm) en el suelo agrícola de la cuenca media del río Mantaro Vs ECA suelo

Nº1	Código	Método de ensayo	Pb (ppm)	ECA (mg/Kg) Suelo Agrícola
1	S	EPA 3050 EPA 3051	2 014.57	70

*Nota: 1 ppm = 1 mg/Kg

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes – UNALM (2021)

En la tabla 12 se observa los resultados de la concentración de plomo (Pb), el análisis del suelo agrícola reportó el contenido de plomo 2 014.57 mg/kg, ese valor supera 28.7 veces más en concentración al “Estándar de Calidad Ambiental de suelo del Perú, cuyo valor es 70 mg/kg” (94) por el que se infiere que los suelos de la cuenca media de la margen izquierda del río Mantaro tienen alta concentración de plomo, lo cual constituye un riesgo alto directo para la salud pública de los habitantes de esa parte del país y para quienes consumen los productos agrícolas que se producen en esos suelos y se expenden en los mercados de diversas localidades y principalmente en la capital del Perú.

4.2. Evaluación de la aplicación de enmiendas orgánicas

Se aplicaron enmiendas orgánicas en los 16 tratamientos para comparar las dosis y verificar cuál de los tratamientos es más efectivo en la reducción de los niveles de concentración del plomo en los suelos agrícolas estudiados, ver tabla 13.

Tabla 13. Concentración de plomo (ppm) según tratamiento

TRATAMIENTOS	Repetición			PROMEDIO (mg/kg)
	I	II	III	
T1:B ₀ C ₀	1960.34	1768.46	1857.84	1862.21
T2:B ₀ C ₁	1446.92	1309.68	1644.68	1467.09
T3:B ₀ C ₂	1341.62	1374.92	1255.71	1324.08
T4:B ₀ C ₃	1317.23	1264.53	1480.16	1353.97
T5:B ₁ C ₀	1639.42	1394.21	1518.06	1517.23
T6:B ₁ C ₁	1176.55	1198.67	1591.33	1322.18
T7:B ₁ C ₂	1350.00	1326.00	1250.67	1308.89
T8:B ₁ C ₃	1364.67	1434.67	1558.00	1452.45
T9:B ₂ C ₀	1601.33	1943.33	1730.67	1758.44
T10:B ₂ C ₁	1589.33	1743.33	1483.33	1605.33
T11:B ₂ C ₂	1678.00	1668.67	1866.00	1737.56
T12:B ₂ C ₃	1639.33	1763.33	1885.33	1762.66
T13:B ₃ C ₀	1650.67	1705.33	1526.00	1627.33

T14:B ₃ C ₁	1838.67	1590.00	1437.33	1622.00
T15:B ₃ C ₂	1803.33	1932.00	1627.67	1787.67
T16:B ₃ C ₃	1634.67	1403.33	1425.00	1487.67

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes – UNALM (2021)

En la tabla 13, de acuerdo con el análisis factorial 4 x 4 x 3 para el análisis de concentración de Pb (ppm) en los 16 tratamientos considerando los factores (B = Biochar, C = Compost), se determinó que el contenido final de Pb en el suelo después de la aplicación de las enmiendas orgánicas fue mayor en el tratamiento T₁ (testigo absoluto) con un valor máximo de 1862.21 mg/kg, y el más bajo en el tratamiento T₇ (B₁C₂) es de 1308.89 mg/kg, indicando el efecto del biochar y el compost que contribuyen en la disponibilidad de Pb en el suelo, junto con la absorción del *Zea mays L.*

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Contenido final de Pb en el suelo

“Las dosis crecientes de biochar y compost disminuyen la concentración de Pb en un suelo contaminado con plomo”

H₀: La población está distribuida normalmente

H_a: La población no está distribuida normalmente

Para comprobar esta hipótesis, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks a un nivel de significación $\alpha = 0.05$.

La prueba de normalidad de Shapiro Wilks p-valor, en todos los tratamientos fueron mayor a 0,05 por lo que se acepta la H₀ y se rechaza la H_a, eso quiere decir que la población está distribuida normalmente, como se presentan en la tabla 14.

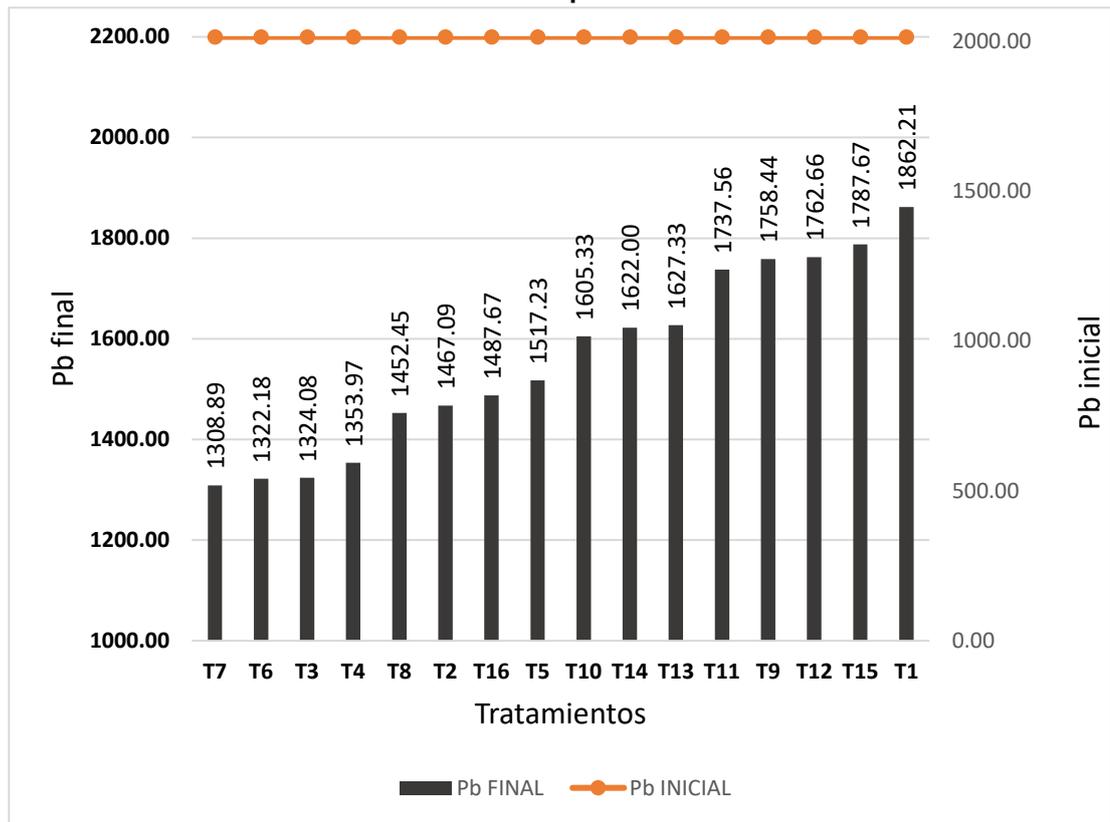
Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el contenido final de Pb en el suelo.

TRATAMIENTOS	PROMEDIO (mg/kg)	P-VALOR
T1:B ₀ C ₀	1862.21	0.9240
T2:B ₀ C ₁	1467.09	0.5285
T3:B ₀ C ₂	1324.08	0.5224
T4:B ₀ C ₃	1353.97	0.4503
T5:B ₁ C ₀	1517.23	0.9873
T6:B ₁ C ₁	1322.18	0.0902
T7:B ₁ C ₂	1308.89	0.4439
T8:B ₁ C ₃	1452.45	0.6962
T9:B ₂ C ₀	1758.44	0.7295
T10:B ₂ C ₁	1605.33	0.7962
T11:B ₂ C ₂	1737.56	0.0794
T12:B ₂ C ₃	1762.66	0.9903
T13:B ₃ C ₀	1627.33	0.5756
T14:B ₃ C ₁	1622	0.7371
T15:B ₃ C ₂	1787.67	0.8296
T16:B ₃ C ₃	1487.67	0.1601

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7, luego de la aplicación de las enmiendas orgánicas al evaluar la concentración de plomo se observa que todos los valores se encuentran por debajo de la concentración de plomo inicial (2 041.57 mg/kg), destaca el tratamiento T7(B1C2) seguido de los tratamientos T₆, T₃, T₄, T₈, T₂: superando a los demás tratamientos. El tratamiento T1 (Testigo) ocupa el último lugar evidenciando de este modo el efecto positivo que tienen las enmiendas orgánicas en la reducción del Pb en los suelos agrícolas.

Figura 7. Concentración de Pb en tratamiento a la octava semana del experimento



Fuente: Elaboración propia

Se desarrolló en análisis de varianza (ANOVA) para comparar las varianzas entre los promedios de los tratamientos y poder determinar si existe diferencia estadística significativa entre estos grupos.

El análisis de varianza Tabla 15, se observa que el p-valor en las fuentes de variación: Biochar, compost y la interacción biochar*compost son menores que 0.05, lo cual indica que los efectos principales (biochar y compost), así como el efecto de interacción tienen significación estadística en el contenido final de Pb en el suelo. Esto valida la hipótesis planteada.

Tabla 15. Análisis de variancia para el contenido final de Pb en el suelo.

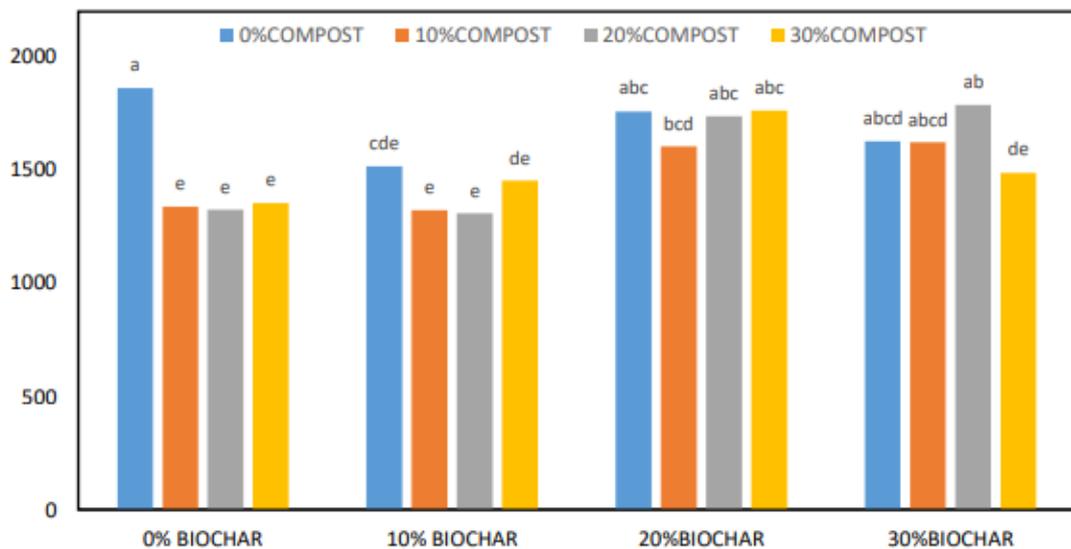
F. de V	SC	GL	CM	Fc	P-VALOR
Biochar	756107.24	3	252035.75	14.37	<0.0001
Compost	328961.90	3	109653.97	6.25	0.0018
Biochar*compost	567682.29	9	63075.81	3.60	0.0034
Error	561385.50	32	17543.30		
Total	2214136.93	47			

Fuente: Elaboración propia

El contenido final de Pb en el suelo mostró al tratamiento T1 (0% biochar + 0% compost) en primer lugar en orden de mérito con un promedio de 1862.21 mg Pb/kg, superior estadísticamente a los demás tratamientos, debido a la mayor concentración de Pb en el suelo. Los tratamientos con menor concentración de Pb fueron los tratamientos con 10%, 20%, 30% de compost, 10% de biochar+10% compost, 10% biochar+20% compost. Esto muestra el efecto del compost y biochar en reducir la concentración de Pb en el suelo, junto con la fitorremediación de maíz.

Se procedió a realizar la prueba de Duncan para el contenido final de Pb en el suelo, la que se aprecia en la figura 8.

Figura 8. Prueba de Duncan para el contenido final de Pb en el suelo



Fuente: Elaboración propia

4.4. Evaluación del crecimiento *Zea mays*

El resultado del crecimiento de la planta desde la parte baja del tallo donde se realizó el corte hasta la inflorescencia de la planta a la octava semana.

El crecimiento del *Zea mays*, se ha evaluado mediante la altura promedio que alcanzó este cultivo en cada una de las repeticiones/tratamiento, los valores registrados en campo a la octava semana son los que se indican en la tabla 16.

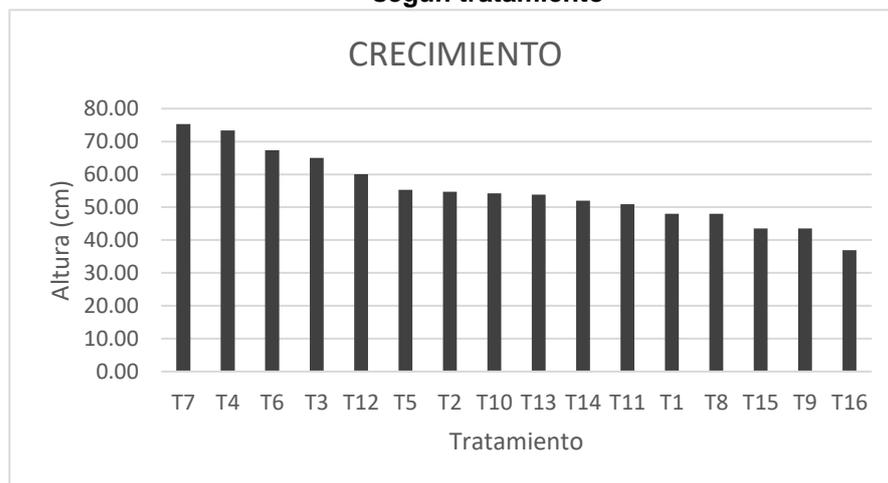
Tabla 16. Altura promedio del *Zea mays* a la octava semana según tratamiento.

TRATAMIENTO	REPETICIÓN			ALTURA <i>Zea mays</i> (cm)
	I	II	III	
T ₁	52.00	47.00	45.00	48.00
T ₂	61.00	49.00	54.00	54.67
T ₃	65.00	69.00	61.00	65.00
T ₄	97.00	60.00	63.00	73.33
T ₅	40.00	66.00	60.00	55.33
T ₆	63.00	70.00	69.00	67.33
T ₇	97.00	56.00	73.00	75.33
T ₈	63.00	58.00	23.00	48.00
T ₉	42.00	44.00	44.50	43.50
T ₁₀	40.00	52.40	70.30	54.23
T ₁₁	47.40	49.20	56.30	50.97
T ₁₂	49.20	67.80	63.10	60.03
T ₁₃	64.30	48.60	48.70	53.87
T ₁₄	52.50	41.40	62.10	52.00
T ₁₅	33.30	53.90	43.40	43.53
T ₁₆	35.90	50.10	24.80	36.93

Fuente: Elaboración propia

En general, en la figura 9 se ilustra que el tratamiento testigo (T1) ocupa el doceavo lugar, evidenciando que el 75% de los tratamientos con la aplicación de enmiendas orgánicas incrementó el crecimiento del *Zea mays* que fueron cultivados en los suelos agrícolas contaminados con Pb.

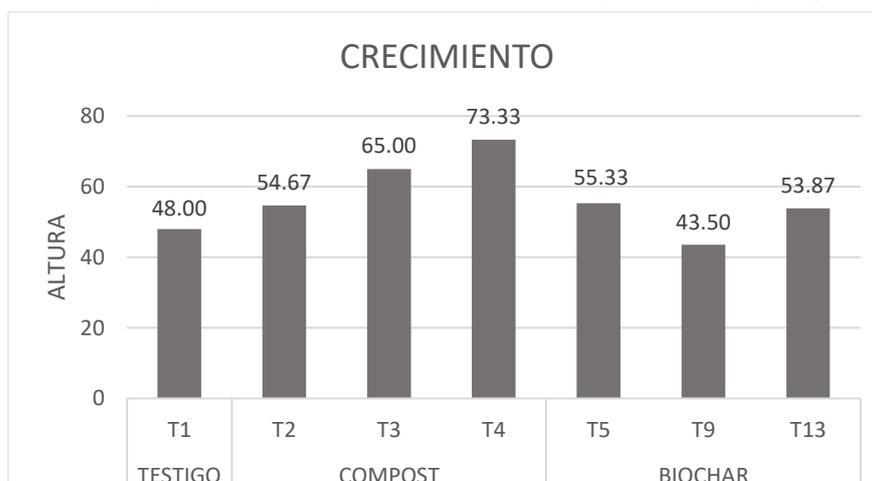
Figura 9. Crecimiento del *Zea mays* a la octava semana del experimento según tratamiento



Fuente: Elaboración propia

En el experimento, la altura de la planta *Zea mays* en el $T1 < T2 < T3 < T4$, esto quiere decir que existe un crecimiento continuo de la planta *Zea mays* en las macetas de suelos enmendados con compost en dosis creciente, mientras que, en los T5, T9 y T13 debido al aporte de Biochar el crecimiento del *Zea Mays* en estos tratamientos son variados como se observa en la Figura 10.

Figura 10. Comparación del crecimiento de Zea Mays con compost y Biochar



Fuente: Elaboración propia

4.4.1. Correlación entre crecimiento del maíz y concentración de Pb

La correlación entre el crecimiento del maíz (altura) y el contenido de Pb en los suelos es igual a -0.6406, es decir, existe una relación negativa entre esas dos variables.

Correlation Coefficients, using the observations 1 - 16
5% critical value (two-tailed) = 0.4973 for n = 16

hzm	CPb	B	C	BC	
1.0000	-0.6406	-0.5391	0.1590	-0.4481	hzm
	1.0000	0.4405	-0.3104	0.2313	CPb
		1.0000	0.0000	0.6255	B
			1.0000	0.6255	C
				1.0000	BC

4.4.2. Modelo de crecimiento del maíz en función de concentración de Pb

Los parámetros de la constante y la de la concentración de Pb son estadísticamente distintos de cero, por lo que se rechaza la H_0 y por tanto se acepta la H_a porque los parámetros $\beta_i \neq 0$, por lo que el modelo que explicita la altura del maíz en base a la concentración de Pb es:

$$hzm = \beta_0 + \beta_1 CPb + e_i$$

$$hzm = 113.594 - 0.0374 CPb$$

$$t : \quad 6.026 - 3.122$$

$$R^2 : 0.4104 \quad p \text{ valor} = 0,0075$$

4.5. Discusión de resultados

Los resultados que se obtuvieron en el período de tratamiento durante las 8 semanas son los siguientes:

- La muestra utilizada del suelo agrícola de la margen izquierda de la cuenca media del Río Mantaro en este experimento tuvo una concentración inicial de plomo (2 014.57 ppm), cantidad demasiado elevada si la comparamos con los valores ECA.SUELO que los suelos deberían tener una concentración máxima de solo 70 ppm.
- Se evidencia que en el T7 (B=25gr / C=50gr) hay un nivel de absorción de plomo del 35.03%, con una concentración inicial de 2 014.57 ppm a una concentración final de 1308.89 ppm. Similar a Gómez, M. y Malca, J. (2021) quienes obtuvieron 64.08% de eficiencia con el 20% de biochar a 60 días. García, J. y Pérez, Y. (2019) quienes utilizaron el biochar a partir de cáscara de naranja afirman que la adsorción del plomo es a una eficiencia del 33.845% en los suelos contaminados de la ribera del río Rímac,
- Así mismo se puede evidenciar que el T7 (75.33 cm) ocupa el primer lugar en el que el Zea mays alcanza la altura máxima de crecimiento, se afirma que la aplicación de las enmiendas orgánicas y la siembra de la planta fitorremediadora influyen en la absorción del plomo (con los resultados obtenidos en el laboratorio). Contrastando con Munive, R. (2018) quien afirma que en los cultivos de maíz y girasol, las enmiendas (compost, vermicompost y fertilización química) y órganos de la planta (raíz y foliar) logró reducir la concentración de plomo en los suelos de Muqui un 90% (119.17 mg/kg) y de El Mantaro 98% (26.73 mg/kg).

En algunas investigaciones se han determinado que la concentración de plomo en los suelos agrícolas es alto, debido a las actividades económicas que se desarrollan en su entorno, a través de los años, por ello se optan por estrategias y tratamientos para los suelos contaminados, en el objetivo de disminuir la concentración tan alta que tiene los suelos agrícolas, un claro ejemplo es la investigación de Garcia, J. y Perez, Y. (23) aplicando diferentes dosis de biochar de casca de naranja en los suelos contaminados con plomo obtuvo una eficiencia del 33.84% de absorción de plomo, con una concentración inicial de 70.03 y la muestra final del tratamiento es

de 50.3. siendo este tratamiento el más eficiente para la investigación, así se observa en diferentes investigaciones que el uso de los tratamientos convencionales son eficientes para la absorción del plomo y poder usar los suelos agrícolas sin mayor riesgo.

CONCLUSIÓN

Se evidencia que el nivel de concentración de plomo en los suelos agrícolas de la cuenca media del Río Mantaro supera 28.78 veces lo dispuesto en la normativa ambiental nacional DECRETO Supremo N°011-2017-MINAM. Que aprueban estándares de calidad ambiental para Suelos ECA.SUELOS, indica que el suelo agrícola debería tener una concentración máxima de 70 ppm y los resultados obtenidos por el laboratorio fue de 2014.57 ppm.

La aplicación de enmiendas orgánicas (Biochar y Compost) en los tratamientos aplicados al suelo contaminado contribuyen positivamente para una mejor absorción del metal pesado en los suelos agrícolas siendo este un método de bajo costo y eficiente para la recuperación y rehabilitación de los suelos agrícolas contaminados con plomo.

El uso combinado de la planta *Zea mays* y la adición de enmiendas orgánicas (biochar – compost) a los suelos agrícolas es una estrategia técnicamente factible y de bajo costo para la recuperación de suelos contaminadas con plomo, coadyuvan a la seguridad alimentaria salvaguardando la salud de las personas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Puga, Soraya, y otros.** *Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera.* LIMA- PERU : s.n., 2006.
2. **Chira Fernández, Jorge Eduardo.** *Impacto de los metales pesados del río Mantaro en la aptitud de los suelos agrícolas del sector Jauja - Huancayo, Junin.* Lima, Perú : Universidad Mayor de San Marco, 2021.
3. **Meddeb, Salma, y otros.** *Efectos de biochar y compost en un suelo de huerto urbano moderadamente contaminado por metales pesados.* Sevilla : Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 2018.
4. **Rodríguez Eugenio, Natalia, McLaughin, Michael y Pennock, Daniel.** *La contaminación del suelo: una realidad oculta.* Roma : FAO, 2019.
5. **Pennock, Dan y Mckenzie, Neil.** *Estado mundial del recurso suelo (EMRS) - Resumen Técnico.* Roma, Italia : FAO, 2016.
6. **Gabriel Campos, Edwin y García Rivero, Alberto Enrique.** *Análisis de los cambios de uso de tierras y sus dinámicas territoriales en la cuenca baja del río Chilca, Perú.* Lima : Ra Ximhai, 2020.
7. **Soto Benavente, Margarita, y otros.** *Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en el Amazonia Peruana.* trujillo : Scientia Agropecuaria, 2020.
8. **FAO.** *Objetivos de desarrollo sostenible.* 2015.
9. **Monge Palomino, Yuri.** *Identificación de fuentes de contaminación en la cuenca del río Mantaro.* Lima, Perú : Minam - Dirección General de Calidad Ambiental, 2009.
10. **Congreso de la República.** *Ley N°28082, Ley que declara en emergencia ambiental la cuenca del río Mantaro.* Lima, Perú : s.n., 2003.
11. **Munive Cerrón, Rubén Victor.** *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el Valle del Mantaro mediante compost de stevia y fitorremediación.* Lima, Perú : Universidad Nacional Agraria la Molina, 2018.
12. **Prieto Méndez, Judith, y otros.** *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua.* México : Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, 2009.

13. **Álvarez Calvo, Luisa.** *Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar.* Madrid : Universidad Politécnica Madrid, 2019.
14. **Jiménez Vélez , Cynthia Mariuxi.** *Análisis descriptivo del Helianthus annuus y Zea mays como acumuladores de (Cd, Pb) para la recuperación de suelos agrícolas contaminados.* Guayaquil - Ecuador : Universidad Agraria del Ecuador , 2020. pág. 110.
15. **Xiong, Jian.** *Recuperación y rehabilitación de suelos contaminados con elementos traza mediante la aplicación de enmiendas y el establecimiento de una cubierta vegetal natural o de una planta de crecimiento rápido (Paulownia fortunei).* Sevilla, España : Universidad de Sevilla, 2015.
16. **Encarnación García, Lucas.** *Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiáridos: Adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implicación en la fijación de carbono.* España : Universidad de Murcia, 2013.
17. **M.P. Bernal, R. Clemente, S. Vázquez, D.J. Walker.** *Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar.* Madrid : Revista ecosistema, 2007.
18. **Santa-Olalla Lozano, Arturo.** *Efectos de la aplicación del biochar en un suelo contaminado por elementos traza.* Sevilla, España : Universidad de Sevilla, 2020.
19. **Plaza Alarcón, María José.** *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados debidos al cultivo de maíz (Zea mays) en la zona norte de la provincia de Los Ríos.* Los Ríos-Ecuador : Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2021.
20. **Escalante Rebolledo, Ariadna, y otros.** *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo.* México : Terra Latinoamericana 34, 2016. 367-382.
21. **Gómez Cabrera, Marco Antonio y Malca Espinoza, Jaime Eber.** *Aplicación de biochar para la inmovilización de plomo en suelo provenientes de los relaves mineros de paredones Cajamarca.* Cajamarca, Perú : Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, 2021.
22. **Munive Cerron, Rubén, y otros.** *Fitorremediación con Maíz (Zea mays L.) y compost de stevia en suelos degradados por contaminación por metales pesados.* Trujillo, Perú : Scientia Agropecuaria, 2018.

23. **García Bardales, Jhoselin Margarita y Pérez Becerra, Yahaira Lisseth.** *Eficiencia de diversas dosis de biochar elaborado con cáscara de naranja para la adsorción de plomo en suelos contaminados de la ribera del Río Rímac.* Lima, Perú : Universidad César Vallejo, 2019.
24. **Ríos Tello, Cinthya Lorena.** *Aplicación de biochar de *Mespilus germanica L.* y *Mangifera indica L.* en suelos contaminados para reducir plomo en la zona de La Huaca - Huaral.* Lima, Perú : Universidad César Vallejo, 2018.
25. **Asencios Márquez, Mery Claret.** *Bioacumulación de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en *Raphanus Sativus* cultivados con compost producido a base de residuos sólidos municipales en Huari, Ancash.* Lima, Perú : Universidad César Vallejo, 2017.
26. **Vargas Julca, Klintons Berino.** *Eficiencia de maíz (*Zea mays*) cultivado con abono orgánico (compost y humus hechos a partir de restos de flores) en la disminución de las concentraciones de plomo de suelo contaminados por el pasivo ambiental minero Catac-Recuay, Ancash.* Lima, Perú : Universidad César Vallejo, 2017.
27. **Sanchez Vasquez, Riter Jean's y Zurita Valenzuela, Brenda Marlen.** *Interacción del biocarbón como inhibidor de plomo en los suelos agrícolas: Revisión.* Lima, Perú : Universidad Peruana Unión, 2020.
28. **Puga, Soraya, y otros.** *Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera.* Lima, Perú : SciELO Perú, 2006. pág. 8.
29. **García, Daniela y Priotto, Guillermo.** *Aportes políticos y pedagógicos en la construcción del campo de la Educación Ambiental.* Buenos Aires : Marcela Pujol, 2009.
30. **Eugene P, Odum y Gary W, Barrett.** *Fundamentos de ecología.* México : Thomson, 2007.
31. **Gabriel Campos, Edwin.** *Plan de Gestión de riesgos de desastres y cultura ambiental: Un análisis desde el enfoque cuantitativo.* 2016.
32. **Naciones Unidas.** *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.* Estocolmo : s.n., 1992.
33. **Congreso Constitucional de la República.** *Constitución Política del Perú.* Lima, Perú : Diario Oficial el Peruano, 1993.
34. **Glynn, Henry y Gary W, Heinke.** *Ingeniería Ambiental.* México : Pearson, 2006.

35. **Tarbuck, Edward J y Lutgens, Frederick K.** *Ciencias de la Tierra*. Madrid, España : Pearson Educación S.A, 2005.
36. **Silva Arroyave, Sandra Milena y Correa Restrepo, Francisco Javier.** *Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica*. Colombia : Universidad de Medellín, 2009.
37. **Espinoza Mendoza, Victoria E, y otros.** *Aproximaciones a la historia del uso de suelo de la cuenca del Rio Mantaro, Perú*. Lima, Perú : Colegio de Geógrafos del Perú, 2020.
38. **Rucks, L, y otros.** *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo-Uruguay : Universidad de la República, 2004.
39. **Luters, Alberto y Salazar, Juan Carlos.** *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Argentina : s.n., 2000.
40. **Luther Donahue, Roy, y otros.** *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas*. Cali, Colombia : Carvajal S.A., 1987.
41. **Gisbert Blanquer, Juan Manuel, Ibáñez Asensio, Sara y Moreno Ramón , Héctor.** *La Textura de un suelo*. Valencia, España : Universidad Politecnica de Valencia, 2010.
42. **FAO.** *Propiedades Físicas del Suelo*. 2021.
43. —. *Propiedades Químicas*. 2021.
44. **Garay Canales, Óscar y Ochoa Acevedo, Alex.** *Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del río Mantaro*. Lima, Perú : Instituto Geofísico del Perú, 2010.
45. **Karlanian, Monica A, Barbaro, Lorena A y Mata, Diego A.** *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. Argentina : Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2018.
46. **Garrido Valero, Soledad.** *Interpretación de análisis de suelos*. Madrid, España : Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2005.
47. **Toledo, Milton.** *Manejo de suelos ácidos en las zonas altas de honduras conceptos y métodos*. Honduras : s.n., 2016.
48. **ITPS, FAO &.** *Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main report*. Roma, Italia : Agriculture Organization of the United Nations, 2015.
49. **Galán Huertos, Emilio y Romero Baena, Antonio.** *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*. Sevilla : Universidad de Sevilla, 2008.

50. **Avila, A y Aguilhaume, L.** *Monitorización y tendencias de la deposición de N en España, incluyendo polvo sahariano.* Bellaterra, España : Universidad Autónoma de Barcelona, 2017.
51. **Santiago Tácunan, Bonifacio.** *Contaminación ambiental en el valle del Mantaro. Informe médico (La Oroya, 1926).* Lima, Perú : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2012.
52. **Ministerio de Energia y Minas y Banco Interamericano de Desarrollo.** *Estudio Diagnostico, Cuenca del Rio Mantaro .* Lima, Perú : s.n., 1997.
53. **Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental.** *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.* s.l. : OEFA, 2014.
54. **Zamora, Frank, y otros.** *Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón.* Barquisimeto. Venezuela : Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), 2008.
55. **Rodríguez M, y otros.** *Contenido De Metales Pesados En Abonos Orgánicos, Sustratos.* Cuba : Instituto Nacional De Ciencias Agrícolas, 2012.
56. **Garcia I y Dorronsoro C.** *Contaminación por Metales Pesado.* Colombia : Universidad de Granada, 2005.
57. **Rojas Rojas, Jhon Eduard.** *Aproximación al proceso de degradación de suelos por contaminación.* Bogotá, Colombia : Dirección de Recursos NATurales, 2018.
58. **Hernández Calderón, José M.** *Nota de análisis sectorial, Agricultura y Desarrollo Rural.* Perú : Corporación Andina de Fomento (CAF), 2010.
59. **Avilés L, Hernán.** *El valor del agua en la agricultura.* Cuenca, Ecuador : Revista de Ciencias de la Vida, 2006.
60. **Delgado Londoño, Diana María.** *Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica.* Colombia : Universidad del Valle, 2017.
61. **Guerra Laura, Patricia Amelia.** *Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía.* Lima, Perú : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2015.
62. **Escalante Rebolledo, Ariadna, y otros.** *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo.* Estado de México, México : Instituto de Ecología, UNAM, 2016.

63. **Trujillo A, Enmer, y otros.** *Producción y caracterización química de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas.* Lima, Perú : Univeridad Nacional Agraria la Molina, 2020.
64. **Downie, A, A, Crosky y Munroe, P.** *Physical properties of biochar. Biochar for environmental management: Science and technology.* London : Earthscan, 2009.
65. **Brownsort, PA.** *Biomass pyrolysis processes: performance parameters and their influence on biochar system benefits.* Reino Unido : University of Edinburgh, 2009.
66. **Jaramillo Rodríguez, Manuel García.** *Aplicación de enminedas orgánicas y biochars derivados de la industria oleícola en el cultivo del arroz: influencia en la dinámica de plaguicidas y en propiedades agronómicas.* España : Universidad de Sevilla, 2016.
67. **Gómez Zuñiga, Katalina Yulieth y Quevedo Gamba, Nubia Rocío.** *Evaluación del biochar obtenido por pirólisis del retamo espinoso para remover cromo del agua.* Bogotá, Colombia : Universidad de la Salle, 2020.
68. **Rodríguez de Sancho, Jesús.** *Manual de Compostaje.* Madrid, España : Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008.
69. **Villegas-Cornelio, Victor Manuel y Laines Canepa, José Ramón.** *Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos.* Mexico : Revista mexicana de ciencias agricolas , 2017.
70. **Mikolic, Carlos, Ruffinelli, Silvia y Dárdano , Beatriz.** *Manual de vermicompostaje.* Montevideo, Uruguay : Departamento de Desarrollo Ambiental de la Intendencia de Montevideo, 2018.
71. **Hernández Cházaro, Eduardo.** *Humus de lombriz roja californiana.* Toluca, México : Basaltika Agrominerales, 2020.
72. **Morales, David y Campo, Adur.** *Manual de vermicompostaje.* España : Vermican - Gestión Ecológica de Reisudos Orgánicos, 2020.
73. **Jaramillo, R.** *Fuentes de nutrientes específicos.* Quito, Ecuador : International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2017.
74. **Rodriguez Neave, Francisco.** *Manual de Uso del Yeso Agrícola como Mejorador de Suelos.* México : Intagri, 2006.
75. **Damian Suclupe, Manuel Julio, y otros.** *Plan de enminedas, yeso agricola, compost mejorado y enriquecido como EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo.* Trujillo, Perú : Scielo, 2018.

76. **Cordero Casallas, Johanna Katerin.** *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la Finca furatena alta en el municipio de Útica (Cundinamarca).* Bogotá, Colombia : Universidad Libre, 2015.
77. **Bayón Sanz, Sara.** *Aplicacion de la fitorremediacion a suelos contaminados por metales pesados.* Madrid, España : Universidad Complutense, 2015.
78. **Delgadillo López, Angélica Evelin, y otros.** *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación.* Mérida, Mexico : SciELO, 2011.
79. **Cabrerizo, C.** *El maíz en la alimentación Humana.* 2012.
80. **Maroto Borrego, J V.** *Horticultura herbácea especial.* Madrid : Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1983.
81. **Schweizer Lassaga, Susana.** *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad.* San José, Costa Rica : Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria , 2011.
82. **Ministerio del Ambiente.** *Guia para el muestreo de suelos.* Lima, Perú : Direccion General de Calidad Ambiental-MINAM, 2014.
83. **Alberto Sosa, Domingo.** *Técnicas de toma y remisión de muestras de suelos.* Argentina : Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria, 2018.
84. **Arroyave, Silva.** *Análisis de la contaminación del suelo.* Colombia : SciELO, 2009.
85. **Ordoñez Gálvez, Juan Julio.** *¿Qué es cuenca hidrológica?* Lima, Perú : Sociedad Geográfica de Lima, 2011.
86. **Sánchez Carlessi, Hugo, Reyes Romero, Carlos y Mejía Sáenz, Katia.** *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística.* Lima, Perú : Univeridad Ricardo Palma, 2018.
87. **Murillo, Javier.** *Método de investigación de enfoque experimental.* Madrid, España : s.n., 2005.
88. **Hernández Sampieri, Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar.** *Metodología de la Investigación.* Mexico : Mexicana, 2014.
89. **Orellana Mendoza, Edith Pilar.** *Diseño de Experimeintos Aplicados en Ciencias Ambientales y Forestales.* Huancayo-Perú : MARSANTS, 2013.
90. **Iglesias Abad, Sergio, y otros.** *Biochar de biomasa residual de eucalipto (Eucalytus globulus) mediante dos métodos de pirólisis.* Ecuador : Universidad NAcional de Tumbes - Perú, 2020.

91. **Cabello Torres, Rita Jaqueline, y otros.** *Biocarbón derivado de excretas porcinas con capacidad de disminuir la disponibilidad de Pb en suelos agrícolas contaminados.* Perú : Scientia Agropecuaria, 2021.

92. **Armas Silva, Sony Rilley y Ramirez Vela, Diana Esther.** *Aplicación del compost, para la absorción de metales pesados usando girasol (*Helianthus annuus L.*) en suelos procedentes del Distrito de Irazola, Perú.* Pucallpa, Perú : Universidad Nacional de Ucayali, 2020.

93. **Tokeshi G, Juan, Burga B, Jorge y Cuadrado G, Evelyn.** *Los pueblos urbanos del valle del Mantaro.* Perú : Arquitextos, 2022.

94. **Suelo, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para.** *Normas Legales.* Perú : Diario Oficial El Peruano, 2017.

95. **Lázaro Mendoza, Carmen Janeth.** *Contaminación del suelo por metales pesados en la cuenca del río Mantaro.* Lima : Universidad Científica del Sur, 2019.

ANEXOS

ANEXO N° 1: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Imagen 1. Caracterización de suelo del Distrito de Ataura



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : KATHERIN NINAMANGO FRANCO/ JOHANNA INDIGOYEN PORRAS

Departamento : JUNÍN
Distrito : ATAURA

Provincia : JAUJA
Predio : CUENCA MEDIA - MARGEN
IZQUIERDA RÍO MANTARO
Fecha : 27/09/2021

Referencia : H.R. 75014-101C-21 Bolt.: 4726

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
9145	N-5	6.80	1.73	10.50	2.32	26.3	100	56	29	15	Fr.A.	11.66	9.72	1.10	0.75	0.09	0.00	11.66	11.66	100

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



Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

Imagen 2. Caracterización de suelo del Distrito de Mantaro



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : KATHERIN NINAMANGO FRANCO/ JOHANNA INDIGOYEN PORRAS

Departamento : JUNÍN
 Distrito : MANTARO

Provincia : JAUJA
 Predio : CUENCA MEDIA - MARGEN
 IZQUIERDA RÍO MANTARO
 Fecha : 27/09/2021

Referencia : H.R. 75017-101C-21 Bolt.: 4726

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
9144	N-4	6.87	1.31	10.50	2.65	25.3	101	49	28	23	Fr.Ar.A	11.34	9.32	1.50	0.32	0.20	0.00	11.34	11.34	100

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



Dr. Constantino Calderon Mendoza
Jefe del Laboratorio

Imagen 3. Caracterización de suelo del Distrito de Matahuasi



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : KATHERIN NINAMANGO FRANCO/ JOHANNA INDIGOYEN PORRAS

Departamento : JUNÍN
 Distrito : MATAHUASI

Provincia : CONCEPCIÓN
 Predio : CUENCA MEDIA - MARGEN
 IZQUIERDA RÍO MANTARO

Referencia : H.R. 75015-101C-21

Bot.: 4726

Fecha : 27/09/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
9143	N-3	6.80	1.73	10.50	2.32	26.3	100	55	22	23	Fr.Ar.A	12.51	10.65	1.43	0.34	0.09	0.00	12.51	12.51	100

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



Dr. Constantino Calderón Mendoza
 Jefe del Laboratorio

Imagen 4. Caracterización de suelo del Distrito de Concepción



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : KATHERIN NINAMANGO FRANCO/ JOHANNA INDIGOYEN PORRAS

Departamento : JUNÍN
 Distrito : CONCEPCIÓN

Provincia : CONCEPCIÓN
 Predio : CUENCA MEDIA - MARGEN
 IZQUIERDA RÍO MANTARO
 Fecha : 27/09/2021

Referencia : H.R. 75016-101C-21 Bolt.: 4726

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
9142	N-2	7.21	1.81	10.32	3.30	28.2	123	64	30	6	Fr.A.	9.82	7.75	1.50	0.40	0.17	0.00	9.82	9.82	100

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



Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

Imagen 5. Caracterización de suelo de las localidades de Mantaro, Ataura, Matahuasi y Concepción (Muestra compuesta - experimento)



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : KATHERIN NINAMANGO FRANCO/ JOHANNA INDIGOYEN PORRAS

Departamento : JUNÍN

Distrito : MANTARO/ATAURA/MATAHUASI/CONCEPCIÓN

Provincia : JAUJA/CONCEPCIÓN

Predio : CUENCA MEDIA - MARGEN

IZQUIERDA RÍO MANTARO

Referencia : H.R. 75013-101C-21

Bolt.: 4726

Fecha : 27/09/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
9141	N-1	7.17	1.24	10.49	2.65	24.7	108	57	34	9	Fr.A.	11.84	9.75	1.60	0.30	0.18	0.00	11.84	11.84	100

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



Dr. Constantino Calderón Mendoza
 Jefe del Laboratorio

ANEXO N° 2: TABLAS DE INTERPRETACIÓN

Salinidad

Clasificación del Suelo	CE (es)
Muy ligeramente salino	<2
Ligeramente salino	2 - 4
Moderadamente salino	4 - 8
Fuertemente salino	>8

Clasificación del Suelo	Materia Orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible
	%	ppm P	ppm K
Bajo	<2.0	<7.0	<100
Medio	2 – 4	7.0 – 14.0	100 – 240
Alto	>4.0	>14.0	>240

Relaciones Catiónicas

Clasificación	K/Mg	Ca/Mg
Normal	0.2 – 0.3	5 – 9
defc. Mg	>0.5	
defc. K	>0.2	
defc. Mg		>10

Reacción o pH

Clasificación del Suelo	pH
Fuertemente ácido	<5.5
Moderadamente ácido	5.6 – 6.0
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.0
Ligeramente alcalino	7.1 – 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4
Fuertemente alcalino	>8.5

Distribución de Cationes %

Ca^{+2}	60 - 75
Mg^{+2}	15 - 20
K^{+}	3 - 7
Na^{+}	<15

Capacidad de Intercambio Cationico

Nivel	cmol/kg
Baja	6 – 12
Media	12 – 20
Alta	>20

Clases Texturales

A = arena	Fr.Ar.A = franco arcillo arenoso
A.Fr = arena franca	Fr.Ar = franco arcilloso
Fr.A = franco arenoso	Fr.Ar.L = franco arcilloso limoso
Fr = franco	Ar.A = arcilloso arenoso
Fr.L = franco limoso	Ar.L. = arcilloso limoso
L = limoso	Ar. = arcilloso

ANEXO N°3. RESULTADO DEL ANÁLISIS INICIAL DE PB DEL EXPERIMENTO.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : KATHERIN NINAMANGO FRANCO/ JOHANNA INDIGOYEN PORRAS
PROCEDENCIA : JUNÍN/ JAUJA/ MANTARO/ CUENCA MEDIA - MARGEN IZQUIERDA RÍO MANTARO
REFERENCIA : H.R. 75012
BOLETA : 4726
FECHA : 23/09/2021

Lab	Número Muestra		Pb ppm
	Clave		
2156	N° 1		2014.57



Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

ANEXO N° 4. RESULTADO DEL ANÁLISIS FINAL DE PB EN CADA TRATAMIENTO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : KATHERINE NINAMANGO FRANCO

PROCEDENCIA : JUNÍN/ JAUJA - MANTARO

REFERENCIA : H.R. 75562

BOLETA : 4855

FECHA : 02/12/2021

Lab	Número Muestra Claves	Pb ppm
2782	T1a	1960.34
2783	T1b	1768.46
2784	T1c	1857.84
2785	T2a	1446.92
2786	T2b	1309.68
2787	T2c	1644.68
2788	T3a	1341.62
2789	T3b	1374.92
2790	T3c	1255.71
2791	T4a	1317.23
2792	T4b	1264.53
2793	T4c	1480.16
2794	T5a	1639.42
2795	T5b	1394.21
2796	T5c	1518.06
2797	T6a	1176.55
2798	T6b	1198.67
2799	T6c	1591.33
2800	T7a	1350.00
2801	T7b	1326.00
2802	T7c	1250.67
2803	T8a	1364.67
2804	T8b	1434.67
2805	T8c	1558.00

Lab	Número Muestra Claves	Pb ppm
2806	T9a	1601.33
2807	T9b	1943.33
2808	T9c	1730.67
2809	T10a	1589.33
2810	T10b	1743.33
2811	T10c	1483.33
2812	T11a	1678.00
2813	T11b	1668.67
2814	T11c	1866.00
2815	T12a	1639.33
2816	T12b	1763.33
2817	T12c	1885.33
2818	T13a	1650.67
2819	T13b	1705.33
2820	T13c	1526.00
2821	T14a	1838.67
2822	T14b	1590.00
2823	T14c	1437.33
2824	T15a	1803.33
2825	T15b	1932.00
2826	T15c	1627.67
2827	T16a	1634.67
2828	T16b	1403.33
2829	T16c	1425.00



Dr. Constantino Calderón Mendoza
 Jefe del Laboratorio

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

ANEXO N° 5. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA DEL BIOCHAR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : KATHERINE NINAMANGO FRANCO
 PROCEDENCIA : JUNÍN/ JAUJA - MANTARO
 MUESTRA DE : BIOCHAR
 REFERENCIA : H.R. 75563
 BOLETA : 4855
 FECHA : 19/11/2021

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
492	M1 BIOCHAR	10.63	7.19	19.81	0.87	0.72	2.28

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
492	M1 BIOCHAR	10.78	1.27	3.07	0.09



Constantino Calderón Mendoza
 Jefe de Laboratorio

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

ANEXO N° 6. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA DEL COMPOST



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : KATHERINE NINAMANGO FRANCO
 PROCEDENCIA : JUNÍN/ JAUJA - MANTARO
 MUESTRA DE : COMPOST
 REFERENCIA : H.R. 75564
 BOLETA : 4855
 FECHA : 19/11/2021

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
493	M1 COMPOST	8.38	16.50	25.97	1.51	0.96	1.96

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
493	M1 COMPOST	13.58	1.33	21.65	0.37



Constantino Calderón Mendoza
 Jefe de Laboratorio

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

ANEXO N° 7. FICHA TÉCNICA DEL BIOCHAR UTILIZADO EN EL EXPERIMENTO



FICHA TECNICA DEL BIOCHAR

Fecha: 31-08-2021

Características:

Origen de biomasa: Vegetal: residuos de aserríos forestales (Eucalyptus globulus).

Proceso de pirolisis: lenta (72 horas).

Proceso de enfriado: Lenta (15 días).

Temperatura de pirolisis: 450 °C

Humedad: ≤ 8 %

Colecta: **Rápida:** Menor a 8 horas de abierto el horno.

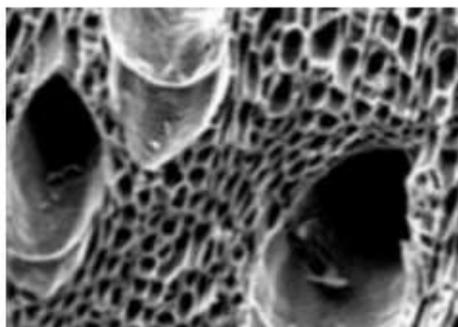
Sistema de producción de biochar: Horno cerrado, ecológico de ladrillos tipo brasileño – Peruano adecuado por la Empresa Bio Energy Ingenieros.

Tamaño de malla - granulometría: menor a 4.5 mm.

Tipo de selección: Zaranda Vibratoria.



*Para fines de investigación se recomienda realizar un nuevo análisis, ya que los valores son referenciales a la producción general.



PROPIEDADES: Mejora las propiedades físicas (estructura, infiltración retención de agua y metales pesados, aireación, temperatura, porosidad), químicas (regula pH, CIC, retención y balance de nutrientes) y biológicas del suelo (fuente de carbono, control biológico, procesos de nitrificación, intercambio gaseoso), mejora la retención de agua, reduce la volatilización del amoníaco, favorece la presencia de microorganismos benéficos del suelo.

USOS:

- Agrícola, forestal, ambiental, mejorador de suelos, sustrato para germinadores, viveros, excelente enraizador, combinación con fertilizantes comerciales inorgánicos, Biorremediación de suelos, restauración de áreas degradadas y otros.

RUC: 20602070761

Av. Del Pangoa S/N, urb. Quinta Aurora- Mazamari – Satipo - Junín

Teléfono: 959660307 – Email: bioenergyingenieros@gmail.com

ANEXO N° 8. COMPROBANTE DE ADQUISICIÓN DE COMPOST



Comprobante de Salida RSO

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN JERONIMO DE TUNAN - HUANCAYO - JUNIN

Dependencia Solicitante:

Solicito Entregar A:

Motivo/Concepto/Just.

Johanna Indigoyen Porras
Educación Ambiental / Experimento

FECHA: 1 / 1
 MES:

SOLICITADO				ATENDIDO			
N°	CANT.	UND.	DESCRIPCION	N°	CANT.	UND.	DESCRIPCION
1	1	Saco	Compost, producción de resto	1	1	Saco	Compost de 30Kg.
2			de paja, corte de césped, residuos	2			
3			de frutas y verduras	3			
						TOTAL	30Kg.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN JERONIMO DE TUNAN
 Johanna Indigoyen Porras
SOLICITANTE

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN JERONIMO DE TUNAN
 Ing. Miguel Chirivaca Córdova
 GERENTE DE GESTIÓN AMBIENTAL Y SERVICIOS
GGASP

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN JERONIMO DE TUNAN
 Johanna Indigoyen Porras
RECIBI CONFORME

ANEXO N° 9. FORMATO DE FICHA DE OBSERVACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CRECIMIENTO DEL *Zea mays*.

FECHA	SEMANA	T1 - I	T1 - II	T1 - III	Observaciones
28 de agosto	Semana 0				
4 de septiembre	Semana 1				
11 de septiembre	Semana 2				
18 de septiembre	Semana 3				
25 de septiembre	Semana 4				
02 de octubre	Semana 5				
09 de octubre	Semana 6				
16 de octubre	Semana 7				
23 de octubre	Semana 8				
30 de octubre	Semana 9				

ANEXO N° 10. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO:” APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y FITORREMIEDIACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS POR PLOMO EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MANTARO “

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIBALES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cómo varía la concentración de Plomo presente en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro, con la aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación?</p> <p>PROBLEMA ESPECIFICO ¿En qué nivel se encuentran las concentraciones de plomo en los suelos agrícolas de la marguen izquierda de la cuenca media del río Mantaro? ¿Cuál de los tratamientos es más efectivo con la aplicación de las enmiendas orgánicas para reducir los niveles de concentración de plomo en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro? ¿Cuál es la eficiencia de la fitorremediación en el crecimiento del Zea Mays cultivado con enmiendas orgánicas en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Analizar la variación de la concentración de Plomo presente en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro, con la aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS •Determinar el nivel de concentración de plomo que se encuentran en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro. •Evaluar cuál de los tratamientos con la aplicación de las enmiendas orgánicas es más efectivo para reducir los niveles de concentración de plomo en los suelos agrícola de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro. •Evaluar la eficiencia de la fitorremediación mediante el crecimiento del Zea Mays cultivado con enmiendas orgánicas en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro.</p>	<p>HIPOTEIS H1: La aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación disminuye la concentración de Plomo existentes en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro H2: La aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación no disminuye la concentración de Plomo existentes en los suelos agrícolas de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro</p>	<p>VARIABLES VARIABLE INDEPENDIENTE Enmiendas Orgánicas y fitorremediación INDICADORES Dosis crecientes de Enmiendas Orgánicas D0 = 0 g de EO/kg de suelo D1 = 25 g de EO/kg de suelo D2 = 50 g de EO/ kg de suelo D3 = 75 g de EO/kg de suelo Altura de la planta (Zea mays). INSTRUMENTO Ficha de observación y recolección de datos Ficha de resultados de laboratorio.</p> <p>VARIBALE DEPENDIENTE Suelo Agrícola INDICADORES Concentración de plomo en los suelos agrícolas hoja de recolección de parámetros.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACION la presente investigación es aplicada, puesto que, tiene por finalidad solucionar problemas prácticos relativos a controlar, transformar y así plantear acciones de valor practico para algún grupo social; para ello emplea parte de los conocimientos básicos.</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACION Enfoque cuantitativo y el diseño presenta es experimental.</p> <p>POBLACION Y MUESTRA POBLACION La población para el presente estudio son los suelos agrícolas bajo riego por el río Mantaro de la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro</p> <p>MUESTRA La muestra a analizar será constituida por un conjunto de sub muestras (10 – 25 unidades) recolectadas a una profundidad de 30 cm de forma aleatoria de los suelos agrícolas</p>

ANEXO N° 11. MODELO

Model 1: OLS, using observations 1-16

Dependent variable: hzm

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	105.040	22.3202	4.706	0.0005	***
CPb	-0.0291228	0.0142643	-2.042	0.0638	*
B	-0.298209	0.216630	-1.377	0.1938	
C	0.00399206	0.204583	0.01951	0.9848	
Mean dependent var	55.12812	S.D. dependent var	10.77661		
Sum squared resid	884.3946	S.E. of regression	8.584844		
R-squared	0.492319	Adjusted R-squared	0.365399		
F(3, 12)	3.878969	P-value (F)	0.037682		
Log-likelihood	-54.80153	Akaike criterion	117.6031		
Schwarz criterion	120.6934	Hannan-Quinn	117.7613		

Excluding the constant, p-value was highest for variable 4 (C)

Model 2: OLS, using observations 1-16

Dependent variable: hzm

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	105.240	19.0479	5.525	9.79e-05	***
CPb	-0.0292190	0.0128595	-2.272	0.0407	**
B	-0.297532	0.205444	-1.448	0.1712	
Mean dependent var	55.12812	S.D. dependent var	10.77661		
Sum squared resid	884.4226	S.E. of regression	8.248182		
R-squared	0.492303	Adjusted R-squared	0.414196		
F(2, 13)	6.302918	P-value (F)	0.012202		
Log-likelihood	-54.80179	Akaike criterion	115.6036		
Schwarz criterion	117.9213	Hannan-Quinn	115.7223		

File Edit Tests Save Graphs Analysis LaTeX

Model 4: OLS, using observations 1-16

Dependent variable: hzm

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	113.594	18.8514	6.026	3.11e-05	***
CPb	-0.0374233	0.0119884	-3.122	0.0075	***
Mean dependent var	55.12812	S.D. dependent var	10.77661		
Sum squared resid	1027.113	S.E. of regression	8.565348		
R-squared	0.410393	Adjusted R-squared	0.368278		
F(1, 14)	9.744631	P-value (F)	0.007503		
Log-likelihood	-55.99836	Akaike criterion	115.9967		
Schwarz criterion	117.5419	Hannan-Quinn	116.0758		

ANEXO N° 12: PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Identificación de suelos agrícolas bajo riego de la cuenca media del río Mantaro



Fotografía 2. Muestreo de suelo (muestra simple)



Fotografía 3. Muestreo de suelo (muestra simple)



Fotografía 4. Muestreo de suelo (muestra simple)



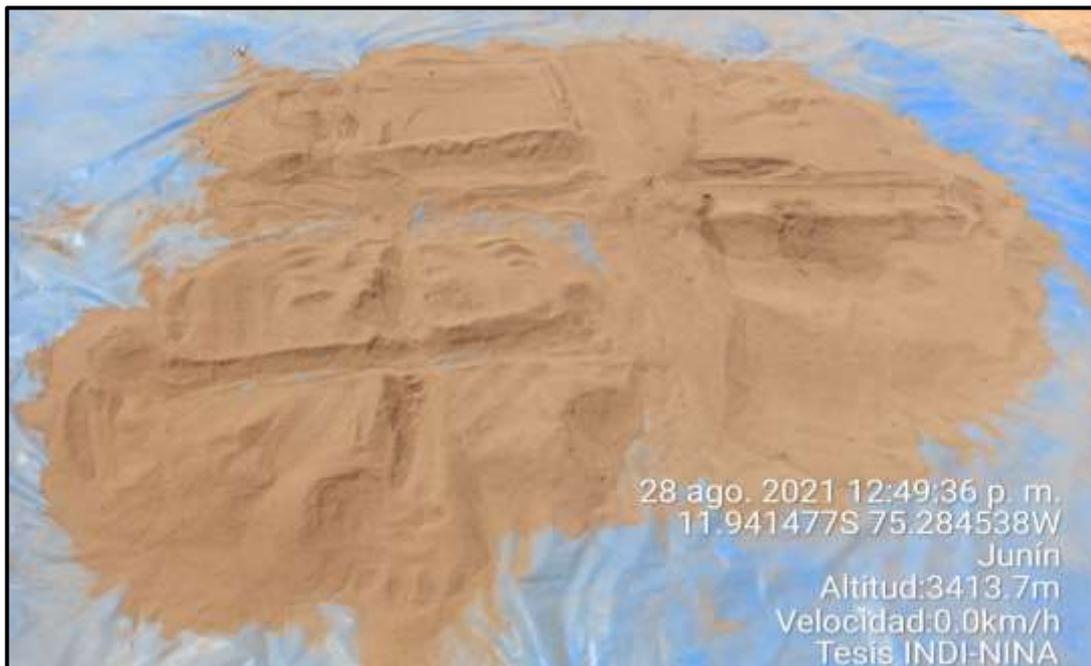
Fotografía 5. Tamizado de las muestras simples.



Fotografía 6. Homogenización de las muestras simples para obtención de la muestra compuesta.



Fotografía 7. Cuarteo de la muestra simple



28 ago. 2021 12:49:36 p. m.
11.941477S 75.284538W
Junín
Altitud:3413.7m
Velocidad:0.0km/h
Tesis INDI-NINA

Fotografía 8. Preparado de muestra compuesta para análisis de Pb



28 ago. 2021 12:50:03 p. m.
11.941500S 75.284537W
Junín
Altitud:3415.4m
Velocidad:0.4km/h
Tesis INDI-NINA

Fotografía 10. Rotulado de las macetas



Fotografía 11. Preparación de los tratamientos



Fotografía 12. Distribución de los tratamientos en macetas



Fotografía 11. Siembra de Zea mays



Fotografía 12. Riego del experimento



Fotografía 13. Control del crecimiento de la planta Zea mays (Primera semana)



Fotografía 14. Control del crecimiento de la planta Zea mays (Segunda semana)



Fotografía 15. Control del crecimiento de la planta Zea mays (Tercera semana)



Fotografía 16. Control del crecimiento de la planta Zea mays (Cuarta semana)



Fotografía 17: Control del crecimiento de la planta Zea mays (Quinta semana)



Fotografía 18: Control del crecimiento de la planta Zea mays (sexta semana)



Fotografía 19: Control de malezas del experimento (séptima semana)



Fotografía 20: Control del crecimiento de la planta Zea mays (séptima semana)



Fotografía 21: Control del crecimiento de la planta Zea mays (octava semana)



Fotografía 22: Colocación de las muestras de cada tratamiento en bolsas herméticas.

