

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia del biochar en suelos agrícolas
degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho,
2021**

Jhorby Raul Ramirez Palomino

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

Influencia del biochar

INFORME DE ORIGINALIDAD

30%

INDICE DE SIMILITUD

28%

FUENTES DE INTERNET

14%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

3

bdigital.unal.edu.co

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

1%

6

oa.upm.es

Fuente de Internet

1%

7

renati.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet

1%

8

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

1%

9

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

10	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	gestionuncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.upci.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
16	llamkasun.unat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	ouci.dntb.gov.ua Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
19	revistas.unilibre.edu.co Fuente de Internet	<1 %
20	Sara López-Osorio, Felipe Penagos-Tabares, Jenny Jovana Chaparro-Gutiérrez. "Prevalence of Toxocara spp. in dogs and cats in South America (excluding Brazil)", Elsevier BV, 2020 Publicación	<1 %

21	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorioslatinoamericanos.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
24	red.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %
26	www.treehugger.com Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
28	repositorio.uma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	1library.co Fuente de Internet	<1 %
30	Ríos Martínez Soto Rodolfo Carlo. "Evaluación de los indicadores de degradación del suelo en el Ejido San Fernando, Veracruz, México", TESIUNAM, 2006 Publicación	<1 %

research-repository.uwa.edu.au

31

Fuente de Internet

<1 %

32

acervodigital.ufpr.br

Fuente de Internet

<1 %

33

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

34

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1 %

35

repositorio.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

36

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

37

eprints.uanl.mx

Fuente de Internet

<1 %

38

repositorio.catie.ac.cr

Fuente de Internet

<1 %

39

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

40

repositorio.ungs.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

41

Submitted to Imperial College of Science,
Technology and Medicine

Trabajo del estudiante

<1 %

42	Submitted to Swinburne University of Technology Trabajo del estudiante	<1 %
43	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	www.degruyter.com Fuente de Internet	<1 %
45	www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
46	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.pedagogica.edu.co Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
49	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
50	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
51	revistas.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
52	www.eea.europa.eu Fuente de Internet	<1 %

53

Alonso Calderón Alexis Stefan. "Impacto del tipo de uso y cobertura vegetal sobre la calidad del suelo de una región semiárida del estado de Puebla, Méx.", TESIUNAM, 2019

Publicación

<1 %

54

repository.uniminuto.edu

Fuente de Internet

<1 %

55

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

56

es.unionpedia.org

Fuente de Internet

<1 %

57

Santiago Cardona Vargas. "Development of a test rig for the study of the atomization and combustion of a spray flame in an atmospheric annular spray burner at lean conditions", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

<1 %

58

gist.github.com

Fuente de Internet

<1 %

59

issuu.com

Fuente de Internet

<1 %

60

studiespublicacoes.com.br

Fuente de Internet

<1 %

61	Delgado Calderon Luis Martin. "Uso eficiente de los fertilizantes", TESIUNAM, 1995 Publicación	<1 %
62	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
63	soils-journal.ru Fuente de Internet	<1 %
64	www.nutriterra.com Fuente de Internet	<1 %
65	Jabbar Khan, Rani Singh, Pallavi Upreti, Rajesh Kumar Yadav. "Geo- statistical assessment of soil quality and identification of Heavy metal contamination using Integrated GIS and Multivariate statistical analysis in Industrial region of Western India", Environmental Technology & Innovation, 2022 Publicación	<1 %
66	baadalsg.inflibnet.ac.in Fuente de Internet	<1 %
67	rembio.org.mx Fuente de Internet	<1 %
68	Submitted to Universidad Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
69	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

70	opac.unellez.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
71	repositorio.cientifica.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
72	repositorio.ups.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
73	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
74	revistas.unne.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
75	www.bibliotecadigital.ufrgs.br Fuente de Internet	<1 %
76	www.hindawi.com Fuente de Internet	<1 %
77	www.theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
78	Rodas Zavala Karla María. "Factibilidad del empleo de una lámina de riego menor en el Valle de Tula para disminuir la afectación del suelo y la contaminación del acuífero", TESIUNAM, 2008 Publicación	<1 %
79	archive.org Fuente de Internet	<1 %

dicyt.uajms.edu.bo

80

Fuente de Internet

<1 %

81

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

82

dspace.unl.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

83

repositorio.une.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

84

www.scielo.cl

Fuente de Internet

<1 %

85

(Carlinda Leite and Miguel Zabalza). "Ensino superior: inovação e qualidade na docência", Repositório Aberto da Universidade do Porto, 2012.

Publicación

<1 %

86

Garrido Oropeza Luis Antonio. "Influencia del sorgo (*sorghum bicolor* (L.) moench), con abono y o el fertilizante químico sobre la alteración de un tepetate", TESIUNAM, 2015

Publicación

<1 %

87

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1 %

88

dspace.ucacue.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

89

journals.ashs.org

Fuente de Internet

<1 %

90

repositorio.uroosevelt.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

91

Aviles Junco Carolina. "Cultivo de girasol, helianthus annuus l., en tepetate fragmentado adicionado con enmiendas orgánicas e inorgánicas", TESIUNAM, 2013

Publicación

<1 %

92

Sandeep K. Malyan, Smita S. Kumar, Ram Kishor Fagodiya, Pooja Ghosh, Amit Kumar, Rajesh Singh, Lakhveer Singh. "Biochar for environmental sustainability in the energy-water-agroecosystem nexus", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021

Publicación

<1 %

93

it.player.fm

Fuente de Internet

<1 %

94

medialibrary.climatecentral.org

Fuente de Internet

<1 %

95

www.inforegion.pe

Fuente de Internet

<1 %

96

Ortiz Salinas Rutilio. "Identificación de fuentes contaminantes de hidrocarburos en suelos en la Venta-Tabasco, Mexico", TESIUNAM, 2007

Publicación

<1 %

97	Submitted to University of Minnesota System Trabajo del estudiante	<1 %
98	biblioteca.uajms.edu.bo Fuente de Internet	<1 %
99	Domínguez Bernal Beyibet. "Levantamiento nutricional en Abies religiosa a lo largo de un ciclo anual en el Parque Nacional Izta-Popo", TESIUNAM, 2011 Publicación	<1 %
100	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
101	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
102	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	<1 %
103	Submitted to tec Trabajo del estudiante	<1 %
104	handwiki.org Fuente de Internet	<1 %
105	itp.edu.co Fuente de Internet	<1 %
106	link.springer.com Fuente de Internet	<1 %

107	Fuente de Internet	<1 %
108	repositorio.ulasamericas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
109	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
110	www.mineduc.gob.gt Fuente de Internet	<1 %
111	Paz Elizalde Yesenia. "Evaluación de la calidad de siete suelos artificiales por medio de rasgos funcionales y la productividad de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)", TESIUNAM, 2021 Publicación	<1 %
112	SRK CONSULTING (PERU) S.A.. "DIA del Proyecto Planta de Pirólisis para la Revalorización de NFU-IGA0004033", R.D. N° 00009-2020-SENACE-PE/DEIN, 2021 Publicación	<1 %
113	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	<1 %
114	www.cnn.com Fuente de Internet	<1 %
115	www.scielo.br Fuente de Internet	<1 %
116	archives.ceped.org Fuente de Internet	<1 %

<1 %

117 helvia.uco.es
Fuente de Internet

<1 %

118 patents.google.com
Fuente de Internet

<1 %

119 qdoc.tips
Fuente de Internet

<1 %

120 repositorio.unasam.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

121 repositorio.unp.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

122 revistanefrologia.org
Fuente de Internet

<1 %

123 rio.upo.es
Fuente de Internet

<1 %

124 tesis.ucsm.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

125 www.colombiajoven.gov.co
Fuente de Internet

<1 %

126 www.cverdad.org.pe
Fuente de Internet

<1 %

127 www.investigobiblioteca.uvigo.es
Fuente de Internet

<1 %

128	www.ksl.com Fuente de Internet	<1 %
129	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1 %
130	www.serida.org Fuente de Internet	<1 %
131	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 2 (1986)", Brill, 1988 Publicación	<1 %
132	Corona Jiménez José Alfonso. "Erosión de suelos agrícolas y pobreza por acceso a la alimentación en México : una aproximación general", TESIUNAM, 2018 Publicación	<1 %
133	Díaz Hernández Imelda Socorro. "Mosaicos de plantas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) para la naturación de azoteas bajo un sistema de riego por goteo", TESIUNAM, 2012 Publicación	<1 %
134	Helena Dvořáčková, Paloma Hueso González, Jaroslav Záhora, RS Ruiz Sinoga. "El efecto de los polímeros absorbentes en la actividad microbologica del suelo bajo condiciones mediterráneas", Revista MVZ Córdoba, 2018 Publicación	<1 %

135	Hernández González Jonathan. "Alternativas de desarrollo para la zona urbana de Teziutlán, Puebla : transformadora de maíz para obtener alimento balanceado para ganado bovino", TESIUNAM, 2011 Publicación	<1 %
136	Zermeño Hernández Isela Edith. "Regeneración natural de selvas húmedas en paisajes agropecuarios", TESIUNAM, 2017 Publicación	<1 %
137	cienciasdse.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
138	contentdev.sierraclub.org Fuente de Internet	<1 %
139	descubridor.umad.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
140	doczz.net Fuente de Internet	<1 %
141	olca.cl Fuente de Internet	<1 %
142	repositorio.uea.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
143	revactamedica.sld.cu Fuente de Internet	<1 %
144	revistas.uach.cl Fuente de Internet	<1 %

145	sistema.editoraartemis.com.br Fuente de Internet	<1 %
146	www.frontiersin.org Fuente de Internet	<1 %
147	www.homedepot.com Fuente de Internet	<1 %
148	www.inia.cl Fuente de Internet	<1 %
149	www.un.org Fuente de Internet	<1 %
150	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
151	7cfe.congresoforestal.es Fuente de Internet	<1 %
152	Durán Medina Elvira. "Estructura, diversidad y mortalidad del componente arboreo en un mosaico ambiental de Chamela, Mexico", TESIUNAM, 2004 Publicación	<1 %
153	Escalante Hidalgo Silvana. "Calidad del suelo y diversidad vegetal en milpas en Tlazala, Estado de México : percepción de diferentes sistemas de manejo", TESIUNAM, 2017 Publicación	<1 %

154	Mario Paz A, John Meneses R, Jorge López M. "Digestibility of diets with flour fish silage for the growing of arawana (<i>Osteoglossum bicirrhossum</i>)", Revista MVZ Córdoba, 2016 Publicación	<1 %
155	Montaño Arias Noé Manuel. "Efecto del carbono orgánico sobre la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en el suelo de un ecosistema tropical estacional mexicano", TESIUNAM, 2008 Publicación	<1 %
156	Rivera Ambriz Aldo. "Construcción de tecnosuelos a partir de distintos residuos y su uso potencial en la restauración ecológica", TESIUNAM, 2022 Publicación	<1 %
157	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
158	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
159	examplum.com Fuente de Internet	<1 %
160	futur.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
161	informatica.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

162	inifapcirpac.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
163	moam.info Fuente de Internet	<1 %
164	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	<1 %
165	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
166	repositorio.ufpb.br Fuente de Internet	<1 %
167	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
168	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
169	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
170	www.ambientum.com Fuente de Internet	<1 %
171	www.binmeibio-es.com Fuente de Internet	<1 %
172	www.cienciaperu.org Fuente de Internet	<1 %
173	www.drclas.harvard.edu Fuente de Internet	<1 %

174	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
175	www.fontagro.org Fuente de Internet	<1 %
176	www.soilwaterconservation.es Fuente de Internet	<1 %
177	Jhusua David Reina García, Sergio David Parra González. "Germinación de semillas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>), papaya (<i>Carica papaya</i> L.) y maracuyá (<i>Passiflora edulis</i>) utilizando sustratos orgánicos", Revista Sistemas de Producción Agroecológicos, 2018 Publicación	<1 %
178	Yushu Xia, Michelle Wander. "Evaluation of indirect and direct scoring methods to relate biochemical soil quality indicators to ecosystem services", Soil Science Society of America Journal, 2021 Publicación	<1 %
179	repositorio.unan.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
180	www.sabiia.cnptia.embrapa.br Fuente de Internet	<1 %
181	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 4 (1988)", Brill, 1991 Publicación	<1 %

182 Nava Arsola Nadia Edith. "Respuesta microbiana a la adición de enmiendas orgánicas en sustratos ácidos derivados de actividad minera", TESIUNAM, 2018 <1 %
Publicación

183 Vallejo Carreón Sergio Iván. "Evaluación del efecto de dos sustratos orgánicos adicionados con zeolita en la emergencia, establecimiento y vigor de tres especies de hortalizas", TESIUNAM, 2017 <1 %
Publicación

184 dspace.ucuenca.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

185 www.cienciadedatos.net <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han contribuido de manera directa e indirecta en la realización de esta tesis. En primer lugar, agradezco a mi asesora de tesis, Mg. Blga. Verónica Nelly Canales Guerra, por su paciencia, apoyo incondicional y orientación experta durante todo el proceso de investigación. Sin su guía, esta investigación no habría sido posible. A la Universidad Continental por brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesional.

A mis padres, Orlando y Aydee, por el sacrificio para darme la oportunidad de seguir una carrera profesional, su apoyo incondicional hace posible cumplir una de mis metas trazadas.

A mi pareja por su comprensión y apoyo viviendo conmigo cada logro, a mi hija Illary Valery por ser mi motivo para seguir adelante y mis hermanos que me dieron el apoyo emocional para seguir adelante y culminar este proyecto.

DEDICATORIA

A papá y mamá sobre todas las cosas por los sacrificios realizados confiando en mí, al darme ese apoyo incondicional Orlando y Aydee.

A mi abuelo, Glicerio Honorato por ser un ejemplo a seguir, un gran hombre y padre para sus hijos, porque siempre estarás cuidando de la familia.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	12
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Formulación del problema.....	13
1.2.1 Problema general.....	13
1.2.2 Problema específico	14
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificación e importancia.....	14
1.4.1 Justificación académica	14
1.4.2 Justificación ambiental	15
1.4.3 Justificación económica	15
1.4.4 Justificación metodológica	15
1.5 Limitaciones de la presente investigación	16
1.6 Hipótesis y descripción de variables.....	16
1.6.1 Hipótesis general	16
1.6.2 Hipótesis nula.....	16
1.6.3 Hipótesis alterna.....	16

1.6.4	Hipótesis específicas	16
1.6.5	Variables	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		18
2.1	Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1	Antecedentes internacionales	18
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	21
2.1.3	Bases teóricas	23
2.1.3.1	La degradación de los suelos	23
2.1.3.2	Indicadores de la calidad del suelo	24
2.1.3.3	Biochar	25
2.1.3.3.1	Historia y origen	25
2.1.3.3.2	Definición.....	26
2.1.3.3.3	Características y el potencial	26
2.1.3.3.4	Propiedades	26
2.1.3.3.5	Biomasa para la producción del biochar	27
2.1.3.4	Biochar en el suelo	28
2.2	Definición de términos básicos	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		31
3.1	Método, tipo y alcance de la investigación.....	31
3.1.1	Método	31
3.1.2	Tipo de investigación	31
3.1.3	Alcance de la investigación	31
3.1.4	Diseño de la investigación.....	31
3.2	Materiales y métodos	32
3.2.1	Descripción del área de estudio	32
3.2.1.1	Ubicación e identificación de la zona de estudio	32
3.2.1.2	Contexto social de la provincia de la mar	33

3.2.1.3	Delimitación de los suelos degradados en el distrito de Anco	34
3.2.2	Población.....	34
3.2.3	Muestra	34
3.2.4	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	34
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		44
4.1	Presentación de resultados.....	44
4.1.1	Resultado de la influencia del biochar en los parámetros químicos	44
4.2	Discusión de resultados	54
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES		57
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES		58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		59
ANEXOS		65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores físicos y químicos (27).....	25
Tabla 2. Propiedades del biochar producido a partir de diversas materias primas (15).....	27
Tabla 3. Diseño experimental factorial de dos factores.	32
Tabla 4. Coordenadas de los puntos muestreados.....	36
Tabla 5. Proporción de tratamiento.	40
Tabla 6. Análisis químico de los parámetros a evaluar.....	42
Tabla 7. Resultado de cada tratamiento para los parámetros químicos.	44
Tabla 8. Valor P de los parámetros químicos.	46
Tabla 9. Análisis de varianza para los parámetros químicos.	46
Tabla 10. Análisis de varianza para tratamientos. Concentración de P en el suelo.....	49
Tabla 11. Método de comparación múltiple de Duncan de dosis para P. y una confianza de 95%	50
Tabla 12. Tabla de diferencias significativas entre los tratamientos.	50
Tabla 13. Análisis de varianza para tratamientos. Concentración de P en el suelo.....	51
Tabla 14. Método de comparación múltiple de Duncan de dosis para K. y una confianza de 95%	51
Tabla 15. Tabla de diferencias significativas entre los tratamientos.	51
Tabla 16. Análisis de varianza para tratamientos. Concentración de pH en el suelo	53
Tabla 17. Método de comparación múltiple de Duncan de dosis para el pH y una confianza de 95%.....	53
Tabla 18. Cálculo de las diferencias entre las medias de cada par de grupos.	53
Tabla 19. Tabla de diferencias significativas entre los tratamientos.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Una variedad de efectos causados por el biochar (31).....	28
Figura 2. Efectos del biochar sobre el suelo(11).	29
Figura 3. Ubicación departamental y provincial de la zona del proyecto.	33
Figura 4. Mapa de uso actual del suelo, de la provincia de La Mar.....	35
Figura 5. Ubicación de los puntos muestreados en la localidad de Puerto Naranjal, del distrito de Anco – La Mar.	35
Figura 6. Forma de muestreo en V para suelos agrícolas. (49).....	37
Figura 7. Proceso de muestreo, A) Limpieza del punto de muestreo, B) Excavación para la muestra de suelo, C) Movimiento del suelo para el muestreo, D) Perfilado del punto de muestreo, E) Diseño en V para el muestreo de suelo y F) Recolección de la muestra en bolsas y acopio en costales para el traslado de las muestras.	38
Figura 8. Proceso de cuarteado, A) Cuarteado de las muestras y B) Empaquetado del suelo agrícola en bolsa hermética para ser llevado al laboratorio.....	38
Figura 9. Características del biochar adquirido, ficha técnica.	39
Figura 10. Tratamiento del biochar, A) Triturado y tamizado del biochar, C) Pesado y empaquetado del biochar en bolsas herméticas para ser mezclados.	39
Figura 11. Materiales usados para los tratamientos, pala de jardín, bolsa hermética, balanza de 5kg y un atomizador con un embace.....	40
Figura 12. Proceso de mezclado de los tratamientos, A) Mezclado del biochar y el suelo agrícola, B) Humectación de los tratamientos y C) aireación de los tratamientos.....	41
Figura 13. Etiquetado de cada tratamiento.	41
Figura 14. Proceso de humectación y aireación de los tratamientos.....	42
Figura 15. Muestras que se enviaron al laboratorio.....	42
Figura 16. Tabla de normalidad para los parámetros químicos.	45
Figura 17. Gráfico de los parámetros con tendencia decreciente con los tratamientos. A) Conductividad Eléctrica, B) Materia Orgánica, C) Nitrógeno disponible, D) Fosforo disponible, E) Potasio disponible.	48
Figura 18. Gráfica de los parámetros con tendencia de crecimiento con los tratamientos, para los parámetros. A) pH, B) Capacidad de intercambio catiónico.	52

RESUMEN

En la actualidad las diversas actividades antropogénicas como la agricultura intensiva generan cambios en el ecosistema, siendo uno de ellos la pérdida de la calidad del suelo como consecuencia de esta actividad. En la provincia de La Mar, se tienen altos índices de degradación del suelo por las diversas actividades agrícolas, para lo cual se necesitan medidas de mitigación. La presente investigación se desarrolló bajo condiciones de invernadero y tuvo como objetivo, determinar la influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho, mediante la medición de parámetros químicos. La metodología utilizada para el estudio fue un diseño experimental, donde se seleccionó el área para los muestreos de suelo en Puerto Naranjal, en el distrito de Anco, provincia La Mar. El biochar se adquirió de una comercializadora y se obtuvo mediante pirolisis en condiciones anóxicas. Se aplicó en diferentes tratamientos (10%, 30% y 50%) con dos repeticiones en un período de 30 días bajo condiciones de invernadero. Los resultados obtenidos para los parámetros químicos revelaron una diferencia significativa, concluyendo que se encontraron efectos significativos en los parámetros de pH, P y K, mientras que no se encontraron diferencias significativas en la conductividad eléctrica, materia orgánica, N y la capacidad de intercambio catiónico.

Palabras claves: suelo degradado, biochar.

ABSTRACT

Currently, various anthropogenic activities such as intensive agriculture generate changes in the ecosystem, one of which is the loss of soil quality as a result of this activity. In the province of La Mar, there are high rates of soil degradation due to various agricultural activities, for which mitigation measures are needed. This research was carried out under greenhouse conditions and aimed to determine the influence of biochar on degraded agricultural soils in the Province of La Mar - Ayacucho, through the measurement of chemical parameters. The methodology used for the study was an experimental design, where the area for soil sampling was selected in Puerto Naranjal, in the district of Anco, province of La Mar. The biochar was purchased from a trader and obtained through pyrolysis under anaerobic conditions. It was applied in different treatments (10%, 30% and 50%) with two replicates over a 30-day period under greenhouse conditions. The results obtained for the chemical parameters revealed a significant difference, concluding that significant effects were found in the pH, P and K parameters, while no significant differences were found in electrical conductivity, organic matter, N and cation exchange capacity.

Keywords: Degraded soil, biochar.

INTRODUCCIÓN

Las acciones humanas en la tierra pueden tener graves consecuencias en los ecosistemas y su biodiversidad si no se llevan a cabo de manera responsable. En suelos donde aún no hay intervención humana, la agricultura intensiva puede causar la pérdida y degradación de la materia orgánica y aumentar la acidez del suelo, según lo informado por la FAO. Se estima que un tercio del suelo mundial está degradado en un nivel moderado a alto, entre mil y seis mil millones de hectáreas de tierra degradadas, las causas son el cambio climático, la deforestación, la agricultura intensiva y las actividades industriales que han acelerado la pérdida de los suelos en casi todos los países del mundo (1).

En el Perú la pérdida de los suelos se da a causa de las actividades humanas y la variación climática, dentro de estas actividades podemos destacar, la tala indiscriminada, la erosión, la actividad ganadera y la agricultura intensiva. Estas actividades varían según las condiciones geográficas del territorio, siendo así que en la costa se tiene problemas de salinización, relaves mineros, la erosión eólica e hidráulica como los principales causantes de la contaminación del suelo, mientras que en la sierra se da por el sobrepastoreo, contaminación y la erosión tanto hídrica como eólica, y por último en la selva se da por la erosión hídrica, deforestación y agricultura intensiva (2).

El suelo es el segundo depósito de carbono después del océano, la recuperación de estos ecosistemas es esencial para el planeta, ya que ayudan a mitigar el cambio climático y adaptarnos, la FAO calcula que las explotaciones agrarias orgánicas, reducen entre 48 % a 66% las emisiones de CO₂ por hectárea, comparado con las explotaciones convencionales (3).

Ante esta situación, la necesidad de buscar alternativas de mitigación y reaprovechamiento de los residuos nos lleva a la evaluación del biochar, permitiendo el desarrollo de nuevas alternativas de recuperación de los suelos, con una línea de investigación fundamental para contribuir a la mejora de la calidad del suelo.

En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo determinar la influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar–Ayacucho, la contribución de este trabajo se centra en mejorar y enriquecer las bases de la investigación sobre la influencia del biochar en la recuperación de los suelos agrícolas, de forma que sirva como base para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del problema

+El suelo está compuesto por diversos elementos químicos en diferentes proporciones, estos elementos al encontrarse en concentraciones muy altas, pueden alterar la calidad del suelo, ya que no son biodegradables, este tipo de contaminación son cada vez más reportados a nivel mundial. Afectando directamente la función del suelo y presentan un gran riesgo para la salud, por ello se ha prestado cada vez más atención a la aplicación y desarrollo de medidas sostenibles para controlar la contaminación del suelo y mitigar los riesgos(4).

En la India, la producción del sistema convencional en la agricultura, requiere mayor insumo en términos económicos, este laboreo convencional genera el agotamiento del carbono orgánico en el suelo y por consiguiente el deterioro de la calidad del suelo, en el proceso de cultivo arroz y el trigo los residuos de cosecha del trigo se utilizan como forraje, mientras que los residuos de arroz son quemados al aire libre perdiendo carbono orgánico y nutrientes esenciales, esta práctica genera el deterioro del suelo (5).

Las diversas actividades como la agricultura y la ganadería se han expandido a zonas nuevas sin ninguna planificación, deforestando grandes extensiones de terreno y arrasando consigo ecosistemas como: región de pastos, bosques y regiones tropicales. En México las tierras agrícolas presentan una degradación en más del 80%, esto como consecuencia de los monocultivos, actividades ganaderas y la deforestación, fuentes indican que alrededor del 97% de los suelos de México son vulnerables al proceso de desertificación, esto afecta principalmente a las zonas áridas y semiáridas, otras investigaciones confirman que el cambio del uso de los suelos, ha intensificado la degradación del suelo(6).

En Brasil, la frontera agrícola se caracterizó por los rápidos cambios de uso del suelo, estos cambios de la vegetación nativa a sistemas agrícolas intensivas y mecanizadas han dado lugar a la pérdida de los suelos, afectando a la dinámica del agua – suelo, esta degradación física del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes, agua, dinámica de la materia orgánica y el intercambio de gases(7).

Los impactos que principalmente se tiene en el país son: la reducción de la capacidad productiva del suelo y la degradación de la biodiversidad en los campos. Las consecuencias más visibles son la reducción de la producción de alimentos debido a la pérdida de la fertilidad, biodiversidad y

otras consecuencias, estas son asociados con la pobreza porque sin una buena calidad del suelo la humanidad no tiene la base para su desarrollo. Esto afecta principalmente a los agricultores más pobres ya que son ajenos al propio Estado (8).

En Apurímac, el cultivo intensivo de la papa, como monocultivo en la localidad de Potreropampa en el distrito de José María Arguedas, causó daños a la calidad del suelo, obteniendo resultados bajos de P, N, y cantidades altas de K, con estos resultados el autor indica que los suelos están siendo afectados por el monocultivo. Esto se da principalmente por las malas prácticas y el uso indiscriminado de diversos agroquímicos y pesticidas, todo esto con el único fin de obtener un incremento de la producción (9).

Las principales alteraciones que se tiene en la zona de estudio son: la erosión, compactación, desertificación, degradación de la estructura físico-químico y la pérdida de organismos del suelo. El uso de agroquímicos en la zona de estudio es una de los factores de alteración de los suelos, ya que se tiene en la zona del VRAEM el uso de agroquímicos como son: a) herbicidas; como aminacrys y sanamina en el cultivo de cacao, bazuka y herbosato en el cultivo de café y embate, fuego, glifoklin, sanfosato en el cultivo de coca. b) insecticidas; betabaytroide en los cultivos de cacao y café, seguido del nalat en el cultivo de coca. c) fungicidas; como consento en el cultivo de cacao, champion en el cultivo de café y fitoklin en el cultivo de coca, en este cultivo se tiene mayor demanda de agroquímicos; herbicidas (154.62 lt), insecticida (106.11 lt), fungicidas (13.16 kg) y fertilizante (45 599.49 kg), como menciona (20), otro de los problemas en la zona de estudio es el uso extensivo del suelo sin un cambio tecnológico y sin un adecuado periodo de descanso, que posibilite la regeneración de la fertilidad natural del suelo los cultivos en la zona de estudio principalmente son la coca, cacao y por último café, una vez que el suelo deja de producir las tierras son introducidas con agroquímicos que dañan las propiedades del suelo, resultando en un par de años en el abandono del predio y a continuación deforestan otro terreno para iniciar otro ciclo productivo(10).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ❖ ¿Cuál es la influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho, 2021?

1.2.2 Problema específico

- ❖ ¿Cuál es la influencia del biochar en los parámetros químicos: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, N, P, K y capacidad de intercambio catiónico, de los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho, 2021?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- ❖ Determinar la influencia del biochar en los suelos agrícolas degradado de la provincia de La Mar – Ayacucho, 2021

1.3.2 Objetivos específicos

- ❖ Determinar la influencia del biochar en los parámetros químicos: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, N, P, K y capacidad de intercambio catiónico de los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho, 2021.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación académica

La degradación del suelo mediante la actividad agrícola es un problema latente que ha generado efectos drásticos y severos, este problema está llevando a que se desarrollen nuevas tecnologías para la remediación y recuperación.

Esta investigación tiene como objetivo llenar este vacío de conocimiento, y proporcionar una evaluación rigurosa de la influencia del biochar en la restauración de suelos degradados.

Los efectos del biochar aplicado a los suelos agrícolas degradados apoyarán a nuevos modelos teóricos y prácticos, para la restauración de la calidad del suelo, ya que es un tema de mucha importancia para los profesionales, puesto que en el Perú existe una gran cantidad de suelos degradados.

1.4.2 Justificación ambiental

La degradación del suelo es uno de los principales problemas ambientales a nivel global, con consecuencias significativas para la productividad agrícola, la seguridad alimentaria, la biodiversidad y el cambio climático. El uso de biochar, una forma de carbón producido por la pirólisis de materia orgánica, se ha propuesto como una estrategia para mitigar la degradación del suelo y mejorar su calidad.

Sin embargo, aún hay muchas preguntas abiertas sobre la efectividad del biochar en la restauración de suelos degradados y su potencial para mitigar la degradación del suelo a nivel global y local.

En conclusión, esta investigación es relevante ya que contribuye al conocimiento científico sobre la influencia del biochar en la restauración de suelos degradados, y proporciona información valiosa para la implementación de políticas públicas y prácticas agrícolas sostenibles.

1.4.3 Justificación económica

El mejoramiento del suelo agrícola en el distrito de Anco, mediante el uso de biochar como enmienda orgánica, es una alternativa accesible para la población y de bajo costo, en la que los agricultores podrán emplearlo de manera sencilla sin generar costos en su capital agrícola.

El uso de biochar generará el aumento de la producción mediante los beneficios que esta tiene en los suelos así mismo mejorará la retención de humedad en el suelo y generará productos de buena calidad.

1.4.4 Justificación metodológica

En la presente investigación se empleó un aspecto metodológico con un enfoque cuantitativo, se tuvo variables independientes como el porcentaje de biochar y variables dependientes como los parámetros químicos en la que se pudo valorar el efecto del biochar en suelo agrícola degradada, mediante métodos de medición en laboratorio de las propiedades químicas de los tratamientos desarrollados.

El diseño de la investigación es experimental de modo completo al azar el cual implica la asignación aleatoria de tratamientos a un subconjunto de grupos.

Las técnicas usadas fueron la observación y el análisis de resultados que permitieron analizar las variables, la población lo conformaron los suelos del distrito de Anco y la muestra estuvo extraída de acuerdo a las normas actuales para su posterior tratamiento.

1.5 Limitaciones de la presente investigación

La presente investigación no presenta información o antecedentes a nivel local, ya que en la región de Ayacucho no se ha aplicado el biochar en suelos agrícolas degradados, así como también para su biorremediación en los diversos recursos como son el agua, el suelo y otros, gran parte de la información será proveniente de la información obtenida en las diversas muestras que se realizaran en el proyecto.

El contexto es una limitante ya que la zona del VRAEM, es una zona geopolítica con alta presencia de coca, siendo una zona hostil por la presencia de remanentes de grupos subversivos y narcotraficantes, la poca presencia del estado en la mayoría de estas zonas en donde se extrajo las muestras de suelo, pertenecen al área de influencia directa del VRAEM.

1.6 Hipótesis y descripción de variables

1.6.1 Hipótesis general

H₁: La influencia del biochar es significativa en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar- Ayacucho, 2021, es significativa.

1.6.2 Hipótesis nula

H₀: No existe influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho.

1.6.3 Hipótesis alterna

H_a: Existe influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho, 2021.

1.6.4 Hipótesis específicas

- La influencia del biochar es significativa en los parámetros químicos: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, N, P, K y capacidad de intercambio catiónico,

en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho, 2021, es significativa.

1.6.5 Variables

- Variable independiente

Biochar

- Dimensión : Porcentaje de biochar
- Indicador : Dosis (%)
 - Dosis de 10%, 30% y 50%

- Variable dependiente

Suelo agrícola

- Dimensión : Parámetros químicos
- Indicador :
 - pH
 - CE : mS/cm
 - MO : %
 - N : mg/kg
 - P : mg/kg
 - K : mg/kg
 - CIC : m eq/100g

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la tesis doctoral (11), cuyo objetivo principal de la investigación fue evaluar la influencia de los efectos del suministro del biochar sobre las diversas características del suelo y sus implicancias en el crecimiento de la producción vegetal; los resultados obtenidos se relaciona con las características de los biochars que varían según el material de partida o procedencia con la que se va a trabajar, en la mayoría tiene un pH alcalino, alto contenido de C y bajo contenido de nutrientes. Pero, en general, la adición de biochar redujo la densidad aparente y la compactación del suelo, aumentando la capacidad de retención hídrica. También encontró que la adición del biochar, tiene un gran efecto sobre la influencia de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, generando un aumentó en la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio, magnesio y reduciendo la del nitrógeno.

En la tesis doctoral (12), donde se tuvo como objetivo, analizar los efectos de la adición de modificadores y su combinación con técnicas de fitoextracción, sobre las propiedades fisicoquímicas, biológicas del suelo minero de España, planteó como objetivos específicos la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los suelos. En donde se concluyó que a lo largo de los experimentos mejoraron las propiedades biológicas de los suelos. También se concluyó que, en los suelos ácidos, la adición del biochar aumentó los valores por encima de la neutralidad. También encontró que a mayor temperatura de pirolisis menor microbiota asociado al suelo, igualmente concluyó que la concentración de metales totales en el suelo disminuyó.

En la investigación (13), en donde el objetivo fue evaluar el efecto de la adición de diferentes proporciones de biochar sobre el fósforo, ya que el fósforo es una de las principales fuentes de nutrientes para las plantas, la aplicación de diferentes fertilizantes fosfatados en los suelos ácidos hace que se formen compuestos secundarios que reduce la efectividad de los fertilizantes. El uso del biochar puede tener efectos para enmendar el suelo por dosis diferentes, también el autor examinó el efecto de los tratamientos de contacto suelo/biocarbón en comparación con el suelo normal. La metodología usada por el autor fue la recolección de muestras en el “Centro Agrícola Marengo”, en la que recolectó 20 submuestras en un área de 1.0 ha una profundidad de 0.20 cm. (en un patrón de muestro en zig-zag en toda el área), para el análisis de fósforo (P) determinó mediante espectrofotometría, utilizando el método de molibdeno azul. En donde concluyó que la adición del biocarbón aumentó la concentración de fósforo en un 35% hasta un

38% después de los 30 días de tratamiento, el biochar induce cambios en las propiedades del suelo de retención de fósforo, para ser beneficiosos en los suelos agrícolas. Los resultados también muestran que el biochar, especialmente al 20 y 35%, conduce a cambios en las propiedades del suelo que pueden ser beneficiosas para los suelos agrícolas, el autor concluye que el biochar, puede mejorar la disponibilidad de fósforo en los suelos agrícolas ya que la presencia de biochar favorece a la liberación lento de fertilizantes fosfatadas en las soluciones del suelo.

En la tesis doctoral (14), en la cual el objetivo general fue encontrar alternativas económicas para el aprovechamiento de residuos de podas o enmienda de suelos, para mejorar el rendimiento y calidad del producto maderero, uno de los objetivos específicos fue estimar el efecto del biochar en las propiedades fisicoquímicas en el suelo agrícola, para lo cual el método usado fue establecer el diseño donde evaluó 9 tratamientos con 3 repeticiones y tres materiales los cuales fueron, tratamiento 01 biochar con dosis de 0, 40 y 80%, tratamiento 02 fertilizante. Tratamiento 03 biochar más fertilizante, el autor tomo 27 muestras de suelo agrícola, mediante el método de rejilla rígida a una profundidad de 20 cm, de la cual procedió a mezclarlas para analizar las diferentes propiedades, el autor realizó ensayos en invernaderos y campo donde se evaluaron las variables físicas, químicas y biológicas del sustrato, para evaluar el efecto del biochar. Los ensayos los realizó en macetas con dosis de aplicación de 0%, 50% y 100%, en la que obtuvieron los siguientes resultados, en las propiedades físicas se mejoró la retención del agua, el autor menciona que podría aliviar el estrés de las plantas, por sequía en los suelos arenosos, en las propiedades químicas, se mejoró el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes como el N, K, P y Ca mayor al 30% y el carbono orgánico con la adición del biochar en el suelo, el autor menciona que la incorporación de estos residuos es viable, siendo una alternativa ambiental y económica, en el agroecosistema rescato los manejos ancestrales del suelo, que fueron exitosos en ecosistemas frágiles como es el caso de los suelos del trópico.

En la investigación (15), donde el objetivo fue destacar los avances con respecto al uso del biochar en el manejo de los suelos empobrecidos en nutrientes y contaminados por metales, para aumentar la sostenibilidad agrícola y ambiental. En donde destaca que el biochar es un material sensible y robusto para mejorar la fertilidad del suelo y mitigar el cambio climático. Las propiedades de esta dependen del tipo de materia prima, temperatura de pirolisis, el tiempo y otros factores. El uso del biochar puede mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, donde esta puede generar un mayor crecimiento y productividad en los cultivos, así como

en suelos contaminados o con presencia de metales pesados, el biochar permanece inalterado en el suelo durante mucho tiempo, contribuyó a la mitigación del cambio climático, mejora en la retención de los minerales y la retención del carbono orgánico. El autor menciona que las características del biochar depende del material de procedencia y el proceso pirolítico a usar, se puede producir de algún material que contenga carbono como madera, leña, productos de fermentación, residuos agrícolas y otros materiales procedentes de la biomasa. El uso del biochar por sus características puede servir como material eficiente para mejorar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo y su posterior rendimiento, como también en la adsorción de metales pesados y diversos contaminantes. El biochar actúa como un acondicionador del suelo, teniendo un impacto significativo en el carbono orgánico, la porosidad del suelo, la densidad aparente, el pH, la CIC, mejora la disponibilidad de nutrientes como son el N, P, K, Ca y Mg, también disminuye la lixiviación de los nutrientes y la liberación del óxido nitroso a la atmósfera. El autor concluye que el biochar es un material rico en carbono, teniendo un gran potencial para ser utilizado como remediación y mejorador de la fertilidad del suelo, por último, el autor recomienda que el biochar podría mejorar los procesos de remediación y revegetación de los suelos empobrecidos por nutrientes.

En la tesis (16), en esta investigación el objetivo general es valorar la calidad del suelo mediante la aplicación del biochar acícula de (*Pinus Patula*) para incrementar la biomasa vegetal, uno de sus objetivos específicos fue determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo antes y después de la aplicación del biochar, la metodología usada fue realizar muestras al azar para el análisis respectivo, donde se llevó a cabo el proceso de pirolisado para la obtención del biochar, construcción de las camas para los tratamientos con gallinaza, biochar, eco abonaza y testigo. En donde obtuvo los siguientes resultados, para el biochar se tuvo altas concentración de N, P, K con respecto a los otros tratamientos obteniendo de estos análisis un abono rico en nutrientes y con un pH óptimo para equilibrar los suelos ácidos. Concluye que el biochar fue el mejor tratamiento en comparación con los demás tratamientos, esto debido a la mejora en el pH y los nutrientes como son el N y P.

En la tesis (17), donde su objetivo general fue analizar la producción de biochar como enmienda del suelo en diversos municipios, y uno de sus objetivos específicos fue analizar el uso del biochar en las propiedades físicas y químicas del suelo, la metodología usada fue seleccionar el área de estudio, donde realizó los muestreos del suelo a una profundidad de 25cm, para luego definir las áreas experimentales divididas en 8 parcelas con diferentes tratamientos de biochar, como: gallinaza, fertilizantes y control. Los resultados mostraron que para las propiedades

químicas del suelo no hubo diferencias significativas, en tanto para la materia orgánica, la CIC y el pH se encontró diferencias significativas para el tratamiento con biochar a un valor de 7,4. También encontró que el biochar tiene la capacidad de retener el nitrógeno y hacerlo disponible para las plantas, concluye que el biochar mejoró las propiedades fisicoquímicas del suelo, la disponibilidad de fósforo, nitrógeno y disminuye la densidad aparente.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En la tesis(18), en este proyecto de investigación el autor tiene como objetivo general evaluar el biochar como enmienda orgánica del suelo, en donde la metodología usada fue la preparación del biochar a temperaturas de 400 a 530 °C, para luego ser triturada para su aplicación en concentraciones de: 20, 40, 80 y 120 g de biochar, con suelos agrícola en macetas de 10 kg , en la que evaluó las propiedades físicas y químicas del suelo para luego realizar el análisis estadístico, realizando la caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo en laboratorio, así como otros parámetros. Concluye que la aplicación del biochar en el suelo, genera una mejora en las condiciones de las estructuras del suelo, así mismo genera las condiciones para la rápida asimilación de nutrientes en las plantas, en las características físicas y químicas del suelo no presentaron cambios significativas a corto plazo, esto debido al corto periodo de relación entre el biochar y el suelo agrícola, también señala que los nutrientes de nitrógeno y fósforo en diferentes dosis son superiores al inicial y por último menciona que la aplicación de diferentes tratamientos con biochar, generan efectos positivos en las plantas.

En la investigación(19), tuvo por objetivo evaluar las propiedades físico-químicos de los suelos degradados por el sobrepastoreo, al cual aplicó el biochar de cáscaras de semillas de palma aceitera, en los suelos sobre pastoreados, la metodología que utilizó fue, un diseño de bloques con tres tratamientos de diferentes proporciones de 5, 10, 15 % de biochar, los cuales se llevaron a cabo en el distrito de Yarinacocho, provincia de Coronel Portillo en la región de Ucayali, en la que se realizó pruebas de normalidad para los datos de prueba, para el análisis de biochar se obtuvo valores de; pH (7.85), MO (5.43%), CE (0.72 dS/m), C (55.32 %), N (0.63%), P (0.23%) y K (0.54%), en donde obtuvo los siguientes resultados de la combinación de suelo agrícola y biochar, la aplicación del biochar enriquecido, generaron datos significativos de mejora en las características del contenido de P, K, mientras los resultados para el pH, nitrógeno disponible en el suelo y demás propiedades no fueron significativos, concluye que el tratamiento causó efectos estadísticos positivos en los parámetros de P y K, en cambio no ocurrió lo mismo para el pH, CIC y N. La autora recomendó que se necesitan más estudios para determinar los

beneficios y comportamientos del biochar en el suelo, debido a que sus efectos se ven en un periodo largo de tiempo.

En la tesis (20), en el cual su objetivo fue evaluar la capacidad remediadora del biochar en la mejora de las características del suelo, degradado por la agricultura en la región de Ucayali, donde uno de sus objetivos específicos fue determinar la capacidad remediadora en el mejoramiento del suelo, la investigación se llevó a cabo en un invernadero donde se utilizó materiales y equipos para su desarrollo, la muestra recolectada por el investigador se realizó mediante la toma de muestras aleatorias a una profundidad de 20 cm, de la cual recolectó 75 kg de suelo, la investigación se llevó bajo condiciones de invernadero en 11 tratamientos con concentraciones de biochar de 0% a 25% en peso, en donde los resultados para los parámetros físicoquímicos, como la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos, fueron significativas, para la capacidad de intercambio catiónico en los tratamientos encontró que son significativamente diferentes, para la materia orgánica se observaron diferencias en los tratamientos en donde la concentración más alta se dio con la mayor dosis de biochar, para el nitrógeno total la mayor dosis de biochar generó concentraciones más altas en el suelo, para el fósforo total se encontró diferencias significativas en todos los tratamientos, en la que la dosis más alta obtuvo mayor concentración de fósforo total, para el potasio total se encontró una diferencia significativa en donde la concentración más altas lo obtuvo con un porcentaje de 20% de biochar, para las propiedades físicas encontró que la textura, no tuvo diferencia significativa. Concluye que los resultados mostraron diferencias significativas en los suelos, en donde la mayor concentración de biochar aumentó los niveles de pH, demostró que el biochar tuvo un papel importante en la alteración del pH y la materia orgánica del suelo, su adición en suelos bajas propiedades y nutrientes permite generar condiciones adecuadas en el suelo.

En la investigación (21), se tuvo por objetivo potenciar la mejora de la productividad agrícola de las tierras degradadas en los trópicos, llevándose a cabo el estudio en las comunidades ribereñas cerca de Iquitos, en donde los campesinos practican la agricultura migratoria. La metodología aplicada fue realizar entrevistas y analizar los suelos a una profundidad de 15 cm, las muestras para los parámetros de pH, cationes intercambiables, P disponible, N total y C total fueron tamizadas para una mejor representación. Los resultados arrojaron que la adición del biochar y la ceniza mejoraron la fertilidad de los suelos, generando el aumento del contenido de C orgánico entre 7 y 13%, casi tres veces más a las muestras de control, para el P se tuvo un aumento de casi 8 veces y más de 4 veces para el investigador en tanto para el pH fueron significativamente más altos al respecto de sus pares de control, también el autor indica que se

obtuvo la reducción de la acidez, en cambio para la CIC, Na, Fe los datos no fueron estadísticamente significativas. El autor concluye que la incorporación de biochar a suelos antrópicos, genera un suelo rico en nutrientes, es así que los agricultores reconocieron la fertilidad de los suelos en donde se producía el carbón vegetal. Por último, el autor menciona el gran potencial que tiene el biochar para mejorar los suelos y la recuperación de los bosques.

En la tesis (22), en donde el objetivo del autor fue evaluar los efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo luego de la aplicación del biochar, en donde la metodología de la investigación fue la experimentación, observación y explicación de los fenómenos que ocurren en el proceso de investigación, donde el número de tratamientos fueron 4, con dosis de 10%, 15%, 20 % y testigo. En donde los resultados fueron los siguientes, para el pH obtuvo que al 20 % de biochar logró mejores resultados, para la conductividad eléctrica también encontró al 20% mejores resultados, para la materia orgánica no encontró diferencias significativas entre los tratamientos, para el fósforo en el suelo tampoco encontró una diferencia significativa entre los tratamientos, en la textura del suelo no encontró cambios significativos. El autor concluye que el biochar genera cambios positivos en las propiedades físicas y químicas del suelo.

2.1.3 Bases teóricas

2.1.3.1 La degradación de los suelos

La sociedad actual vive en un planeta donde se cultiva en el 38% de la superficie, la producción mundial al mismo tiempo son los principales impulsores de la degradación del suelo y el medio ambiente ya que se genera importantes emisiones de gases de efecto invernadero, la Organización de las Naciones Unidas en su último informe menciona que, los recursos del suelo en el mundo tienen un importante problema ya que se encuentran en condiciones regulares, malas o muy malas las prácticas agrícolas inadecuadas, junto con la deforestación y el pastoreo excesivo son las causas de la erosión del suelo. Desencadenando efectos en los ecosistemas del suelo como la pérdida de los nutrientes, reducción del almacenamiento de carbono y la estabilidad del suelo. La erosión del suelo afecta el ciclo de carbono y de los nutrientes en el suelo (23).

La degradación de los suelos es la disminución de la calidad de este, reduciendo sus funciones y servicios en la que encontramos cuatro tipos de degradación: físico, química, biológico y ecológico. La degradación física implica generalmente la reducción de los atributos estructurales, incluida la geométrica y la continuidad de los poros, lo que genera

la compactación menor infiltración del agua, erosión por los diversos fenómenos naturales que genera mayor propensión a la desertificación. La degradación química se caracteriza principalmente por la acidificación, salinización, disminución de los nutrientes, reducción del CIC, aumento de la toxicidad del aluminio y el manganeso, deficiencias del calcio o magnesio, lixiviación de nutrientes esenciales para los vegetales y la contaminación por desechos industriales. La degradación biológica refleja el agotamiento de la reserva de carbono orgánico del suelo, la degradación de esta propiedad también conduce a la interrupción de los ciclos de los elementos, la infiltración y purificación del agua y la disminución de la productividad (24).

2.1.3.2 Indicadores de la calidad del suelo

Una de las definiciones concisas de la calidad del suelo incluye su “aptitud para el uso” y “la capacidad de un suelo para funcionar”. La calidad del suelo es la capacidad que tiene para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas y su uso para mantener la actividad biológica, la calidad ambiental promoviendo la salud animal y vegetal. Otros lo han definido como la capacidad para mejorar el crecimiento de los cultivos, sin degradar o dañar el medio ambiente. La calidad del suelo se puede evaluar según sus funciones ya que en sí misma no se pueden medir directamente, para lo cual se utilizan las propiedades físicas, químicas y biológicas seleccionados para medir las funciones de la calidad estas propiedades también se denominan indicadores, que son mediciones para representar las condiciones de la capacidad del suelo para realizar las funciones del sistema edáfico, los diferentes indicadores químicos utilizados están relacionados principalmente con las funciones básicas que son: (A) promover la actividad y productividad, (B) filtrar, amortiguar, degradar materiales inorgánicos y orgánicos, controlar (C) regular el flujo de agua y solutos, (D) los ciclos biogeoquímicos y (E) proporcionar la estabilidad física para los animales, las plantas y un soporte para los hábitats humanos (25).

Las diversas condiciones del suelo, varían ampliamente ya que no es posible establecer un valor estándar para todos los suelos, debido a que la calidad del suelo es dinámica y puede cambiar a corto plazo, según el uso de las prácticas de manejo, la evaluación de la calidad permite ayudar a comprender y revertir la degradación de la pérdida de suelos, reducción de la infiltración, compactación, pérdida de nutrientes, cambios en el pH y pérdida de la materia orgánica (26).

Tabla 1.Indicadores físicos y químicos (27)

Característica	Parámetro	Relación con la condición y función del suelo
Químicas	Materia orgánica	Indicador potencial para monitorear la degradación del suelo, la erosividad, mejorar la capacidad de retención del agua, mejorar la actividad biológica y diversidad.
	pH	Define la actividad del crecimiento microbiano y la actividad química y biológica
	P	Indicador de la fertilidad causa cambios en la comunidad microbiana.
	N	Indicador de la fertilidad del suelo
	K	Es un indicador potencial de la fertilidad del suelo al afectar la fijación de nitrógeno y aumentar la actividad microbiana.
	CIC	Indicador para determinar la capacidad de retención de nutrientes y la fertilidad del suelo.

2.1.3.3 Biochar

2.1.3.3.1 Historia y origen

El biochar tuvo su origen al ser redescubierto los suelos negros de los indios amazónicos de Brasil, descritas como Terra Preta (tierra negra), el autor entiende que estos suelos fueron generados por los indios, con el depósito de materiales orgánicos, generados por la quema de biomasa y otros restos, lo cual dio lugar a suelos con alto contenido de nutrientes, las altas concentraciones de carbón provienen principalmente del carbón de cocina y restos de quemados como menciona Glases, 2021. Antes se pensaba que la tierra negra solo se encontraba en la Amazonía, ahora con los nuevos hallazgos, se puede decir que se encuentran en diferentes países como México, África, Estados Unidos, Australia, Alemania y en Japón (28).

2.1.3.3.2 Definición

EL biochar es un producto sólido, que se obtiene mediante la carbonización de la biomasa con contenido de carbono y se desarrolla en un entorno con limitado oxígeno. Este puede añadirse al suelo con la finalidad de mejorar las funciones del suelo y minimizar las emisiones de la biomasa ya que de manera natural la degradación generaría gases de efecto invernadero, definición según The International biochar Initiative (29).

2.1.3.3.3 Características y el potencial

El biochar es un subproducto de la combustión térmica de materia prima las cuales comúnmente son de origen vegetal o animal, como pueden ser troncos de madera, astillas de madera, residuos de cultivos, estiércol de pollo, vaca y otros procesados en ausencia del oxígeno a temperaturas relativamente entre (300-700 °C), tiene un alto contenido de carbono y proporción variable de nutrientes, las condiciones de la pirolisis y las propiedades de las materias primas controlan en gran medida las propiedades físico-químicas (30).

El biochar tiene el potencial y la capacidad de secuestrar el C en forma de carbono sólido en el suelo, permitiendo la utilización de los suelos como receptores para el secuestro de carbono, el dióxido de carbono no es el único gas de efecto invernadero que se puede secuestrar con la adición del biochar, también el óxido nitroso de las materias primas con alto contenido de nitrógeno (31).

2.1.3.3.4 Propiedades

El biochar es un carbono pirogénico negro, obtenido por la pirolisis de la biomasa proveniente de diversos residuos vegetales, el biochar contiene principalmente carbono (C), nitrógeno (N), hidrogeno (H) y Oxígeno (O). el biochar preparado a temperaturas bajas generalmente tiene un pH bajo, alta capacidad de intercambio catiónico. Los beneficios que aporta frecuentemente son: a) secuestro de carbono, b) mejora la fertilidad del suelo, c) inmoviliza los contaminantes, y d) gestión de los residuos (15).

Las propiedades del biochar no dependen solamente del material orgánico de partida, ya que hay otros parámetros como el sistema de pirolisis por el cual se va a elaborar, estos

parámetros influyen en las propiedades, como pueden ser la ceniza, densidad, porosidad, distribución del tamaño de poro, liberación de iones y pH (32).

2.1.3.3.5 Biomasa para la producción del biochar

Para la obtención del biochar se puede utilizar una serie de materias primas y procesos de degradación térmica. Las materias primas potenciales generalmente son los materiales de origen biológico (orgánico) ver tabla 2, como pueden ser el estiércol, residuos de cosechas y biomasa lignocelulósica. Esta última es más usada debido a que es una materia prima generado biológicamente y el más abundante (32).

Tabla 2. Propiedades del biochar producido a partir de diversas materias primas (15)

Materia	Composición elemental %			
	C*	H	N	O
Paja de trigo	40.42	2.76	0.74	23.58
Paja de arroz	42.98	1.54	0.61	8.97
Hoja de aves de corral (350 °C)	25.28	2.10	0.22	27.20
Cáscara de arroz (350 °C)	44.32	4.08	0.78	30.65
Aserrín de pino (350 °C)	52.28	5.17	0.15	30.50
Lodos de papel	36.84	4.18	6.31	16.15
Paja de maíz	66.39	-	-	22.85
Paja de trigo	63.37	-	-	28.7
Cáscara de maní	66.53			24.72
Paja de arroz	55.43	3.22	1.43	39.92
Bagazo de caña de azúcar	61.03	4.02	1.22	33.73
Madera de eucalipto	71.23	2.86	1.03	24.88
Biochar de residuos verdes	69.3	2.7	1.1	-
Cáscaras de nuez	61.07	5.35	0.30	31.87
Mazorcas de maíz	74.63	4.30	0.76	18.82
Tallos de maíz	63.82	4.76	0.73	25.71
Paja de arroz	51.61	4.88	0.85	28.69

2.1.3.4 Biochar en el suelo

Las primeras evidencias del uso del biochar para mejorar el suelo es la “*Terra Preta*”, o comúnmente conocido como *tierra negra india*, descubierto en la Amazonia Occidental, que se puede reconocer por el color oscuro, la alta presencia de carbono y el contenido de nutrientes más altos como son el nitrógeno, potasio, calcio y fósforo y la alta presencia microbiana, esto nos indica que se puede enmendar los suelos pobres, mejorar la salud y fertilidad. La adición de biochar puede mejorar en gran medida el suelo ya que estos necesitan un cierto grado de agregados, sólidos y materia orgánica para tener un medio mejor de cultivos, teniendo efectos positivos en la remediación de la estructura física de los suelos pobres, en suelos muy compactos la incorporación de biochar permite mejorar la aireación por su grado variable de porosidad, en suelos finos y arenosos tiene una superficie mucho mayor y un mayor grado de porosidad, el biochar tiene la capacidad de retener y proporcionar nutrientes disponibles para la absorción de las plantas, también puede tener efectos sobre el pH del suelo ver figura 1, mejora en la productividad de los cultivos mejorando la fijación de nitrógeno en el suelo (31).

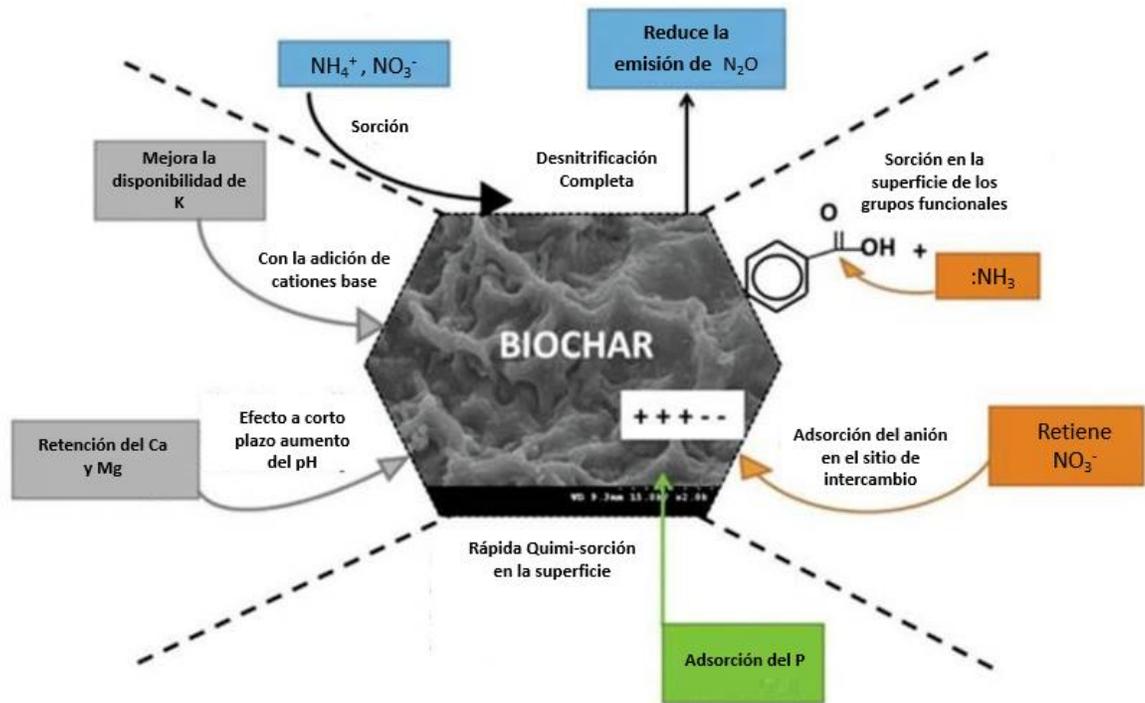


Figura 1. Una variedad de efectos causados por el biochar (31).

Los suelos están perdiendo potencial agrícola independientemente del origen de degradación, el uso de biochar en los suelos ha tenido efectos positivos en las propiedades

físicas del suelo, siendo relacionados con la mejora de la estructura morfológica, por el tamaño de sus partículas, el biochar puede mejorar y modificar la calidad del suelo, los macroporos de esta juega un papel importante ya que es relevante para la aireación y el movimiento de las raíces así como la posibilidad de retención de los nutrientes en el suelo, también se menciona que el biochar puede mejorar la retención de la humedad en el suelo. La incorporación de biochar en el suelo puede generar cambios en las propiedades físicas como son la textura, la estructura, la densidad aparente y otras propiedades de manera positiva (33).

Se ha demostrado mediante estudios los beneficios que genera el biochar, al aumentar la fertilidad de los suelos y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas, y su gran potencial en el secuestro de carbono (34) ver figura 2.

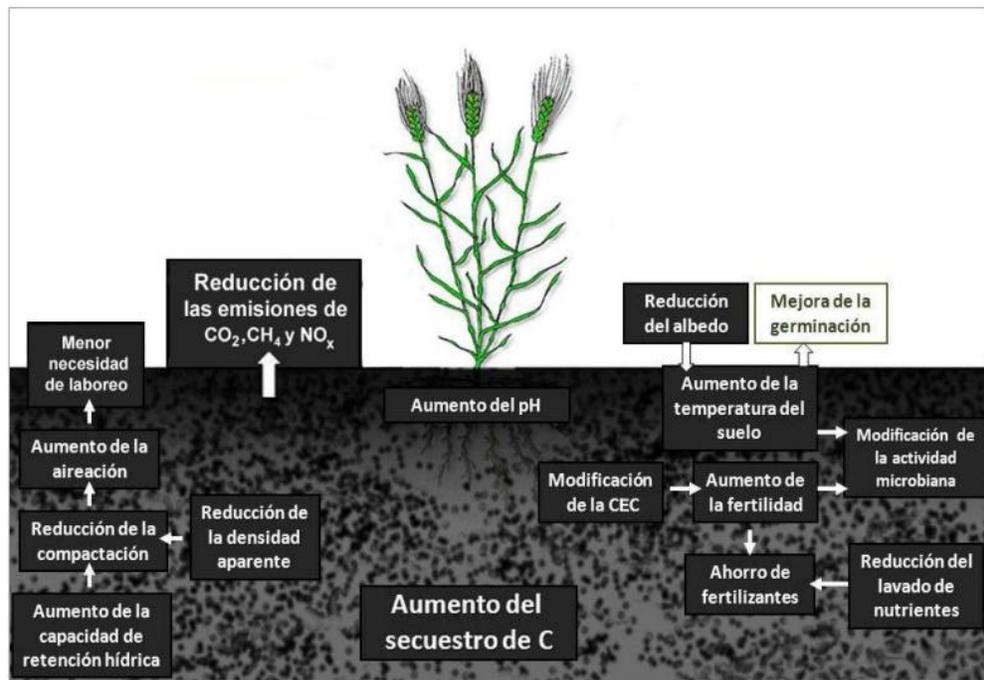


Figura 2. Efectos del biochar sobre el suelo(11)

2.2 Definición de términos básicos

- **Biochar**, es cualquier material rico en carbono obtenido de biomasa carbonizada mediante la pirolisis en bajas condiciones de oxígeno para su uso como acondicionador de suelos (35).
- **Suelo**, es material suelto que consta de partículas inorgánicas, compuesta por partículas de materia orgánica, agua, aire y seres vivos; se extiende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diversos grados de profundidad (36).
- **Suelo degradado**, es aquel suelo que presenta alteraciones químicas y/o biológicas diferente a sus funciones, generando un riesgo inaceptable para la salud pública y del medio ambiente (37). También puede entenderse como una degradación de las características físicas, químicas y biológicas (38).
- **Suelo agrícola**, es el lugar donde el hombre realiza sus actividades, el cual es conformado por la descomposición de la roca madre donde los suelos con alta fertilidad compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), (39).
- **Aireación**, es el proceso de aflojar la tierra, para tener una mejor penetración de agua, nutrientes y oxígeno en el suelo. Ayudando a facilitar un intercambio de gases entre la atmósfera y el suelo suministrando el movimiento de O₂ y CO₂ , (40).
- **Pirolisis**, es la descomposición de desechos en condiciones anaeróbicas a temperaturas que oscilan entre 300 °C y 800 °C, los productos obtenidos de esta incluyen un producto como es el carbón con cenizas (41).
- **Acidez**, es una condición muy común en los suelos de las regiones húmedas tropicales, los suelos se acidifican por diferentes factores como pueden ser la meteorización de minerales aluminosilicatos generando la liberación del aluminio (22).
- **Degradación**, Es el fenómeno de erosión y desertificación, que se produce por los cambios físicos, químicos y biológicos en las diversas propiedades y los procesos edáficos que generan una reducción en la calidad del suelo (42).
- **Biomasa**, es la materia orgánica renovable que proviene de plantas y animales, es producida por las plantas a través de la fotosíntesis esta se puede quemar directamente para generar calor o convertirla en combustible líquido o gaseoso a través de varios procesos (43).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Método, tipo y alcance de la investigación

3.1.1 Método

El método de investigación fue hipotético – deductivo, donde las hipótesis son puntos de partida para nuevas deducciones, en la que se inicia de una hipótesis inferida sugerida por los datos empíricos y al aplicar las reglas de la deducción se someten a verificación para comprobar la veracidad o no de la hipótesis de partida. Uno de los rasgos más importantes de este método se encuentra en su naturaleza cuantitativa para asegurar su precisión y rigor que necesita la ciencia. Por eso es un conocimiento sistemático comprobable (44).

3.1.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación para la tesis es aplicado, esta investigación se caracteriza por la búsqueda de aplicación de los conocimientos adquiridos, mientras se adquiere otros después de implementarla, ya que se validó las teorías propuestas para tener una mejor explicación del efecto del biochar sobre el suelo agrícola degradado. Este tipo de Investigación es importante ya que es un enlace entre la ciencia y la sociedad (45).

3.1.3 Alcance de la investigación

El nivel de investigación es descriptivo - explicativo, descriptiva por que consiste en el estudio de un fenómeno o situación concreta tomando rasgos peculiares o diferenciados, es explicativa porque busca establecer la relación causa–efecto, mediante la prueba de hipótesis, (45) donde se determinó el efecto del biochar sobre el suelo agrícola.

3.1.4 Diseño de la investigación

Se ha utilizado el diseño de investigación completamente al azar, debido a que los tratamientos se asignan de manera aleatoria. Este diseño es muy flexible en cuanto al número de tratamientos y repeticiones, permitiendo que el número de repeticiones varíe según el tratamiento, como lo indica Fernández y otros. (46). En este diseño se aplicó el tratamiento de biochar en diferentes dosis en el suelo agrícola degradado, como se detalla en la Tabla 3.

La aplicación de biochar en suelos agrícolas degradados se ha convertido en una práctica cada vez más común debido a sus efectos positivos en la mejora de la calidad del suelo. En diversos estudios, se ha observado que la aplicación de diferentes dosis de biochar puede generar diferentes resultados en cuanto a la calidad del suelo. En particular, se planteó la aplicación de dosis de 10%, 30% y 50% de biochar en suelos agrícolas degradados, con el fin de evaluar su impacto en la mejora de las propiedades químicas del suelo. Según los estudios de Reyes, quien realizó estudios de 0%, 50% y 100% (14), Arostegui, quien ejecutó estudios con concentraciones de 0% y 25% (20) y de igual manera los realizados por Pocomucha en concentraciones de 10%, 15%, 20 % (22).

Tabla 3. Diseño experimental factorial de dos factores

Tratamientos	Muestras	Dosis (%)	Tiempo (semanas)
T0	Repetición 1	0	2 - 4
T1	Repetición 1	10	2 - 4
	Repetición 2	10	2 - 4
T2	Repetición 1	30	2 - 4
	Repetición 2	30	2 - 4
T3	Repetición 1	50	2 - 4
	Repetición 2	50	2 - 4

Se tiene 4 tratamientos el cual se realizó por duplicado teniendo 14 corridas experimentales en total, T0 es la caracterización de los tratamientos aplicados.

Si los datos de los parámetros son normales se utiliza la prueba paramétrica de análisis de varianza (ANOVA) y si los datos no son normales se utiliza la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Descripción del área de estudio

3.2.1.1 Ubicación e identificación de la zona de estudio

La provincia de La Mar se localiza en la región sur del país, es una de las 11 provincias del departamento de Ayacucho, la zona de estudio se enfocó en el distrito de Anco uno de los 11 distritos de la provincia de La Mar.

- **Ubicación Política**
 - Región : Ayacucho
 - Provincia : La Mar
 - Distrito : Anco
 - Localidad : Puerto Naranjal

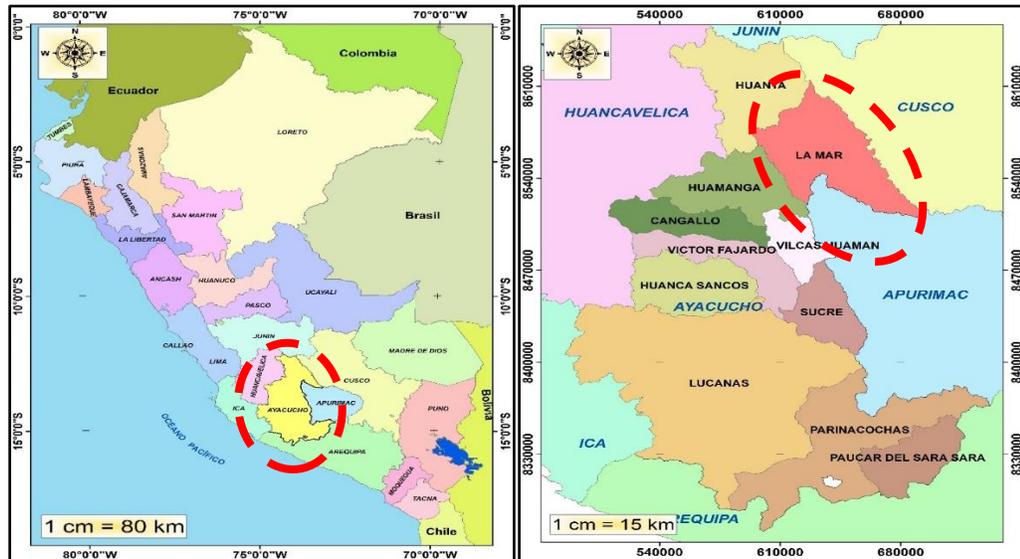


Figura 3. Ubicación departamental y provincial de la zona del proyecto

3.2.1.2 Contexto social de la provincia de la mar

La provincia de La Mar se encuentra en el departamento de Ayacucho, en un área geográfica con una económica esencialmente agropecuaria, dominada por tres cultivos de exportación, de los cuales dos son lícitos como es el café y cacao, y otro ilícito como es el cultivo de la hoja de coca, en donde la economía convive con las actividades lícitas e ilícitas, la disponibilidad de tierras para el cultivo agrícola es limitada, (47) debido a la degradación que genera el cultivo ilícito.

La provincia de La Mar se encuentra en la zona de influencia del VRAEM, de los cuales tiene 6 distritos en la zona de intervención directa y 5 distritos en zona de influencia, (48) el uso inapropiado del suelo en zonas donde se cultiva la hoja de coca, puede ser apta para las plantaciones cafetaleras y cacaoteras.

La provincia se encuentra aquejada por los remanentes del grupo subversivo en la parte norte de sus distritos ya que es una zona de alta influencia del cultivo de hoja de coca, descartándose así estos distritos para la investigación.

3.2.1.3 Delimitación de los suelos degradados en el distrito de Anco

En los últimos años, los suelos degradados del distrito de Anco han sido un problema crítico debido a la práctica de cultivos ilícitos en la zona. Desde el 2018, varias organizaciones, incluyendo Comisión Nacional para el Desarrollo de Vida sin Drogas (DEVIDA) y la municipalidad distrital de Anco, han llevado a cabo estudios para recuperar los suelos y restaurar la biodiversidad. Los proyectos se han enfocado en la recuperación de los suelos degradados mediante la siembra de árboles y plantas nativas, así como la aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes naturales. En el año 2019, estos proyectos se llevaron a cabo en diferentes localidades del distrito. Tras evaluar los resultados obtenidos, se decidió enfocar los esfuerzos en la localidad de Puerto Naranjal, debido a la alta presencia de cultivos ilícitos, como la hoja de coca, que son abonados con fertilizantes y agroquímicos, deteriorando la calidad física, química y biológica del suelo. En la zona de estudio, se encontró una concentración elevada de cultivos de coca, que con el manejo convencional, altera la estructura y fertilidad del suelo, afectando el pH, la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, el potasio y la toxicidad por aluminio.

3.2.2 Población

la población estuvo compuesta por los suelos agrícolas degradados que se puedan encontrar en la provincia de La Mar - Ayacucho.

3.2.3 Muestra

La muestra fue extraída por conveniencia y constó de 5 kg de suelos agrícolas degradados las cuales fueron tratados con distintos porcentajes de biochar.

3.2.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para tener un mejor control de las variables, el experimento se llevó a cabo en un invernadero:

1. En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda de información sobre la cantidad de hectáreas de suelos agrícolas en la provincia de La Mar, que asciende a 46,313.18 hectáreas, según se muestra en la figura 4. Luego, se seleccionó la localidad de Puerto Naranjal ver figura 5, ubicada en el distrito de Anco, como lugar de extracción de las muestras de suelos a tratar.

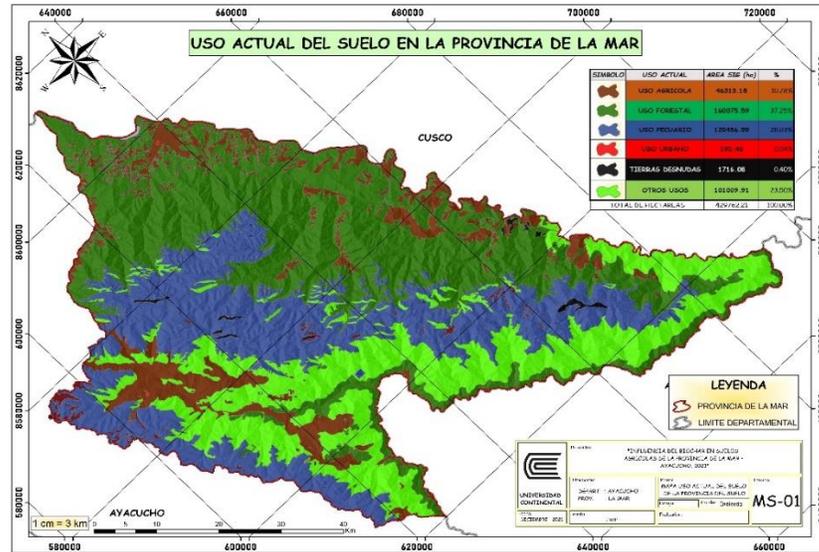


Figura 4. Mapa de uso actual del suelo, de la provincia de La Mar



Figura 5. Ubicación de los puntos muestreados en la localidad de Puerto Naranjal, del distrito de Anco–La Mar

Tabla 4. Coordenadas de los puntos muestreados

ORDEN	NORTE	ESTE
1	8568870.744	662700.8683
2	8568897.51	662715.3362
3	8568926.446	662731.2508
4	8568952.488	662744.9953
5	8568979.253	662761.6334
6	8569009.636	662778.2714
7	8568994.445	662810.8242
8	8568967.679	662792.7393
9	8568935.126	662775.3779
10	8568909.084	662759.4632
11	8568883.042	662741.3783
12	8568854.106	662727.6339
13	8568834.574	662754.3994
14	8568866.404	662773.9311
15	8568896.063	662789.1224
16	8568922.829	662807.2072
17	8568953.211	662823.8453
18	8568982.147	662839.7599
19	8568970.573	662869.4191
20	8568939.467	662850.6108
21	8568910.531	662835.4196
22	8568881.595	662818.7815
23	8568852.659	662799.9733
24	8568820.107	662784.782
25	8568804.915	662809.3774
26	8568836.745	662826.7388
27	8568866.404	662843.3769
28	8568896.786	662860.7384
29	8568928.616	662878.8232
30	8568958.998	662894.7379
31	8568945.977	662933.8012
32	8568914.871	662913.5461

- Después de la selección de la localidad, se procedió a limpiar los puntos de muestreo mediante la eliminación de la maleza y la nivelación del suelo, para dar forma de V a la excavación, tal como se muestra en las figuras 6 y 7. Las muestras de suelo se recolectaron a una profundidad de 0-30 cm y se colocaron en bolsas que posteriormente se transportaron en costales, y se obtuvo un total de 40 kg de suelo

agrícola (49). A continuación, se realizó la homogenización de las muestras recolectadas y luego se cuartearon según lo indicado en la guía (36), hasta obtener una muestra homogenizada de 27 kg.

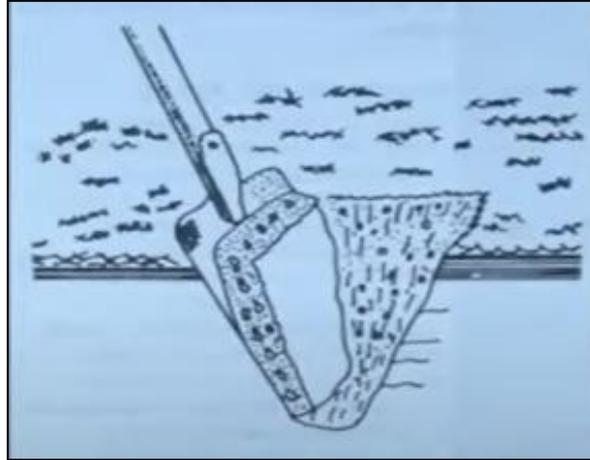


Figura 6. Forma de muestreo en V para suelos agrícolas (49)



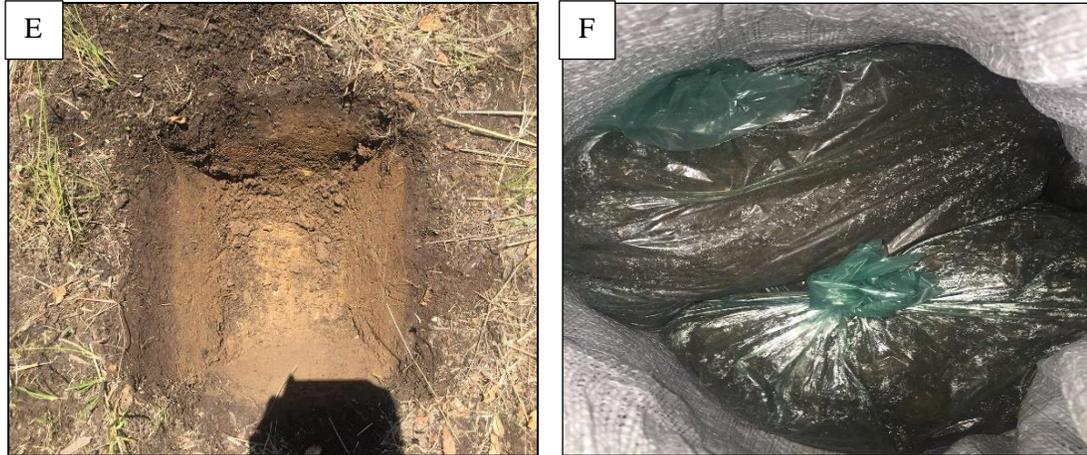


Figura 7. Proceso de muestreo, A) Limpieza del punto de muestreo, B) Excavación para la muestra de suelo, C) Movimiento del suelo para el muestreo, D) Perfilado del punto de muestreo, E) Diseño en V para el muestreo de suelo y F) Recolección de la muestra en bolsas y acopio en costales para el traslado de las muestras.

- Después de obtener la muestra homogenizada de 27 kg de suelo agrícola degradado, se cuarteó para obtener 1 kg de suelo que se empacó en una bolsa hermética, según se muestra en la figura 8. Se colocó la etiqueta correspondiente con las especificaciones y se llevó la muestra al laboratorio para su análisis.



Figura 8. Proceso de cuarteado, A) Cuarteado de las muestras y B) Empaquetado del suelo agrícola en bolsa hermética para ser llevado al laboratorio.

- Se adquirió el biochar de una comercializadora, el cual tiene las siguientes especificaciones ver figura 9, procediéndose a triturar para el mezclado con el suelo agrícola degradado y ser pesado ver figura 10.

C.E (dS/m)	4.12
CIC (cmolc kg ⁻¹)	12.80
Ca ⁺⁺ (cmolc kg ⁻¹)	5.49
Mg ⁺⁺ (cmolc kg ⁻¹)	2.08
K ⁺ (cmolc kg ⁻¹)*	4.74
Na ⁺ (cmolc kg ⁻¹)* 0	0.78
Materia Orgánica	15.32%
Carbono fijo	43.15%
PH	8.8

Fuente: LASPAF

Figura 9. Características del biochar adquirido, ficha técnica



Figura 10. Tratamiento del biochar, A) Triturado y tamizado del biochar, C) Pesado y empaquetado del biochar en bolsas herméticas para ser mezclados.

5. Se procedió a la construcción de invernadero con plástico agro film de clase 8mm, para el tratamiento de la investigación.
6. Luego se dispuso de 7 envases donde se colocó los tratamientos de 5 kg. de suelo más biochar, los materiales usados fueron una pala de jardín, una balanza y una jarra medidora ver figura 11. El trabajo se realizó en un invernadero para optimizar el tiempo.



Figura 11. Materiales usados para los tratamientos, pala de jardín, bolsa hermética, balanza de 5kg y un atomizador con un embace.

6.1. Se pesaron las muestras de suelo y biochar para su posterior mezclado en los respectivos maceteros. A cada uno de los tratamientos se le agregó biochar, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Proporción de tratamiento

Tratamiento	Muestra	Dosis	Suelo (Kg)	Biochar (Kg)
T-0	Repetición 1	0%	5	0
T-1	Repetición 1	10%	4.5	0.5
	Repetición 2	10%	4.5	0.5
T-2	Repetición 1	30%	3.5	1.5
	Repetición 2	30%	3.5	1.5
T-3	Repetición 1	50%	2.5	2.5
	Repetición 2	50%	2.5	2.5

6.2. Se homogenizó los tratamientos ver figura 12





Figura 12. Proceso de mezclado de los tratamientos, A) Mezclado del biochar y el suelo agrícola, B) Humectación de los tratamientos y C) Aireación de los tratamientos

6.3. Se colocó los tratamientos en el invernadero ver figura 13



Figura 13. Etiquetado de cada tratamiento

7. Se realizó el monitoreo de los maceteros cada 7 días, humedeciéndolos y aireándolos, y se efectuó el laboreo correspondiente utilizando una pala de jardín, tal como se muestra en la figura 14. El periodo de experimentación se llevó a cabo en un invernadero y se extendió por 30 días.



Figura 14. Proceso de humectación y aireación de los tratamientos

8. Para el análisis de los tratamientos se realizó lo siguiente:

- + Se extrajo 1 kg de cada tratamiento.
- + Secado de las muestras extraídas de cada tratamiento en papel Kraft, durante 4 días.
- + Empaquetado en bolsas herméticas con el respectivo rotulo, y ser llevados al laboratorio para su análisis ver figura 15.



Figura 15. Muestras que se enviaron al laboratorio

9. Los parámetros a evaluar fueron los siguientes ver tabla 6.

Tabla 6. Análisis químico de los parámetros a evaluar

ANÁLISIS QUÍMICO						
pH	C.E.	M.O.	N	P	K	CIC
	mS/cm	%	mg/Kg.			m eq/100g

Fuente. Laboratorio de suelos y agua del INIA

- ✚ Estos parámetros fueron medidas de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades (48):
 - ❖ pH: unidad de medida adimensional.
 - ❖ C.E. (conductividad eléctrica): unidad de medida en siemens por metro (S/m).
 - ❖ M.O. (materia orgánica): unidad de medida en porcentaje (%).
 - ❖ N (nitrógeno): miligramos por kilogramo (mg/kg).
 - ❖ P (fósforo): miligramos por kilogramo (mg/kg).
 - ❖ K (potasio): miligramos por kilogramo (mg/kg).
 - ❖ CIC (capacidad de intercambio catiónico): unidad de medida en miliequivalentes por 100 gramos (meq/100g).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

Se presenta todos los resultados obtenidos en el experimento, que muestran la evolución de cada grupo de tratamiento.

A continuación, se evalúan los resultados que se obtuvieron mezclando suelo agrícola degradado con diferentes dosis de biochar en un tiempo de 30 días. Los parámetros se controlaron cada 14 días. La extracción de las muestras se realizó de acuerdo a las exigencias del laboratorio.

4.1.1 Resultado de la influencia del biochar en los parámetros químicos

A. Cuadro de resultados de cada tratamiento

Tabla 7. Resultado de cada tratamiento para los parámetros químicos

Tratamientos	Muestra	Tiempo (semanas)	pH	C.E.	M.O.	N	P	K	CIC
				mS/cm	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	m eq/100g
Semana 2									
T0 (suelo + 0 % de biochar)	Muestra 1	2	6.83	0.143	1.93	0.10	16.17	305.34	5.53
Semana 2									
T1: (suelo + 10 % de biochar)	Muestra 1	2	6.97	1.3	3.86	0.19	21.72	400	2.57
	Muestra 2	2	7.17	1.17	2.28	0.16	34.13	245	3.55
T2: (suelo + 30 % de biochar)	Muestra 1	2	7.16	3.49	7.45	0.37	42.31	432	4.48
	Muestra 2	2	7.28	2.06	3.72	0.19	37.61	414	3.32
T3: (suelo + 50 % de biochar)	Muestra 1	2	7.12	1.55	5.24	0.26	22.19	412	4.00
	Muestra 2	2	7.25	3.02	4.34	0.22	41.27	419	3.94
Semana 4									
T0 (suelo + 0 % de biochar)	Muestra 1	4	7.07	0.139	1.83	0.11	16.18	302.00	5.73

T1: (suelo + 10 % de biochar)	Muestra 1	4	6.89	1.47	2.48	0.12	16.17	231	3.66
	Muestra 2	4	7.14	1.31	2.9	0.14	14.95	215	3.31
T2: (suelo + 30 % de biochar)	Muestra 1	4	7.20	1.66	3.31	0.17	20.87	332	3.96
	Muestra 2	4	7.11	1.83	2.97	0.15	18.15	293	3.68
T3: (suelo + 50 % de biochar)	Muestra 1	4	7.37	2.65	3.45	0.17	36.57	445	4.62
	Muestra 2	4	7.31	2.55	3.59	0.18	25.95	379	3.89

Prueba de normalidad para los parámetros químicos

- Prueba de normalidad para todos los parámetros químicos

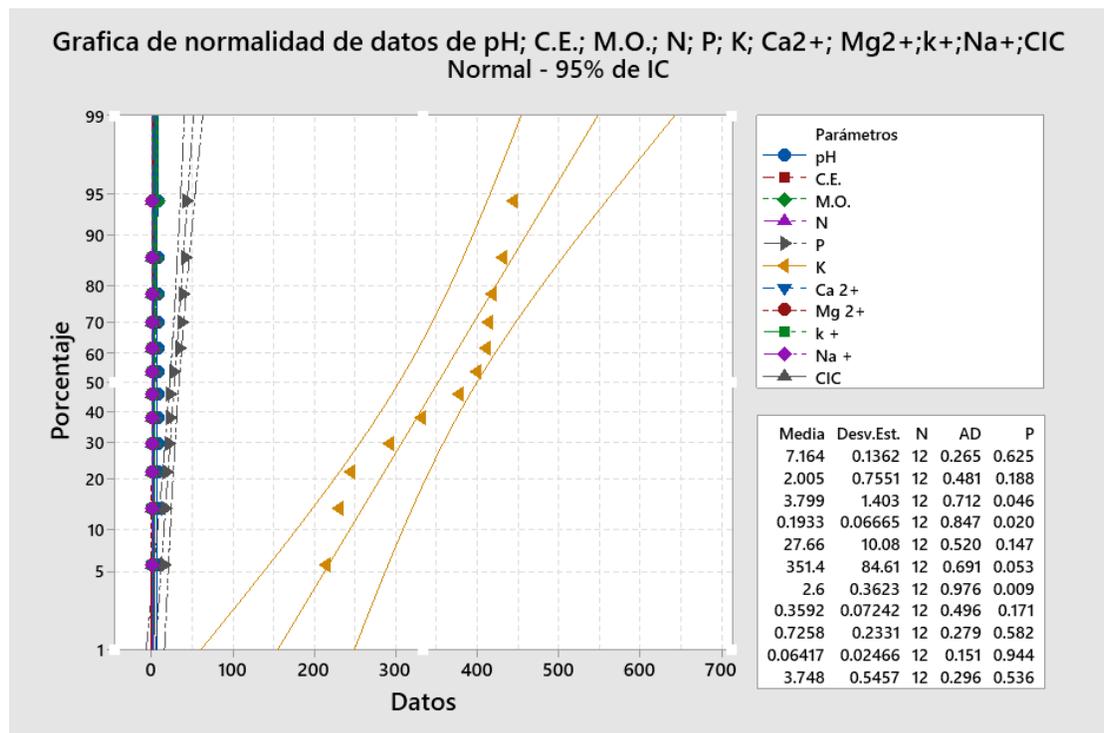


Figura 16. Tabla de normalidad para los parámetros químicos.

Se tiene las siguientes hipótesis estadísticas de prueba:

- H_0 : Los datos siguen una distribución normal.
- H_1 : Los datos no siguen una distribución normal.

Nivel de significancia (α) = 0.05

De acuerdo al valor p se tiene que los datos de los parámetros son ver tabla 8:

Tabla 8. Valor P de los parámetros químicos

Parámetros	Valor P	Nivel de significación	Normalidad	Tipo de análisis de variables a usar
pH	0.625	0.05	Son normales	ANOVA
C.E.	0.188	0.05	Son normales	ANOVA
M.O.	0.046	0.05	No son normales	Kruskal-Wallis
N	0.020	0.05	No son normales	Kruskal-Wallis
P	0.147	0.05	Son normales	ANOVA
K	0.053	0.05	Son normales	ANOVA
CIC	0.536	0.05	Son normales	ANOVA

De acuerdo a la prueba de normalidad se aplicaron las pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas según sea el caso.

B. Prueba estadística

Tabla 9. Análisis de varianza para los parámetros químicos

Parámetros	Fuente	GL	Valor P	α	Tipo de Análisis	Conclusión estadística
C.E.	Dosis (%)	2	0.115	0.05	ANOVA	La C.E. en los tratamientos no son estadísticamente significativas.
	Tiempo (Semanas)	1	0.642			
M.O.		5	0.169	0.05	Kruskal - Kallis	Para la Materia Organica en los tratamientos no son estadísticamente significativas.
N		5	0.099	0.05	Kruskal - Kallis	Para el N en los tratamientos no son estadísticamente significativas.
C.I.C	Dosis (%)	2	0.180	0.05	ANOVA	

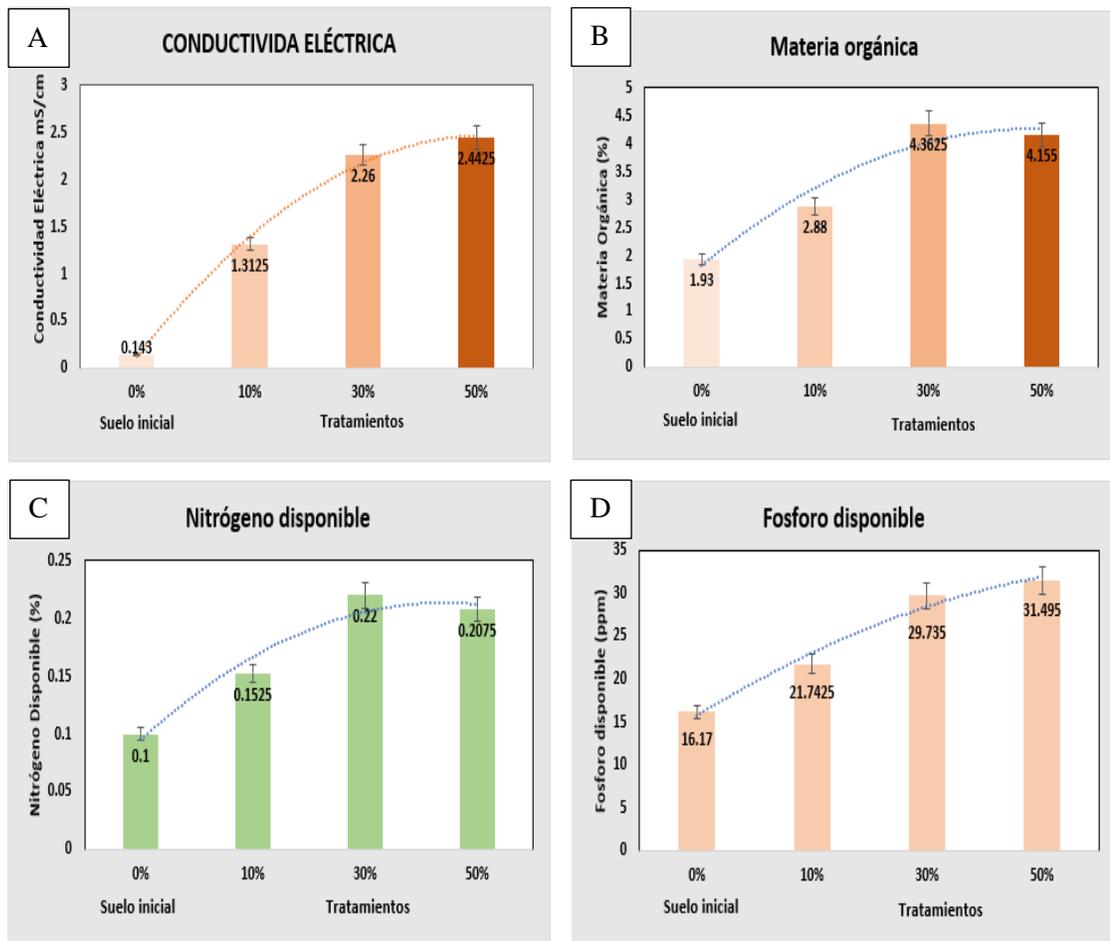
Tiempo
(Semanas) 1 0.537

Para el CIC en los
tratamientos no son
estadísticamente
significativas.

α = nivel de significancia

C. Figuras

- Figuras estadísticas con tendencia de decrecimiento de los parámetros según aumenta en el tiempo de tratamiento.



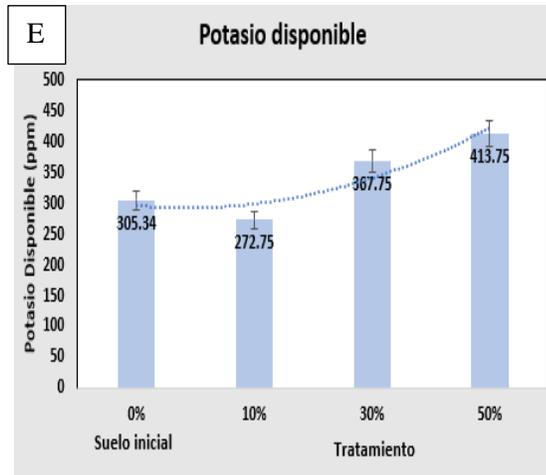


Figura 17. Gráfico de los parámetros con tendencia decreciente con los tratamientos. A) Conductividad eléctrica, B) Materia orgánica, C) Nitrógeno disponible, D) Fósforo disponible, E) Potasio disponible.

- **Para la conductividad eléctrica (C.E.)**

En la tabla 9, del análisis de la varianza de la conductividad eléctrica del suelo, se observa que entre los tratamientos no se encontró una diferencia significativa estadística.

En la figura 17 – A, para los tratamientos de conductividad eléctrica, se presentó una tendencia ascendente a mayor concentración donde se observa que a mayor dosis de biochar se obtuvo en resultado de 2.4425 (mS/cm) para el tratamiento 3, seguido del 2.26 (mS/cm) para el segundo tratamiento y el menor al 10% con 1.3125 (mS/cm).

- **Materia orgánica total (M.O.)**

En la tabla 9, se puede apreciar que el análisis estadístico para el contenido de materia orgánica en el suelo no obtuvo diferencias significativas en los tratamientos realizados con las dosis.

- **Nitrógeno disponible**

Para este parámetro los valores en los diferentes tratamientos de dosis de biochar en el suelo no se encontró una diferencia significativa ver tabla 9.

- **Fósforo disponible**

En la tabla 10, el análisis de varianza para el fósforo se tiene que entre los tratamientos realizados se encontró diferencias significativas en las dosis de biochar aplicado al suelo. Para este parámetro se encontró que la adición del biochar en el suelo es directamente proporcional, ya que a mayor dosis de biochar se tiene mayores concentraciones de fósforo en el suelo teniendo al 50% una media de 31.495 mg/kg, seguido del 30% con una media de 29.735 mg/kg y el menor con una dosis de 10% obteniendo una media de 21.7425 mg/kg ver en tabla 11 y 12, en el resultado inicial del suelo sin la adición del biochar se encontró 16.17 mg/kg, teniendo un aumento de este parámetro en las diferentes dosis de biochar en el suelo, de acuerdo a la figura 17 – D, a mayor dosis de biochar de 50% el P del suelo aumenta y en un mayor tiempo de 4 semanas el P del suelo disminuye. Para realizar el análisis de varianza, se puede utilizar un software estadístico o una calculadora estadística en línea. En este caso, se obtiene que el valor p del análisis de varianza es menor que 0.05, lo que indica que existen diferencias significativas entre los grupos.

✚ Prueba de análisis de varianza

Hipótesis estadística

$H_0 = \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (La concentración de fósforo en el suelo es igual entre los 3 tratamientos).

$H_1 =$ por lo menos algún μ_{Tn} es diferente a los demás. (La concentración de fósforo en el suelo no es igual entre los 3 tratamientos).

Tabla 10. Analisis de varianza para tratamientos. Concetracion de P en el suelo

	Concentración de P en mg/kg				
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	216.1	2	108.06	2.64	0.030
Error experimental	204.7	5	40.95		
Total	420.8	7			

De acuerdo a la tabla 10, el valor obtenido para el nivel de significancia es de 0.030, lo cual es menor que el valor de $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), que indica que al menos uno de los tratamientos es significativamente diferente de los demás.

Debido a esto, se procedió a realizar una prueba de Duncan.

🚩 Prueba de comparación múltiple para el P

A continuación, se procedió a realizar la prueba de Duncan. Primero, se ordenan las medias de mayor a menor:

Tabla 11. Método de comparación múltiple de Duncan de dosis para P. y una confianza de 95%

Dosis (%)	N	Media
50	4	34.99
30	4	31.50
10	4	21.24
0	4	15.57

Para nuestro caso, utilizamos un nivel de confianza del 95% y 4 grupos. El valor crítico de Duncan para estos valores fue de 3.18.

Tabla 12. Tabla de diferencias significativas entre los tratamientos

Dosis (%)	Valor crítico	Diferencias
D (50%) vs A (0%)	$3.49 > 3.18$	(significativo)
C (30%) vs A (0%)	$13.75 > 3.18$	(significativo)
B (10%) vs A (0%)	$0.62 < 3.18$	(no significativo)
D (50%) vs B (10%)	$19.42 > 3.18$	(significativo)
C (30%) vs B (10%)	$15.93 > 3.18$	(significativo)
D (50%) vs C (30%)	$5.67 > 3.18$	(significativo)

Por lo tanto, se puede concluir que existen diferencias significativas entre los cuatro grupos, y que los grupos C, D y B presentan medias significativamente diferentes entre sí, mientras que el grupo A presenta una media significativamente menor que los otros tres grupos.

- Potasio disponible

Para el potasio en las pruebas estadísticas de análisis de varianza ver tabla 13 se encontró que en los diferentes tratamientos de biochar se tiene resultados estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Para este parámetro se encontraron resultados mayores al 50% de biochar teniendo una media 413.75 mg/kg, al 30% se obtuvo una media de 367.75 mg/kg y al 10% de biochar se obtuvo una media de 272.75 ver tabla 14 y 15, menor a lo evaluado en el muestreo inicial de 305.34 mg/kg sin adición de biochar en el suelo, de acuerdo a la figura 17 - E a mayor

dosis de biochar de 50% el K del suelo aumenta y en un mayor tiempo de 4 semanas el K del suelo disminuye.

✚ Prueba de análisis de varianza

Hipótesis estadística

$H_0 = \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (La concentración de fósforo en el suelo es igual entre los 3 tratamientos).

$H_1 =$ por lo menos algún μ_{Tn} es diferente a los demás. (La concentración de potasio en el suelo no es igual entre los 3 tratamientos).

Tabla 13. Analisis de varianza para tratamientos. Concentracion de P en el suelo

	Concentración de K en mg/kg				
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	41362.7	2	20681.3	7.00	0.036
Error experimental	14771.4	5	2954.3		
Total	56134.1	7			

De acuerdo a la tabla 13, el valor obtenido para el nivel de significancia es de 0.036, lo cual es menor que el valor de $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), que indica que al menos uno de los tratamientos es significativamente diferente de los demás.

Debido a esto, se procedió a realizar una prueba de Duncan.

✚ Prueba de comparación múltiple para el K

Tabla 14. Método de comparación múltiple de Duncan de dosis para K. y una confianza de 95%

Dosis (%)	Media
50	413.75
30	367.75
10	272.75

Tabla 15. Tabla de diferencias significativas entre los tratamientos

Dosis (%)	Valor crítico
Grupo C (30%):	1.50 (mayor que el valor crítico de 1.35)
Grupo D (50%):	1.50 (mayor que el valor crítico de 1.35)
Grupo B (10%):	1.17 (menor que el valor crítico de 1.35)
Grupo A (0%):	1.00 (no se compara ya que es el grupo de referencia)

Los grupos que tienen un rango promedio mayor que el valor crítico son significativamente diferentes de los demás grupos. En este caso, los grupos C y D son significativamente diferentes del grupo B y del grupo de referencia A.

Gráfica de los parámetros de pH y la capacidad de intercambio catiónico

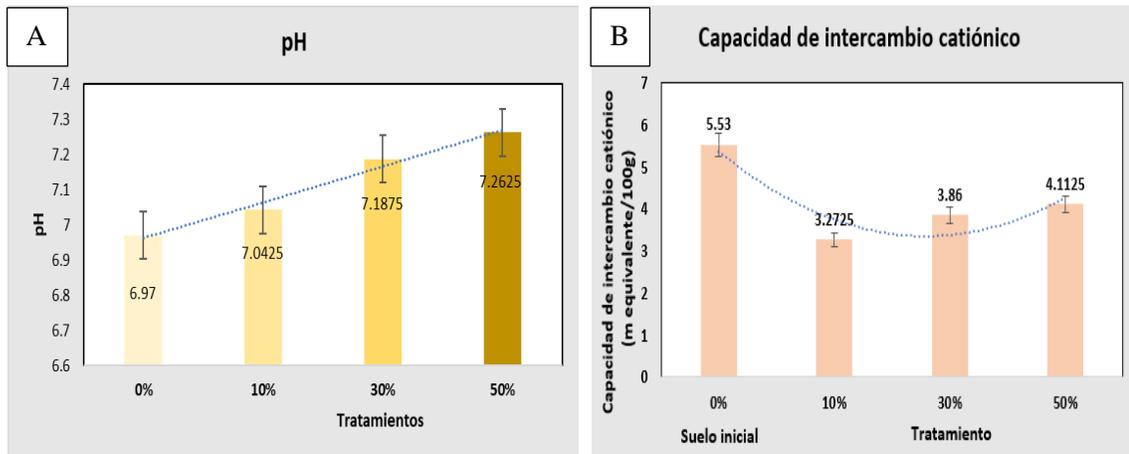


Figura 18. Gráfica de los parámetros con tendencia de crecimiento con los tratamientos, para los parámetros. A) pH, B) Capacidad de intercambio catiónico

- **Para el pH**

Para este parámetro en la tabla 16, se encontró que el análisis de varianza del pH es estadísticamente significativo, teniendo resultados heterogéneos en todos los tratamientos con respecto a la muestra inicial.

En la figura 18 – A, se muestra que a mayor dosis se tiene un mejor resultado, ya que para el 50% de biochar se encontró 7.2625, para el 30% se obtuvo 7.1875 y el menor resultado al 10% con 7.0425 ver tabla 17, 18 y 19, estos resultados están por encima del pH obtenido del suelo sin la adición de biochar de 6.97, teniendo un efecto significativo estadísticamente entre los tratamientos, a mayor dosis de biochar de 50% y 30% el pH del suelo aumenta.

Prueba de análisis de varianza

Hipótesis estadística

$H_0 = \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (La concentración de pH en el suelo es igual entre los 3 tratamientos).

$H_1 =$ por lo menos algún μ_{Tn} es diferente a los demás. (La concentración de pH en el suelo no es igual entre los 3 tratamientos).

Tabla 16. Analisis de varianza para tratamientos. Concetracion de pH en el suelo

Concentración de pH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	0.100067	2	0.050033	19.95	0.004
Error experimental	0.012542	5	0.002508		
Total	0.204092	11			

De acuerdo a la tabla 16, el valor obtenido para el nivel de significancia es de 0.004, lo cual es menor que el valor de $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (H1), que indica que al menos uno de los tratamientos es significativamente diferente de los demás.

Debido a esto, se procedió a realizar una prueba de Duncan.

Prueba de comparación múltiple para el pH

Tabla 17. Método de comparación múltiple de Duncan de dosis para el pH y una confianza de 95%

Dosis (%)	N	Media
50	4	7.2625
30	4	7.1875
10	4	7.0425
0	4	6.6420

Tabla 18. Cálculo de las diferencias entre las medias de cada par de grupos

Para cada par de grupos	Diferencia entre sus medias
D (50%) vs C (30%)	0.07
D (50%) vs B (10%)	0.22
D (50%) vs A (0%)	0.62
C (30%) vs B (10%)	0.15
C (30%) vs A (0%)	0.55
B (10%) vs A (0%)	0.40

Para el caso, se utilizó un nivel de confianza del 95% y 4 grupos. El valor crítico de Duncan para estos valores fue de 2.77.

Tabla 19. Tabla de diferencias significativas entre los tratamientos

Dosis (%)	Valor crítico	Diferencias
D (50%) vs A (0%)	0.62 > 2.77	(significativo)
C (30%) vs A (0%)	0.55 > 2.77	(significativo)
B (10%) vs A (0%)	0.40 < 2.77	(no significativo)
D (50%) vs B (10%)	0.22 < 2.77	(no significativo)
C (30%) vs B (10%)	0.15 < 2.77	(no significativo)
D (50%) vs C (30%)	0.07 < 2.77	(no significativo)

Se concluye que solo hay diferencias significativas entre los grupos D (50%) y A (0%) y los grupos C (30%) y A (0%). No hay diferencias significativas entre los grupos B (10%) y A (0%). En resumen, según la prueba de comparación múltiple de Duncan, el grupo A (0%) es significativamente diferente de los grupos C (30%) y D (50%), mientras que el grupo B (10%) no es significativamente diferente de ningún otro grupo.

- **Para la capacidad de intercambio catiónico**

Para este parámetro se encontró que el análisis estadístico de la varianza no es significativo en los tratamientos ver tabla 9.

En la figura 20-B, se puede observar que los valores son menores a los resultados del suelo inicial sin adición de biochar 5.53, se encontró que al 50% de biochar en el suelo se tienen 4.1125 (m equivalente/100 g), seguido del 30% con 3.86 (m equivalente/100 g) y al 10% se obtuvo 3.2725 (m equivalente/100 g), en la que la adición de biochar disminuyó este parámetro en el suelo, de acuerdo a la figura a mayor dosis de biochar de 50% la capacidad de intercambio catiónico es mayor entre los tratamientos y en un mayor tiempo de 4 semanas la capacidad de intercambio catiónico del suelo aumenta.

4.2 Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación se comparan con otros estudios con características parecidas.

➤ **pH del suelo**

El pH del suelo después de los tratamientos aumentó respecto al suelo inicial, habiendo obtenido valores de 7.0425, 7.1875 y 7.2625 respectivamente para los tratamientos de 10%, 30% y 50%.

La prueba de análisis de varianza, entre los tratamientos mostró una diferencia estadística significativa entre estos tres tratamientos, evidenciando que hubo efectos positivos del biochar en el pH del suelo.

Estos resultados son diferentes a los obtenidos por Cárdenas (12), donde el biochar no tuvo efectos significativos entre los tratamientos, Borrelli (23) se encontró que el pH incrementó, ello debido a los efectos del biochar ya que posee valores alcalinos esto se da por el proceso de la pirolisis que conduce a una acumulación de productos alcalinos en el producto final, teniendo incrementos entre 0.2 a 0.6 entre los tratamientos lo que repercute en su aumento, para Reátegui (19) el biochar mostró efectos positivos entre los tratamientos donde este parámetro aumentó a medida que se tenía mayor concentración en el suelo, teniendo aumentos significativos entre 2 a 6 en los tratamientos en suelo agrícola degradada. La mayoría de los biochars son alcalinos y dependiendo de la dosis aplicada al suelo, pueden ejercer un efecto de encalado como menciona Olmo (11).

➤ **Conductividad eléctrica en el suelo**

La conductividad eléctrica del suelo después de la aplicación del biochar, fue superior al encontrado en el suelo inicial, esto es favorable para el suelo, según el análisis estadístico de la varianza se encontró que los tres tratamientos de 10, 30 y 50%, no son estadísticamente significativa.

En la tabla 7, se puede apreciar que el valor inicial de la conductividad eléctrica fue de 0.143 (mS/cm), inferior a lo obtenido en los tratamientos teniendo al 50% un valor 2.4425 (mS/cm), teniendo un incremento de 1.1695 (mS/cm) a 2.2995 (mS/cm) entre los tratamientos ver figura 22 - A, este efecto pudo ocurrir por el contenido que presentó el biochar, Borrelli (23) demostró en su investigación que al introducir biochar en el suelo aumentó este parámetro en 0.107 (dS/m), este incremento en la conductividad eléctrica (salinidad) del suelo disminuye el desarrollo de las plantas pero para nuestros tratamientos se encuentra dentro del límite máximo de 2.5 dS/m, en su trabajo Arostegui (20) menciona que el aumento de la conductividad eléctrica es debido a la cantidad de cenizas en el biochar que le proporciona sales al suelo, se encontró valores desde 0.56 dS/m para el suelo sin biochar hasta 4.58 dS/cm en la concentración más alta, según indica Arévalo (16) en los diversos tratamientos que realizó encontró una leve diferencia esto debido a que el suelo poseía un bajo contenido de salinidad en donde la adición del biochar tiene una leve influencia.

➤ **Potasio disponible en el suelo**

Para el potasio disponible en el suelo, después de los tratamientos se encontró valores superiores a los presentados inicialmente en los tratamientos de 30% y 50% teniendo incrementos de 305.34 a 413.75 mg/kg entre los tratamientos, según la prueba de ANOVA se presentó mayor porcentaje de potasio disponible al 50% de biochar obteniendo 413.75 mg/kg y el menor al 10% obteniendo 272.75 mg/kg en la donde los tratamientos presentaron una diferencia estadísticamente significativa.

Ver figura 17 – E, la adición de biochar ejerció una gran influencia sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, aumentando la disponibilidad de K para los tratamientos más altos como menciona Olmo (11), el biochar puede suministrar potasio en ciertas cantidades en los suelos teniendo altas diferencias porcentuales según los tratamientos a realizar como menciona Reyes (14) donde obtuvo porcentajes de 446% con respecto al tratamiento control. También Arévalo (16) en su investigación encontró variaciones donde en algunos casos se duplicó en comparación al testigo. Las aplicaciones de biochar incrementó el contenido de nutrientes en el suelo, con lo cual podríamos decir que el biochar tiene el potencial para mejorar los suelos degradados, independientemente de su textura y edad como menciona Aker (17).

➤ **Fosforo disponible en el suelo**

Para el contenido de fósforo en los tratamientos se encontró que el análisis de varianza es estadísticamente significativo, teniendo valores superiores a los encontrados en el suelo inicial de 16.17 mg/kg, así como también la adición del biochar mejoró el contenido de fósforo del suelo entre 21.74 a 31.49 mg/kg en el suelo.

Para el fósforo disponible se encontró que a mayor dosis de biochar mayor proporción de fósforo en el suelo, teniendo una relación directa con la concentración del biochar en el suelo tal como menciona Arostegui (20) en su investigación encontró que el fósforo presentó valores significativos teniendo como valores iniciales 2.7 mg/kg en suelos sin biochar hasta obtener concentraciones de 147.5 mg/kg en los tratamientos teniendo una tendencia positiva y un crecimiento exponencial a mayor concentración en su investigación Zamora (18), obtuvo resultados de mejora en el fósforo donde se incrementó en un 25% la reserva de nutrientes en cada uno de sus tratamientos también menciona que este aumento se da por la mejora de la capacidad de intercambio catiónico.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. La aplicación del biochar generó efectos significativos en el suelo en los siguientes parámetros pH, P disponible y el K disponible, lo cual no ocurrió con los parámetros de conductividad eléctrica, materia orgánica, N disponible y la capacidad de intercambio catiónico en las que no se observó efectos significativos.
2. Para el pH se encontró cambios significativos en los tratamientos con biochar, teniendo un incremento entre 0.2 a 0.6 para este parámetro el valor mayor se encontró al 50% de biochar.
3. Para la concentración al 50% de biochar se obtuvo una variación de valores superiores en los siguientes parámetros, conductividad eléctrica teniendo 2.4425 (mS/cm), pH con un valor de 7.2625, para el potasio disponible en el suelo con 413.75 mg/kg y el fósforo disponible con un valor de 31.495 mg/kg, para los demás parámetros no se obtuvo valores significativos.
4. Para el 30% de biochar se obtuvieron valores superiores para el nitrógeno disponible en el suelo siendo este valor de 0.22% y para la materia orgánica teniendo 4.3625 %, para los demás valores se obtuvo cambios leves.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda un estudio con biochar en tiempo más prolongado, para poder observar los diversos efectos que este puede tener en el suelo, así como el efecto en la remediación de los suelos contaminados con metales pesados.
2. Se recomienda el estudio del biochar obtenido de desechos agrícolas como hojas, tallos, excretas de animales, etc, en condiciones de campo con dosis variables.
3. Se recomienda probar la combinación de biochar con otros productos de enmienda orgánicas como (biol, compost, etc).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** *Estado mundial del recurso suelo*. [online]. Roma: FAO, 2016. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf>
- (2) **GRAY, R.** Soil erosion: Why fertile earth is being degraded and lost [online]. BBC 2019. Disponible en: <https://www.bbc.com/future/bespoke/follow-the-food/why-soil-is-disappearing-from-farms/>
- (3) **AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE.** El suelo y el cambio climático. 2022. [Accessed 22 February 2023]. Available from: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>.
- (4) **YANG, S., et al.** A synthesis framework using machine learning and spatial bivariate analysis to identify drivers and hotspots of heavy metal pollution of agricultural soils. *Environmental Pollution* [Internet]. 15 de octubre de 2021. Vol. 287, p. 117611. [citado 5 de noviembre de 2021]. DOI 10.1016/j.envpol.2021.117611. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121011933>
- (5) **Dibakar, R.; et al.** Impact of long term conservation agriculture on soil quality under cereal based systems of North West India. *Geoderma*, 2022, vol. 405, p. 115391. DOI 10.1016/j.geoderma.2021.115391
- (6) **ETCHEVERS, J., et al.** Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola. *Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México*. 2016. Biblioteca Básica de Agricultura, Colegio de Postgraduados. México. p. 63-79.
- (7) **SANTOS, S., et al.** Consequences of land-use change in Brazil's new agricultural frontier: A soil physical health assessment. *Geoderma*, 2021, vol. 400, p. 115149.
- (8) **CORNEJO, S.** Percepción ambiental del proceso de desertificación en el Perú. *Investigaciones sociales*, 2013, vol. 17, no 30, p. 47-57. DOI 10.15381/is.v17i30.7834.

Disponible en:
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sociales/article/view/7834>

- (9) **LOAYZA, J.** Degradación de la fertilidad química y biológica del suelo por efecto del cultivo intensivo de la papa en Potreropampa, Andahuaylas, Apurímac - 2020. Tesis (Doctor en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente). Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, 2020.
- (10) **QUISPE, R.** Manejo de agroquímicos en cultivos de cacao, café y coca en el distrito de Sivia, 550 msnm. Huanta, Ayacucho. Tesis (Título Ingeniero Agrónomo). 2017. Huanta. Ayacucho Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- (11) **OLMO, M.** Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. (Tesis Doctoral). Córdoba, España. Universidad de Córdoba. 2016. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10396/13381>.
- (12) **CÁRDENAS, E.** Efectos de la adición de enmiendas orgánicas y combinación con la fitoextracción mediante el uso de dos especies vegetales (*Brassica napus* y *Sinapis alba*), en las propiedades fisicoquímicas y biológicas de suelos mineros de España. Madrid, España. 2019. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. 2019. DOI:10.20868/UPM.thesis.57511.
- (13) **MARTÍNEZ, M.; ESPAÑA, J.; DÍAZ, J.** Effect of Eucalyptus globulus biochar addition on the availability of phosphorus in acidic soil. *Agronomía Colombiana*. 2017, vol. 35, no 1, p. 75-81. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=
- (14) **REYES, G.** Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biocarbón como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de *Acacia mangium* Willd. 2018. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69541>
- (15) **MURTAZA, G, et al.** Biochar for the management of nutrient impoverished and metal contaminated soils: Preparation, applications, and prospects. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2021, vol. 21, no 3, p. 2191-2213. DOI 10.1007/s42729-021-00514-z.

- (16) **ARÉVALO, E.** Valoración de la calidad del suelo mediante la aplicación de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) en la cuenca del Machángara-Saucay. Tesis (Título Ingeniero Ambiental). 2020. Cuenca, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19180>.
- (17) **AKER, C.** Evaluación del uso de estufas ecológicas, análisis de la producción y uso del biocarbón como enmienda del suelo en los rendimientos de maíz (*Zea mays*) en tres municipios de León, Nicaragua. Tesis (Mag. Sc. en Agricultura Ecológica). 2014. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.
- (18) **ZAMORA, G.** El biochar de *Guadua angustifolia* Kunth procedente de los residuos del aprovechamiento de plantaciones forestales como enmienda orgánica para el suelo. Tesis (Título en Ingeniería Forestal). 2020. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- (19) **REÁTEGUI, R., et al.** Biocarbón de cáscaras de semilla de palma aceitera enriquecido en biol de estiércol para mejorar suelos sobre pastoreados. *Llamkasun*, 2021, vol. 2, no 2, p. 15-37. DOI 10.47797/llamkasun.v2i2.39.
- (20) **ARÓSTEGUI, K.** Evaluación del efecto de biochar de residuos de sachá inchi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde, Ucayali, usando *Zea mays* con indicador. Tesis (Título Ingeniero Ambiental). 2019. Lima, Perú. Universidad Científica del Sur. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/762>.
- (21) **COOMES, O.; MILTNER, B.** Indigenous charcoal and biochar production: potential for soil improvement under shifting cultivation systems. *Land Degradation & Development*, 2017, vol. 28, no 3, p. 811-821. DOI 10.1002/ldr.2500. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2500>.
- (22) **POCOMUCHA, K.** Aplicación de biochar en el cultivo de lechuga var. Great Lakes 659 en el distrito San Agustín de Cajas. Tesis (Título de Ingeniero Agrónomo). 2020. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú.

- (23) **BORRELLI, P, et al.** Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, vol. 117, no 36, p. 21994-22001. DOI 10.1073/pnas.200140311.
- (24) **LAL, R.** Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 2015, vol. 7, no 5, p. 5875-5895. DOI 10.3390/su7055875.
- (25) **DORAN, J.; PARKIN, T.** Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Methods for assessing soil quality*, 1997, vol. 49, p. 25-37. DOI 10.2136/sssaspecpub49.c2.
- (26) **SEGUEDA, A., et al.** Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 2011, vol. 80, p. 29-37. Disponible en: <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>.
- (27) **MAURYA, S., et al.** Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, vol. 192, no 9, p. 1-22. DOI 10.1007/s10661-020-08556-z.
- (28) **ESCALANTE, A., et al.** Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 2016, vol. 34, no 3, p. 367-382. [citado 23 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/155>
- (29) **STEPHEN, J., et al.** Biochar production from agricultural and forestry wastes and microbial interactions. *En Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 2017. p. 443-473. DOI 10.1016/B978-0-444-63664-5.00019-8.
- (30) **SOLAIMAN, Z.; ANAWAR, H.** Application of biochars for soil constraints: challenges and solutions. *Pedosphere*, 2015, vol. 25, no 5, p. 631-638. DOI 10.1016/S1002-0160(15)30044-8.
- (31) **ALLOHVERDI, T., et al.** A review on current status of biochar uses in agriculture. *Molecules*, 2021, vol. 26, no 18, p. 5584. DOI 10.3390/molecules26185584.

- (32) **LEHMANN, J.**; 2015. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge, Segunda ed. Nueva York. JOSEPH, Stephen (ed.). ISBN: 978-0-415-70415-1.
- (33) **PUNTES, T.; RODRÍGUEZ, A.** Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Avances Investigación en Ingeniería*, 2021, vol. 18, no 2. DOI 10.18041/1794-4953/avances.2.7540. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/7540>.
- (34) **FREITEZ, N.s; VILLANUEVA, S.** Dissemination article: Biocarbon, an alternative to contaminated soils. *Ciencia en Revolución*. 2019, Vol. 5, No 16, p. 97–100, Disponible en: <http://www.cienciaenrevolucion.com.ve/16/Art02Dicimbre2019.pdf>.
- (35) **MAIA, C.** Biochar: uma nova ferramenta no manejo de solos. *En Embrapa Florestas- Artigo em anais de congresso (ALICE)*. Irati, 2010. Disponible en: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/860706/1/SP5616.pdf>.
- (36) **MINISTERIO DEL AMBIENTE - MINAM, PERÚ.** Guía para el muestreo de suelos. *Dirección General de Calidad Ambiental*. 2014. Lima, San Isidro.
- (37) **FERNÁNDEZ, R.** Contaminación y contaminantes del suelo. para enseñanza de grado en Escuelas de Medicina, Santiago de Chile. 2009, p. 53. Disponible en: <https://saludmigrantes.cl/wp-content/uploads/2019/09/manual-de-salud-ambiental-infantil.pdf#page=54>.
- (38) **JIMENEZ, R.** Introducción a la contaminación de suelos. 2017. 3era Edición, España: Mundi-Prensa Libros. ISBN: 978-84-8476-789-3.
- (39) **ACOSTA, Carlos.** El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 2007, vol. 3, no 5, p. 55-60. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2540941.pdf>.
- (40) **KHAN, R.** Influence of tillage on soil aeration. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1996, vol. 177, no 4, p. 253-259. DOI 10.1111/j.1439-037X.1996.tb00243.x.
- (41) **GHOSH, P., et al.** Life cycle assessment of waste-to-bioenergy processes: a review. *Bioreactors*, 2020, p. 105-122. DOI 10.1016/B978-0-12-821264-6.00008-5.

- (42) **MORA, K.** Prácticas agropecuarias coloniales y degradación del suelo en el Valle de Saquencipá, Provincia de Tunja, siglos XVI y XVII. 2012. Bogota, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2012.; Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9982>.
- (43) **ADMINISTRACIÓN DE INFORMACIÓN ENERGÉTICA DE EE. UU. (EIA).** *Biomass—renewable energy from plants and animals*. 2021. Washington, DC. Estados Unidos.
- (44) **JIMÉNEZ, A.; JACINTO, A.** Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de negocios*, 2017, vol. 82, p. 1-26. [citado 25 de octubre de 2021];(82):175-95. Disponible en: <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/1647>
- (45) **HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.; MENDOZA TORRES, C. P.** Metodología de la investigación: las tres rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Mc Graw Hill Education*; 2018. ed. Vol. 1. ISBN 978-1-4562-6096-5. 2018.
- (46) **FERNÁNDES, R.; TRAPERO, A; DOMÍNGUEZ, J.** Experimentación en agricultura. *Junta de Andalucía Consejería de Agricultura y Pesca*, 2010. 350 p. ISBN: 978-84-8474-281-4
- (47) **MENDOZA, W; ZEGARRA, J.** La economía del VRAEM: diagnóstico y opciones de política. 1a ed. *Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional CIES*, Consorcio de Investigación Económica y Social, 2017.
- (48) **BEDOYA, E; EDUARDO, C; BURNEO, Z.** Una agricultura insostenible y la crisis del barbecho: el caso de los agricultores del valle de los ríos Apurímac y Ene, VRAE. *Anthropologica*, 2017, vol. 35, no 38, p. 211-240.
- (49) **BAZÁN TAPIA, Rubén.** Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. 1er ed. 2017. Pag.1-92. Disponible en: <http://200.123.25.5/handle/20.500.12955/504>.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

INFLUENCIA DEL BIOCHAR EN SUELOS AGRICOLAS DEGRADADOS DE LA PROVINCIA DE LA MAR – AYACUCHO, 2021

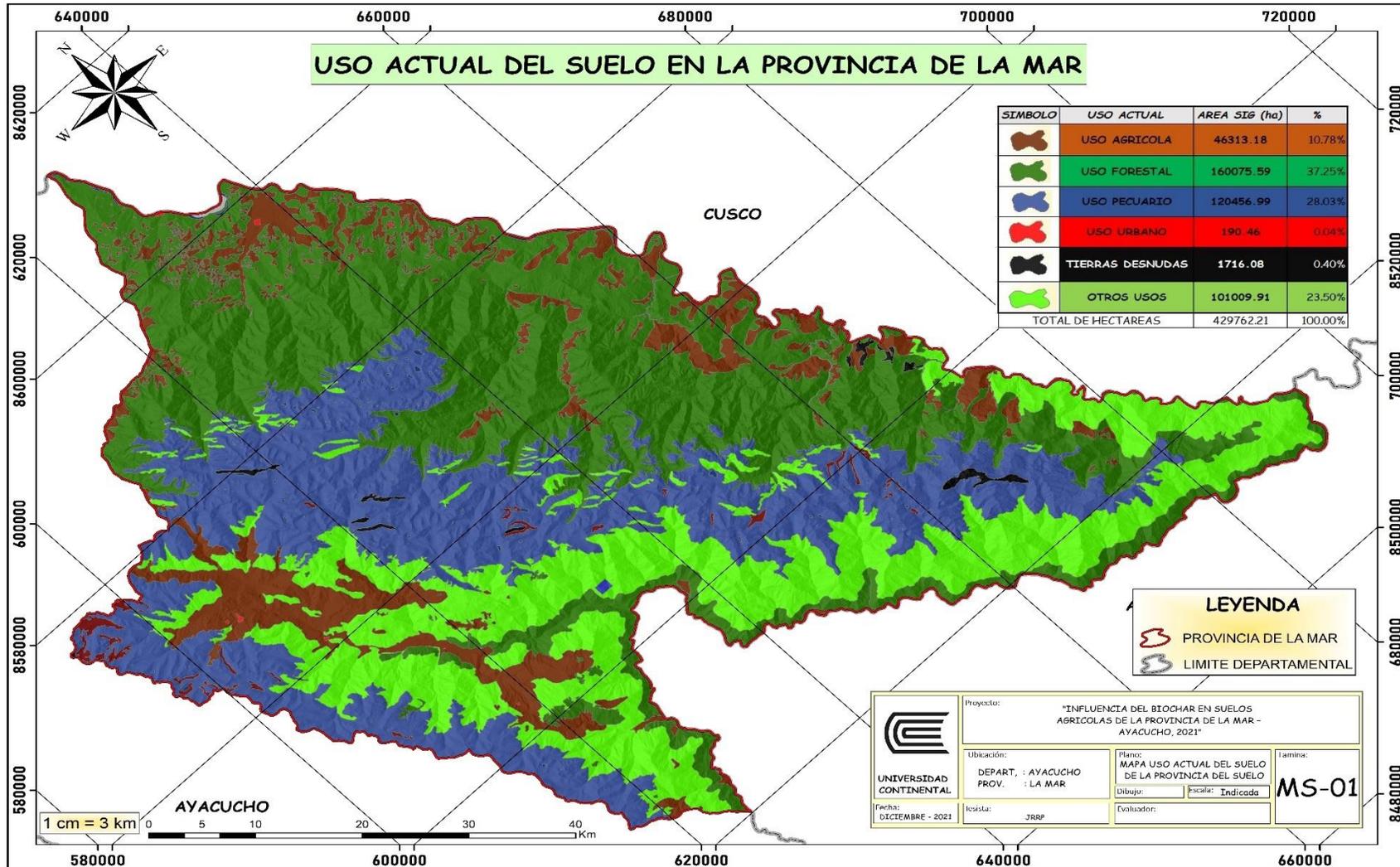
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>Problema general:</p> <p>¿Cuál es la influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados de la Provincia de La Mar - Ayacucho, 2021?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar la influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados de la Provincia de La Mar, Ayacucho - 2021</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>- H₁: La influencia del biochar es significativa en los suelos agrícolas degradados de la Provincia de La Mar – Ayacucho, 2021, es significativa.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>- Porcentaje de Biochar</p> <p>Indicadores:</p> <p>Dosis de 10%, 30 % y 50%</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>El tipo de investigación es aplicado con enfoque cuantitativo.</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>El diseño de la investigación es experimental de modo cuasi-experimental.</p>	<p>Población</p> <p>La población será compuesta por los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar - Ayacucho.</p> <p>Muestra</p> <p>La muestra será extraída por conveniencia y constará de suelos agrícolas con distintos tratamientos.</p> <p>Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación - Análisis de resultados. <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Libreta de campo - Informe de laboratorio <p>Estadística</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bivariable - Datos cuantitativos
<p>Problemas específicos:</p> <p>¿Cuál es la influencia del biochar en los parámetros químicos: pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, N, P, K y Capacidad de Intercambio Catiónico, en los suelos agrícolas degradados de la Provincia de La Mar – Ayacucho, 2021?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>Determinar la influencia del biochar en los parámetros químicos: pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, N, P, K y Capacidad de Intercambio Catiónico, en los suelos agrícolas degradados de la Provincia de La Mar – Ayacucho, 2021.</p>	<p>Hipótesis específica</p> <p>La influencia del biochar es significativa en los parámetros químicos: pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, N, P, K y Capacidad de Intercambio Catiónico, en los suelos agrícolas degradados de la Provincia de La Mar – Ayacucho, 2021, es significativa.</p>	<p>Variable Dependiente</p> <p>- Parámetros químicos.</p> <p>Indicadores:</p> <p>Químico: pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, N, P, K y Capacidad de Intercambio Catiónico</p>	<p>El diseño de la investigación es experimental de modo cuasi-experimental.</p>	<p>Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación - Análisis de resultados. <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Libreta de campo - Informe de laboratorio <p>Estadística</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bivariable - Datos cuantitativos

ANEXO 2. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

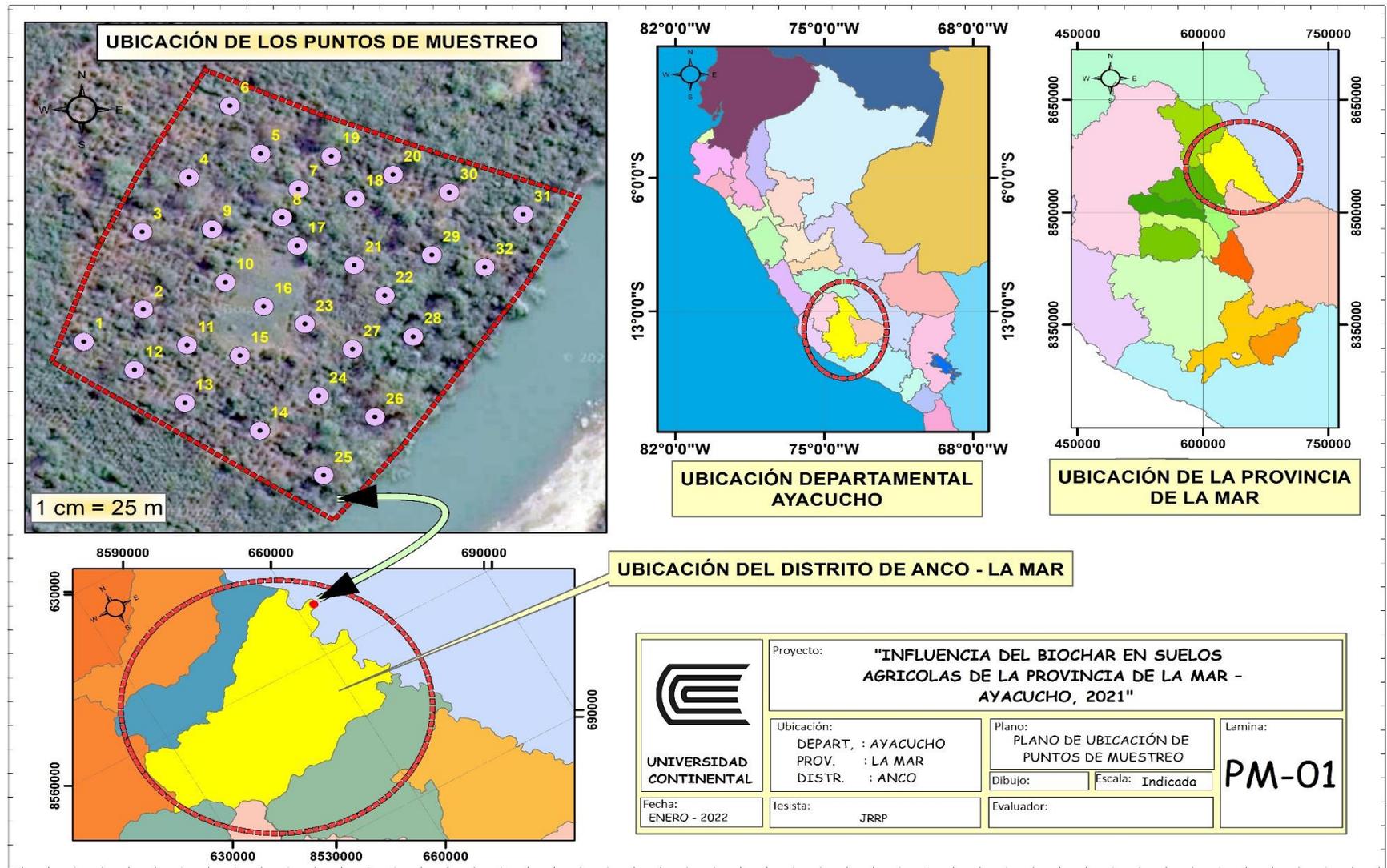
**TITULO: INFLUENCIA DEL BIOCHAR EN SUELOS AGRICOLAS DEGRADADOS
DE LA PROVINCIA DE LA MAR – AYACUCHO, 2021**

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Sub Dimensiones	Operacionalización	
				Indicadores	Tipo de Variable
V. Independiente Biochar	Es cualquier material rico en carbono obtenido de biomasa carbonizada mediante la pirolisis en bajas condiciones de oxígeno para su uso como acondicionador de suelos.	Porcentaje de Biochar	Dosis (%)	10%	Numérico
				30%	Numérico
				50%	Numérico
V. Dependiente Suelo agrícola degradado	Un suelo agrícola degradado es aquel que ha perdido parte o la totalidad de su capacidad para sostener la producción agrícola debido a la erosión, la compactación, la salinización, la acidificación, la contaminación y otros procesos que pueden reducir su calidad.	Parámetro químico	pH		Numérico
			Conductividad eléctrica	mS/m	Numérico
			Materia orgánica	%	Numérico
			N disponible	mg/kg	Numérico
			P disponible	mg/kg	Numérico
			K disponible	mg/kg	
			Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	Numérico

ANEXO 3. MAPA DEL USO ACTUAL DEL SUELO EN LA PROVINCIA DE LA MAR



ANEXO 5. PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.



ANEXO 6. PROCEDIMIENTO DEL PROYECTO DE TESIS.



ANEXO 7. RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS



PERÚ Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



Estación Experimental Agraria Canaán
Laboratorio análisis de suelos, agua y foliares



LABSAF

HOJA DE RESULTADOS N° 868

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Puerto Naranjal – Anco – La Mar
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	16/11/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	16 al 19/11/2021
Fecha de expedición del informe:	19/11/2021

Datos de la muestra:

Código:	SC - 2021 -868
Matriz:	Suelo
Lote:	-
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
								m equivalente/100 g							
SC - 2021 -868	6.83	0.143	1.93	0.10	16.17	305.34	0	4.52	0.44	0.38	0.20	0	5.53	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			
	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
	%			
SC - 2021 -868	49.12	24.00	26.88	FrArA





Av. La Molina 1981, La Molina
Central Telefónica: 240-2100.Anexo 214
www.gob.pe/inia
www.gob.pe/midagri



PERÚ Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



Estación Experimental Agraria de Canaán
Laboratorio análisis de suelos, agua y foliares



LABSAF

HOJA DE RESULTADOS N° 957

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Los Olivos – San Juan Bautista
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	14/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	15 al 22/12/2021
Fecha de expedición del informe:	22/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-957-CA-21
Matriz:	Suelo – Tratamiento N° 01 M – A
Lote:	-
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
								m equivalente/100 g							
SU-957-CA-21	6.97	1.30	3.86	0.19	21.72	400	0.00	1.58	0.41	0.49	0.09	0.00	2.57	0	100.00

Código	ANALISIS MECANICO			
	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
	%			
SU-957-CA-21	51.12	26.00	22.88	FrArA





Av. La Molina 1981, La Molina
Central Telefónica: 240-2100.Anexo 214
www.gob.pe/inia
www.gob.pe/midagri

HOJA DE RESULTADOS N° 960

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Los Olivos – San Juan Bautista
RUC/DNI	70425264
Fecha de recepción:	14/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	15 al 22/12/2021
Fecha de expedición del informe:	22/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-960-CA-21
Matriz:	Suelo - Tratamiento N° 01 M - B
Lote	-
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-960-CA-21	7.17	1.17	2.28	0.16	34.13	245	0.00	2.75	0.31	0.44	0.05	0.00	3.55	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
SU-960-CA-21	49.84	24.72	25.44	FrArA



HOJA DE RESULTADOS N° 958

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Los Olivos – San Juan Bautista
RUC/DNI	70425264
Fecha de recepción:	14/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	15 al 22/12/2021
Fecha de expedición del informe:	22/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-958-CA-21
Matriz:	Suelo - Tratamiento N° 02 M - A
Lote	-
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-958-CA-21	7.16	3.49	7.45	0.37	42.31	432	0.00	2.89	0.51	1.03	0.04	0.00	4.48	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
SU-958-CA-21	51.12	26.00	22.88	FrArA



HOJA DE RESULTADOS N° 961

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Los Olivos – San Juan Bautista
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	14/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	15 al 22/12/2021
Fecha de expedición del informe:	22/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-961-CA-21
Matriz:	Suelo - Tratamiento N° 02 M – B
Lote:	-
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N	P	K	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-961-CA-21	7.28	2.06	3.72	0.19	37.61	414	0.00	2.53	0.28	0.46	0.06	0.00	3.32	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla	
SU-961-CA-21	51.84	22.72	25.44	FrArA



HOJA DE RESULTADOS N° 959

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Los Olivos – San Juan Bautista
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	14/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	15 al 22/12/2021
Fecha de expedición del informe:	22/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-959-CA-21
Matriz:	Suelo - Tratamiento N° 03 M – A
Lote:	-
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N	P	K	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-959-CA-21	7.12	1.55	5.24	0.26	22.19	412	0.00	2.77	0.46	0.70	0.07	0.00	4.00	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla	
SU-957-CA-21	53.12	24.00	22.88	FrArA



HOJA DE RESULTADOS N° 962

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Los Olivos – San Juan Bautista
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	14/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	15 al 22/12/2021
Fecha de expedición del informe:	22/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-962-CA-21
Matriz:	Suelo - Tratamiento N° 03 M - B
Lote:	-
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K %	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
								m equivalente/100 g							
SU-962-CA-21	7.25	3.02	4.34	0.22	41.27	419	0.00	2.79	0.30	0.74	0.11	0.00	3.94	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			
	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
	%			
SU-962-CA-21	55.84	22.72	21.44	FrArA



Av. La Molina 1981, La Molina
Central Telefónica: 240-2100.Annexo 214
www.gob.pe/mia
www.gob.pe/midagri

HOJA DE RESULTADOS N° 971

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Anco – Puerto Naranjal
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	28/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	28 al 30/12/2021
Fecha de expedición del informe:	30/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-971-CA-21
Matriz:	Suelo
Lote:	Tratamiento N° 01 M - A
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K %	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
								m equivalente/100 g							
SU-971-CA-21	6.89	1.47	2.48	0.12	16.17	231	0.00	2.67	0.37	0.59	0.02	0.00	3.66	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			
	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
	%			
SU-971-CA-21	48.84	26.00	25.16	FrArA



Av. La Molina 1981, La Molina
Central Telefónica: 240-2100.Annexo 214
www.gob.pe/mia
www.gob.pe/midagri

HOJA DE RESULTADOS N° 974

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Anco – Puerto Naranjal
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	28/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	28 al 30/12/2021
Fecha de expedición del informe:	30/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-974-CA-21
Matriz:	Suelo
Lote:	Tratamiento N° 01 M - B
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES m equivalente/100 g					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-974-CA-21	7.14	1.31	2.90	0.14	14.95	215	0.00	2.43	0.29	0.55	0.04	0.00	3.31	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla	
SU-974-CA-21	49.84	24.00	26.16	FrArA



HOJA DE RESULTADOS N° 972

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Anco – Puerto Naranjal
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	28/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	28 al 30/12/2021
Fecha de expedición del informe:	30/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-972-CA-21
Matriz:	Suelo
Lote:	Tratamiento N° 02 M - A
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES m equivalente/100 g					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-972-CA-21	7.11	1.83	2.97	0.15	18.15	293	0.00	2.51	0.34	0.75	0.08	0.00	3.68	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla	
SU-972-CA-21	48.84	25.00	26.16	FrArA



HOJA DE RESULTADOS N° 975

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Anco – Puerto Naranjal
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	28/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	28 al 30/12/2021
Fecha de expedición del informe:	30/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-975-CA-21
Matriz:	Suelo
Lote:	Tratamiento N° 02 M - B
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-975-CA-21	7.20	1.66	3.31	0.17	20.87	332	0.00	2.72	0.32	0.85	0.08	0.00	3.96	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
SU-975-CA-21	49.84	24.00	26.16	FrArA



HOJA DE RESULTADOS N° 973

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Anco – Puerto Naranjal
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	28/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	28 al 30/12/2021
Fecha de expedición del informe:	30/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-973-CA-21
Matriz:	Suelo
Lote:	Tratamiento N° 03 M - A
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-973-CA-21	7.31	2.55	3.59	0.18	25.95	379	0.00	2.55	0.32	0.97	0.06	0.00	3.89	0	100

Código	ANALISIS MECANICO			
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
SU-973-CA-21	53.84	24.00	22.16	FrArA



HOJA DE RESULTADOS N° 976

Datos del solicitante:

Nombre:	JHORBY RAUL RAMIREZ PALOMINO
Dirección:	Anco – Puerto Naranjal
RUC/DNI:	70425264
Fecha de recepción:	28/12/2021
Fecha de ejecución de actividades en el Lab.:	28 al 30/12/2021
Fecha de expedición del informe:	30/12/2021

Datos de la muestra:

Código:	SU-976-CA-21
Matriz:	Suelo
Lote:	Tratamiento N° 03 M – B
Conservación:	-
Observación:	-

Código	pH	C.E. mS/cm	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	CATIONES CAMBIABLES m equivalente/100 g					CIC	Acidez cambiabile %	Base cambiabile %
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
SU-976-CA-21	7.37	2.65	3.45	0.17	36.57	445	0.00	3.01	0.40	1.14	0.07	0.00	4.62	0	100

Código	ANÁLISIS MECÁNICO			
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
SU-976-CA-21	53.84	22.00	24.16	FrArA



Av. La Molina 1981, La Molina
Central Telefónica: 240-2100.Anejo 214
www.gob.pe/inia
www.gob.pe/midagri

ANEXO 8. CERTIFICADO DE INACAL DEL LABORATORIO

Certificado



INACAL
Instituto Nacional de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA – INIA - LABORATORIO DE SUELOS AGUAS Y FOLIARES

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Av. Abancay N° 299, Huamanga, Ayacucho, Provincia y departamento de Ayacucho.

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 13 de diciembre de 2022
Fecha de Vencimiento: 12 de diciembre de 2025



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU
20600283015 soft
Fecha: 2022/12/23 08:43:40-0500
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora (d.t.), Dirección de Acreditación – INACAL

Fecha de emisión: 15 de diciembre de 2022



Cédula N° : 459-3022-INACAL-DA
Control N° : 061-2022-INACAL-DA
Registro N° : LE-200

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y célula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/compartir/acreditados, y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Co-operation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).