

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



**Parámetros fisicoquímicos de suelos arenosos combinado con
biochar como enmienda orgánica**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Gina Fiorella Luna Canchari
Nicole Andrea Mendoza Soto

Asesor:

Dr. Alex Rubén Huamán De La Cruz

Lima, mayo 2023

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo Alex Rubén Huamán De La Cruz, docente de la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Parámetros fisicoquímicos de suelos arenosos combinados con biochar como enmienda orgánica**” de los autores Gina Fiorella Luna Canchari y Nicole Andrea Mendoza Soto, tiene un índice de similitud de 15 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

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

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lurigancho Chosica a los 07 días del mes de junio del año 2023.



Alex Rubén Huamán De La Cruz

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **30 días** día(s) del mes de **mayo del año 2023** siendo **las 08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **el Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas y el Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio**, y el asesor **Dr. Alex Ruben Huaman de la Cruz**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "*Parámetros fisicoquímicos de suelos arenosos combinados con biochar como enmienda orgánica*"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **NICOLE ANDREA MENDOZA SOTO**

.....b) **GINA FIORELLA LUNA CANCHARI**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

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

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

Candidato (a): **NICOLE ANDREA MENDOZA SOTO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): **GINA FIORELLA LUNA CANCHARI**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

() Ver parte posterior*

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

Presidente
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Asesor
Dr. Alex Ruben
Huaman De la Cruz

Miembro
Mg. Joel Hugo
Fernandez Rojas

Miembro
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio

Candidato/a (a)
Nicole Andrea

Candidato/a (b)
Gina Fiorella

Agradecimientos

En primer lugar a Dios por guiarnos en el transcurso de nuestra vida académica. A las personas que ofrecieron su apoyo incondicional para el armado y traslado de las estructuras empleadas en el prototipo. Al personal de la Universidad Peruana Unión, especialmente a los docentes y al jefe de laboratorio de Saneamiento Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura ubicado en la Universidad Peruana Unión.

Dedicatoria

A nuestros padres, por su apoyo incondicional en nuestro sueño profesional.

A nuestros hermanos, que lograron motivarnos con su ejemplo o apoyo con palabras alentadoras que nos inspiraban a seguir.

A nuestros amigos, que fueron el soporte emocional dentro de las aulas y afuera de ellas.

ÍNDICE

1. Versión final del artículo.....	5
2. Anexos	31
2.1. Evidencia de sumisión del artículo.....	31
2.2. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad	33

1. Versión final del artículo

Parámetros fisicoquímicos de suelos arenosos combinado con biochar como enmienda orgánica

Physicochemical parameters of sandy soils combined with biochar as an organic amendment

Gina Fiorella Luna-Canchari¹ ([ORCID](#)), Nicole Andrea Mendoza-Soto^{2†} ([ORCID](#)), y Alex Rubén Huamán-De La Cruz³ ([ORCID](#))

¹ E.P. Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión (UPeU), Carretera central Km19 Ñaña, Perú.

² E.P. Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión (UPeU), Carretera central Km19 Ñaña, Perú.

³ Universidad Tecnológica del Perú, Universidad Nacional de Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, la Merced 15106, Perú.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad del suelo a través de la medición de los parámetros fisicoquímicos ante la aplicación de biocarbón. El estudio inició con la caracterización del suelo para obtener los datos fisicoquímicos preliminares (Pre), posterior a ello se continuó con el método de pirólisis lenta para la elaboración de biocarbón, empleando como materia prima leña, yesca, ramas y restos de poda, seguidamente se prepararon los sustratos a tres concentraciones diferentes de biocarbón, 0% (T-control), 10% (T1) y 25% (T2). Los parámetros físicos que se analizaron en el laboratorio fueron, Densidad Aparente (DA), Densidad Real (DR), Porosidad (PO), pH, Conductividad Eléctrica (CE) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), y con respecto a los parámetros químicos se analizó Materia Orgánica (MO), Nitrato (NO₃), Potasio (K), Fósforo (P), Magnesio (Mg), y Calcio (Ca). Los resultados indicaron que el T2 mostró parámetros más eficientes para mejorar la calidad del suelo, regulando el pH (7.97), aumentando la PO (23.22%), CIC (1.2 meq/100gr), MO (15.81%), NO₃ (9.10 mg/l), P (0.40 mg/l) y Ca (96.33 mg/l), por otro lado, el T1 también obtuvo resultados favorables en la calidad fisicoquímica del suelo, resaltando su mayor eficacia en las concentraciones de K y Mg, sin embargo, en el T-Control no presentó resultados favorables. Finalmente se concluye que el biocarbón empleado como enmienda orgánica contribuye significativamente en la mejora de la calidad del suelo, fortaleciendo las propiedades fisicoquímicas ante posibles erosiones y promoviendo la preservación de ecosistemas

terrestres.

Palabras clave: *Biocarbón, Calidad, Parámetros fisicoquímicos, Pirolisis, Suelo*

SUMMARY

The objective of the research was to evaluate the quality of the soil through the measurement of the physicochemical parameters before the application of Biochar. The study began with the characterization of the soil to obtain the preliminary physicochemical data (Pre), after which the slow pyrolysis method for the production of biochar was continued, using firewood, tinder, branches and pruning remains as raw material, followed by Substrates were prepared at three different concentrations of biochar, 0% (T-control), 10% (T1) and 25% (T2). The physical parameters that were analyzed in the laboratory were Apparent Density (DA), Real Density (DR), Porosity (PO), pH, Electrical Conductivity (EC) and Cation Exchange Capacity (CEC), and with respect to the parameters Chemicals Organic Matter (OM), Nitrate (NO₃), Potassium (K), Phosphorus (P), Magnesium (Mg), and Calcium (Ca) were analyzed. The results indicated that T2 showed more efficient parameters to improve soil quality, regulating pH (7.97), increasing PO (23.22%), CIC (1.2 meq/100gr), MO (15.81%), NO₃ (9.10 mg /l), P (0.40 mg/l) and Ca (96.33 mg/l), on the other hand, T1 also obtained favorable results in the physicochemical quality of the soil, highlighting its greater efficiency in the concentrations of K and Mg, without However, in the T-Control it did not present favorable results. Finally, it is concluded that the biochar used as an organic amendment contributes significantly to improving soil quality, strengthening the physicochemical properties against possible erosion and promoting the preservation of terrestrial ecosystems.

Index words: *Biochar, Quality, Physicochemical parameters, Pyrolysis, Soil*

INTRODUCCIÓN

La degradación de suelos es una problemática que afecta a nivel mundial, y está principalmente influenciada por actividades de origen antropogénico, como las industriales, mineras, de pastoreo, agrícolas, entre otras (Espinosa et al., 2011). Este problema es el resultado de la alteración de las características físicas, químicas y biológicas del suelo a causa de la erosión, desertificación y deforestación (Acevedo et al., 2021). El suelo en su estado natural está en equilibrio con la biosfera y biota, y un cambio en su estructura puede desequilibrarlo hasta perder sus principales funciones, la sostenibilidad de vida y producción (Espinosa et al., 2011). López (2001) menciona que la degradación de los suelos por la desertificación es uno de los problemas ambientales más grandes en el mundo, tanto que considera que afecta aproximadamente al 70% en las tierras productivas. Y según Rojas e Ibarra (2003) la desertificación amenaza a 3 200 millones de hectáreas de tierra, dañando varias regiones del planeta, como África, que cuenta con el 22,4% de su superficie de tierra afectada. Así mismo, en nuestra región, LEISA alega que 306 millones de hectáreas de suelos latinoamericanos fueron degradados a causada de actividades antropogénicas (2004). Dicha información se sostiene por la AID (1993) pues mencionó que Latinoamérica fue la más afectada en los años 80, pues registró que 2 millones de kilómetros cuadrados de tierras de cultivo habían sido erosionados. Ahora, se sabe que esta región es la más afectada, y en los últimos años ha vivido varios eventos de degradación, en sólo Colombia-Cesar el 90% de los suelos del departamento sufrieron un proceso de deterioro, afectando su capacidad productiva (Murillo et al., 2014). En México el 80% de su territorio total es afectado por la desertificación, disminuyendo los rendimiento agrícolas, pecuarios y forestales, así como la diversidad biológica (López, 2001). Y si hablamos de la superficie del Perú, los suelos degradados ocupan alrededor del 40%, colocando al país en el tercer lugar de América del Sur, luego de Argentina y Brasil (Morales et al., 2013).

Conociendo el problema se ha visto en la necesidad de desarrollar tecnologías que sirvan para contrarrestar el efecto de la degradación, el uso del Biochar es una posible solución. El Biochar o Biocarbon es un subproducto poroso que se obtiene de la descomposición térmica de materiales orgánicos con uso limitado o en ausencia de oxígeno, dicho proceso es conocido como "Pirolisis" (Escalante et al., 2016). La pirolisis se da en temperaturas de 400 - 800°C, específicamente la pirolisis lenta se da entre 450 - 650°C (Trujillo et al., 2019). A diferencia del carbón convencional, el Biochar es usado en las actividades agrícolas como enmienda orgánica, pues ayuda en la restauración y recuperación de los suelos degradados (Trujillo et al., 2019). La restauración de un suelo implica un conjunto de técnicas y procedimientos que buscan establecer las condiciones normales de un sistema ecológico que se encuentra en deterioro, ayudando a las propiedades físicas, químicas y biológicas, dando un valor agregado al mejorar la fertilidad (Fiallos et al., 2015). Al usar el Biocarbón como enmienda orgánica, el suelo puede manifestar mejoras en las propiedades físicas como la textura, estructura,

distribución del tamaño de poros, área superficial total, densidad aparente, fertilidad, entre otras (Gómez et al., 2016). Así mismo, mejora las funciones como portador de microorganismos (hongos, micorrízicos, etc), teniendo como resultado un suelo con poblaciones de hongos, micorrízicos, etc; quienes trabajan en la biorremediación (Escalante, et al., 2016). Sin embargo, el mayor reconocimiento del Biochar se da por el secuestro de carbono (Milesi et al., 2020), siendo propuesto para la reducción de los efectos del cambio climático (Steiner, 2010), ayudando a mitigar el “efecto invernadero”. Además, a parte del beneficio en la conservación de suelos, es importante mencionar que el Biocarbon se ha visto como solución para mejorar el rendimiento de cultivos agrícolas, como la avena (*Avena sativa*) (Concilico et al., 2018), maíz (*Zea mays*) (Gómez et al., 2016), Camote (*Ipomoea batatas*) (Walter & Rao, 2015), frejol (*Phaseolus vulgaris*) (Bicalho et al., 2017), ente otros. Ante lo expuesto anteriormente, surge el objetivo del artículo, evaluar la calidad del suelo a través de la medición de los parámetros fisicoquímicos ante la aplicación de biocarbón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el Laboratorio de edafología de la Universidad Peruana Unión sede Lima en Lurigancho – Chosica, ubicado en 299488.95 m E y 8674066.66 m S, a una altitud 423 msnm (Ver Figura 1).

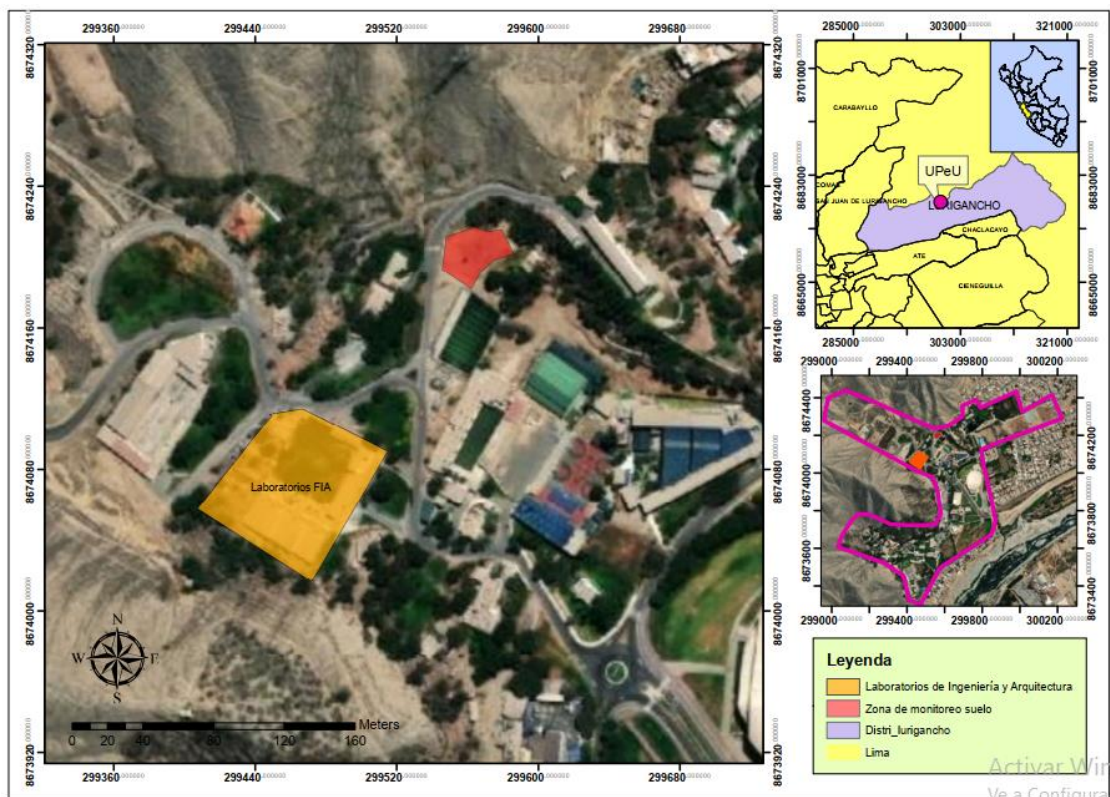


Figure 1. Ubicación del área de estudio.

Obtención de la materia prima

Para producir Biochar se empleó como materia prima (MP), leña, yesca, ramas y restos de árboles que se obtuvieron de la poda de las áreas verdes del Distrito de Chaclacayo. Estos restos suelen ser recolectados y llevados a un centro de acopio, para el trabajo se empleó 35 kg de materia prima.

Construcción del sistema de producción de Biochar

El sistema fue elaborado con 02 cilindros metálicos, el primero contaba con un diámetro de 58cm y una altura de 70cm, y tenía ocho orificios que permitían el ingreso limitado de oxígeno (Ver Figura 2a). El segundo era relativamente pequeño, con un diámetro de 38cm y una altura 40cm, y con cinco orificios de ventilación (Ver Figura 2a). El interior de los cilindros fue el área en donde se colocó la MP que fue carbonizada y la capacidad fue de 20kg. Es importante mencionar que el sistema contaba con una tapa hermética que permitía el ingreso y salida moderada del oxígeno (Ver Figura 2b).

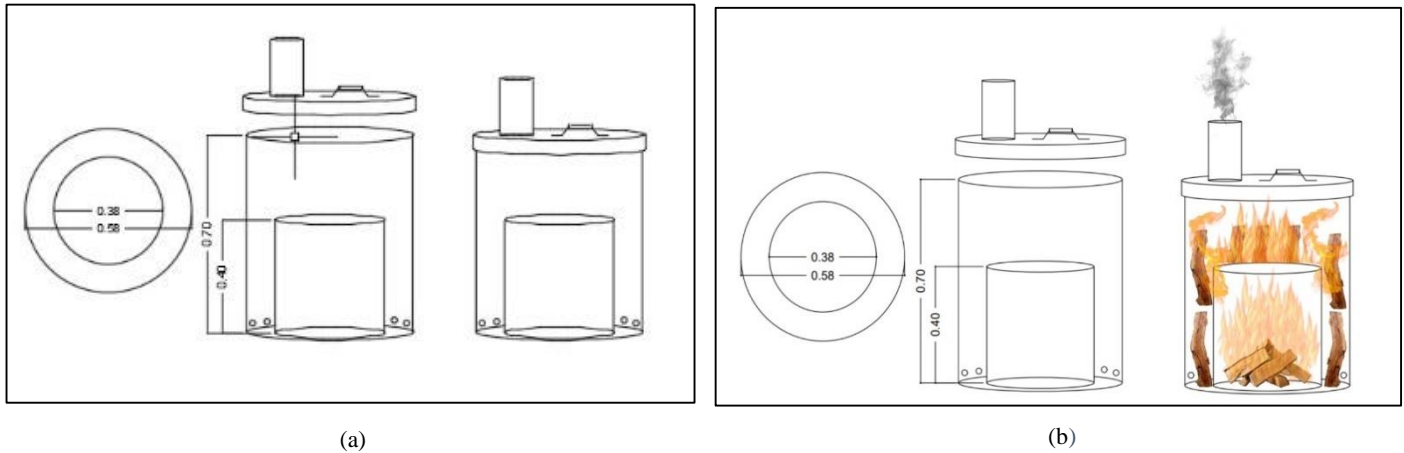


Figure 2. Sistema de producción de Biochar: (a) Diseño del sistema de producción; (b) Sistema de producción de Biochar.

Obtención de Biochar

La MP se carbonizó a través del proceso de pirolisis lenta, empleándose un total de 35 kg en conjunto. Para la carbonización primero se dejó secar la MP por un día, después esta fue incorporada en el sistema de producción a escala y se adicionó calor para iniciar con la descomposición del material, durante este proceso el ingreso de oxígeno fue limitado gracias al diseño de los orificios en la parte inferior del cilindro y la tapa en la parte superior, estas condiciones generaron una reacción termoquímica donde la temperatura varió de 400 a 600°C. El proceso duró 4 horas con 15 minutos y fue repetido 2 veces hasta terminar la MP recolectada (Ver figura 3).

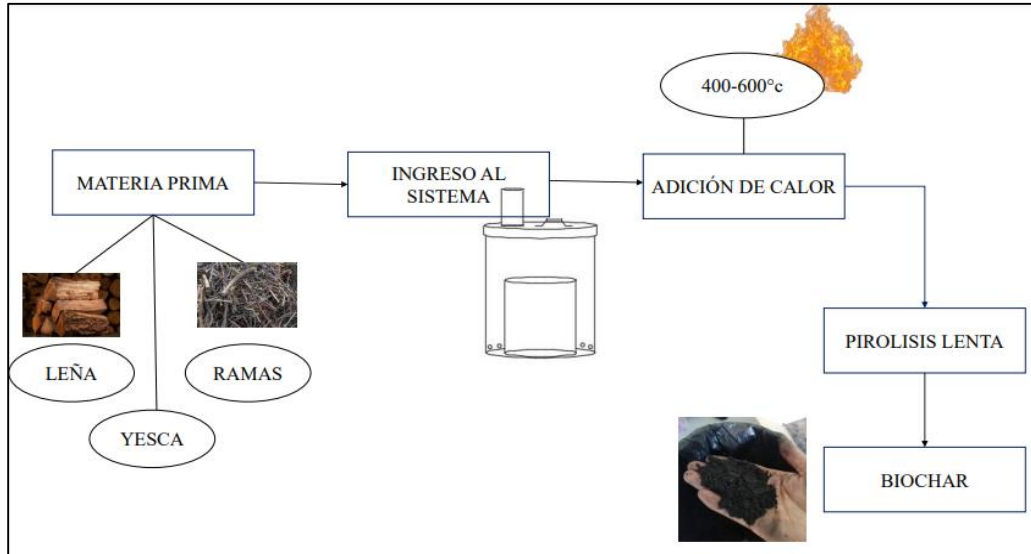


Figure 3. Proceso de obtención de Biochar.

Una vez obtenido el Biocarbón, fue trasladado al laboratorio, posteriormente con ayuda de un mortero se trituro y se realizó un tamizado (Tamaño 1.18 mm con especificaciones ASTM-E-11) (Ver figura 4). Se obtuvo un total de 4,85kg de Biochar, siendo empleado en el trabajo 3.5 kg.



Figure 4. Triturado y Tamizado del Biochar.

Obtención del suelo

El suelo que se utilizó fue recolectado de un área de 25m² ubicado a espaldas del Colegio Unión en las instalaciones de la Universidad Peruana Unión, con las siguientes coordenadas 299554.86 E y 8674197.06 N, a una altitud 300 msnm (Ver figura 5). La metodología usada fue de patrones con distribución uniforme presentado en la "Guía para muestreo de suelo - MINAM", que consistía en realizar un muestreo estratificado con patrón aleatorio sobre una rejilla regular, el cual dio un total de 25 submuestras a una profundidad de 30 cm. En cada punto de muestreo se obtuvo aproximadamente 300g de

suelo, todas las muestras fueron juntas, homogeneizadas, tamizadas (Tamaño 1.18 mm con especificaciones ASTM-E-11) y cuarteadas obteniendo 1 kg de muestra representativa.

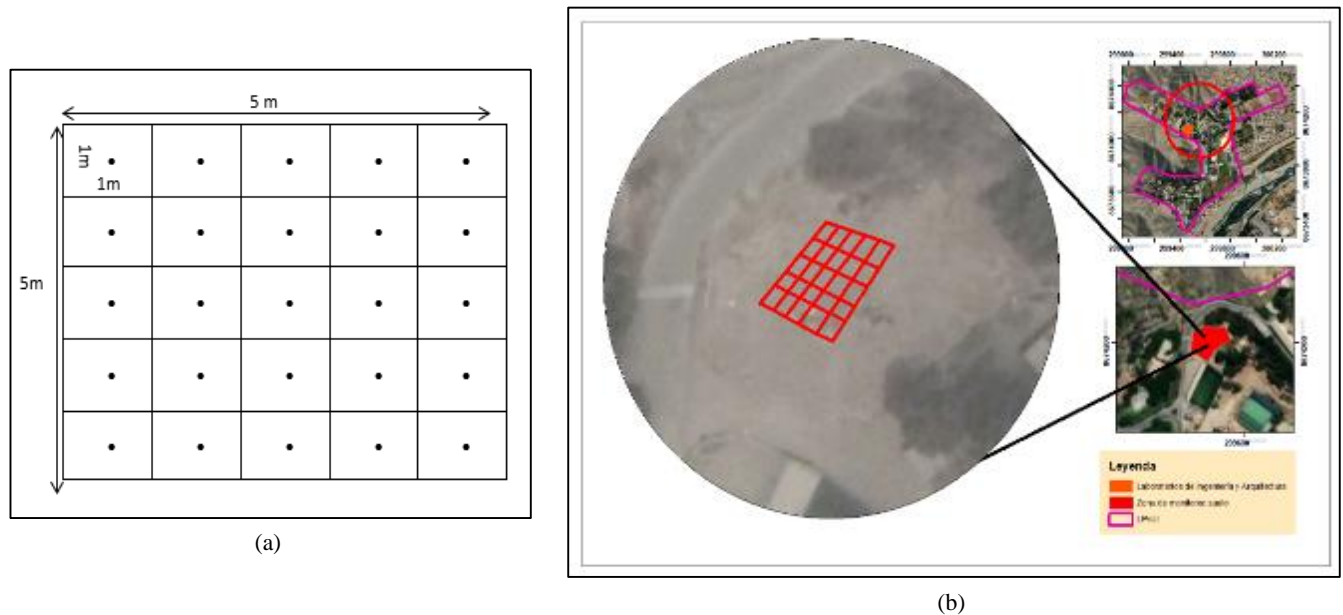


Figure 5. Ubicación del área de muestreo del suelo: (a) Patrón de distribución de muestro; (b) Ubicación del área.

Luego de obtener el suelo se procedió a realizar una caracterización, la cual presentó las siguientes condiciones:

Tabla 1. Caracterización del suelo en estudio

PARÁMETRO	VALOR
Densidad Aparente (D.A)	2.20 g/cm ³
Densidad Real (D.R)	2.74 g/cm ³
Porosidad (PO)	19.87%
PH	7.85
Conductividad Eléctrica (CE)	726 uS/cm
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	0.9 meq/100g
Materia Orgánica (MO)	(3.23%)
Textura	Franco arenoso

Nitrato (NO ₃)	1.40 mg/l)
Potasio (K)	4.5 mg/L
Fósforo (P)	1.10 mg/
Calcio (Ca)	165 mg/L
Magnesio ((Mg)	20 mg/L
Color	Húmedo: Dark Brown Seco: Yellowish Brown

Aplicación del Biochar y siembra del nabo (Brassica rapa subsprapa)

Para llevar a cabo el experimento se realizaron tres tratamientos, el primero (T-Control) tuvo una concentración de 0% (0g de Biochar), el segundo (T1) tuvo una concentración de 10% (200g de Biochar) y el tercero (T2) fue de 25% (500g de Biochar), cada tratamiento tuvo cinco repeticiones, dando un total de 15 muestras, las cuales fueron codificadas de acuerdo a la Cuadro 2. Seguidamente, en cada maceta se sembraron cinco semillas de nabo, las cuales fueron expuestas al sol en el mismo periodo de tiempo y regadas con aproximadamente 250 ml de agua con frecuencia interdiaria.

Tabla 2. Codificación de las macetas.

N°	Código	Descripción
1	M1(0%)	Primera Repetición de concentración 0%
2	M2(0%)	Segunda Repetición de concentración 0%
3	M3(0%)	Tercera Repetición de concentración 0%
4	M4(0%)	Cuarta Repetición de concentración 0%
5	M5(0%)	Quinta Repetición de concentración 0%
6	M1(10%)	Primera Repetición de concentración 10%
7	M2(10%)	Segunda Repetición de concentración 10%
8	M3(10%)	Tercera Repetición de concentración 10%
9	M4(10%)	Cuarta Repetición de concentración 10%
10	M5(10%)	Quinta Repetición de concentración 10%
11	M1(25%)	Primera Repetición de concentración 25%

12	M2(25%) Segunda Repetición de concentración 25%
13	M3(25%) Tercera Repetición de concentración 25%
14	M4(25%) Cuarta Repetición de concentración 25%
15	M5(25%) Quinta Repetición de concentración 25%

Monitoreo de crecimiento

Durante el desarrollo del trabajo se realizó un seguimiento al brote de las plantas, el cual consistió en contar las semillas que lograron germinar, regarlas, asegurar el perímetro, y realizar observaciones minuciosas a fin de que el crecimiento no sea interrumpido por factores externos. El periodo de evaluación fue de 45 días con una frecuencia de 2-5 días (Ver Cuadro 3). De acuerdo al seguimiento realizado se pudo observar que el tratamiento T2 (25%) obtuvo mayor número de brotes, seguido por el T1 (10%), y en el T-Control (0%) no se registraron brotes al final de la evaluación.

Tabla 3. Seguimiento del brote.

	4 días	6 días	8 días	10 días	12 días	17 días	19 días	24 días	29 días	33 días	38 días	42 días	45 días
Concentraciones	31-oct	2-nov	4-nov	6-nov	8-nov	13-nov	15-nov	20-nov	25-nov	30-nov	5-dic	9-dic	12-dic
M1 0%	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	1/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5
M2 0%	0/5	0/5	0/5	0/5	1/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5
M3 0%	0/5	0/5	0/5	0/5	1/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5
M4 0%	0/5	0/5	0/5	1/5	2/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5
M5 0%	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	1/5	1/5	0/5	0/5	0/5	0/5
M1 10%	0/5	0/5	0/5	1/5	2/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5
M2 10%	0/5	0/5	0/5	0/5	1/5	3/5	3/5	3/5	3/5	2/5	2/5	2/5	2/5
M3 10%	1/5	1/5	2/5	3/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
M4 10%	0/5	0/5	0/5	0/5	1/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5
M5 10%	0/5	0/5	0/5	1/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5
M1 25%	1/5	1/5	2/5	3/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/5	3/5	3/5	3/5
M2 25%	0/5	1/5	2/5	2/5	4/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
M3 25%	1/5	1/5	2/5	2/5	3/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5
M4 25%	1/5	1/5	1/5	1/5	2/5	3/5	3/5	3/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
M5 25%	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0/5	0/5	0/5	0/5

Parámetros fisicoquímicos a evaluar

La adición de Biochar tiene como finalidad mejorar la calidad del suelo relacionado a su capacidad productiva agrícola, por tal motivo se evaluaron los principales parámetros fisicoquímicos mencionados en la “Guía para la descripción de suelos” elaborado por la FAO en el 2009, tomándose como referencia los valores ideales para un suelo fértil.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos a evaluar

Parámetro	Unidad	Metodología	Rangos ideales	Bibliografía
Densidad Aparente	g/cm ³	Método del cilindro	Bajo: ≤0.7 Ideal: 0.7-0.8 Alto: 0.9-1.2 ≥1.2	López (2005)
Densidad Real	g/cm ³	Método del picnómetro	Alrededor 2.65 g/cm ³ *Siempre menor a DA	FAO (2023)
Porosidad	%	Relación entre DR y DA	Muy bajo: 30-35 Bajo: 35-40 Medio: 40-45 Alto: 45-55 Muy alta: 55-60	López (2005)
Ph		Potenciómetro	Bajo: < 5 Medio: 5-6 Óptimo: 6-7 Alto: >7	Molina y Meléndez (2002)
Conductividad eléctrica	μs/cm	Potenciómetro	No salino: 0-2 dS/m Ligeramente salino: 2-4 dS/m Moderadamente salino: 4-8 dS/m Fuertemente salino: 8-16 dS/m Muy fuerte salino: >16 dS/m *1000μS/cm = 1 dS/m	Gallart, F. (2017)

Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	Método bomba de vacío	Muy bajo: <5 cmol/Kg Bajo: 5-10 Moderado: 10-15 Alta: 15-20 Muy alta: >20	Ortega (1995)
Textura		Método de Bouyoucos	Ideal: Franca Buena: Franca arenosa Aceptable: Aproximándose o dentro de franco limosa, franco arcillosa o arenosa franca Regular: Aproximándose o dentro de limosa, arcillosa o arenosa	Clavijo (2012)
Materia Orgánica	%	Método de titulación	Bajo: <2 Medio: 2-5 Óptimo: 5-10 Alto:>10	Molina y Meléndez (2002)
Nitrato (NO3)	mg/L	Método de fotometría	Óptimo: 2 meq/L - 8 meq/L	Wilson (2017)
Potasio (k)	mg/L	Método de fotometría	Muy bajo: <0.10 Bajo: 0.10 – 0.20 Moderado: 0.21-0.30 Alta: 0.31-0.40 Muy alta: >0.40	Ortega (1995)
Fósforo (P)	mg/L	Método de fotometría	Bajo: <12 mg/L Medio:12-20 mg/L Óptimo: 20-50 mg/L Alto: >50 mg/L	Molina y Meléndez (2002)

Magnesio (Mg)	mg/L	Método de fotometría	Bajo: <1 Medio: 1-3 Óptimo:3-6 Alto: > 6 *cmol/L =10 mmol/L 1mmool/L = 1ppm ÷ (24.3) 1ppm = 1mg/L	Molina y Meléndez (2002)
Calcio (Ca)	mg/L	Método de fotometría	Bajo: <4 cmol/L Medio: 4-6 cmol/L Óptimo:6-15 cmol/L Alto: >15 cmol/L *cmol/L =10 mmol/L 1mmool/L = 1ppm ÷ (40) 1ppm = 1mg/L	Molina y Meléndez (2002)

Análisis estadísticos

A partir de los datos obtenidos de las pruebas fisicoquímicas en el laboratorio, se realizó el análisis estadístico a fin de comprender el comportamiento y variación de los valores, para ello se asumió que los datos cumplen con los principios de normalidad y homogeneidad, trabajándose directamente con el análisis de ANOVA, planteándose las siguientes hipótesis para cada parámetro:

Ho: La media de los tratamientos son iguales

Ha: La media de los tratamientos no son iguales

Criterio: Si P-valor < 0.05 se rechaza la hipótesis nula

Posteriormente, de rechazar la hipótesis nula (Ho) en el análisis del ANOVA, se procedió a realizar una prueba de comparaciones múltiples con la metodología de Tukey, con el propósito de determinar qué tratamiento tuvo efecto de mayor significancia en las propiedades fisicoquímicas del suelo. Todos los tratamientos estadísticos fueron llevados a cabo en el Software libre RStudio versión 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 6 muestra los resultados de los parámetros físicos (Densidad Aparente, Densidad Real, Porosidad, Ph, Conductividad Eléctrica y la Capacidad de Intercambio Catiónico) evaluados en los tratamientos Pre, T-Control (0%), T1 (10%) y T2 (25%).

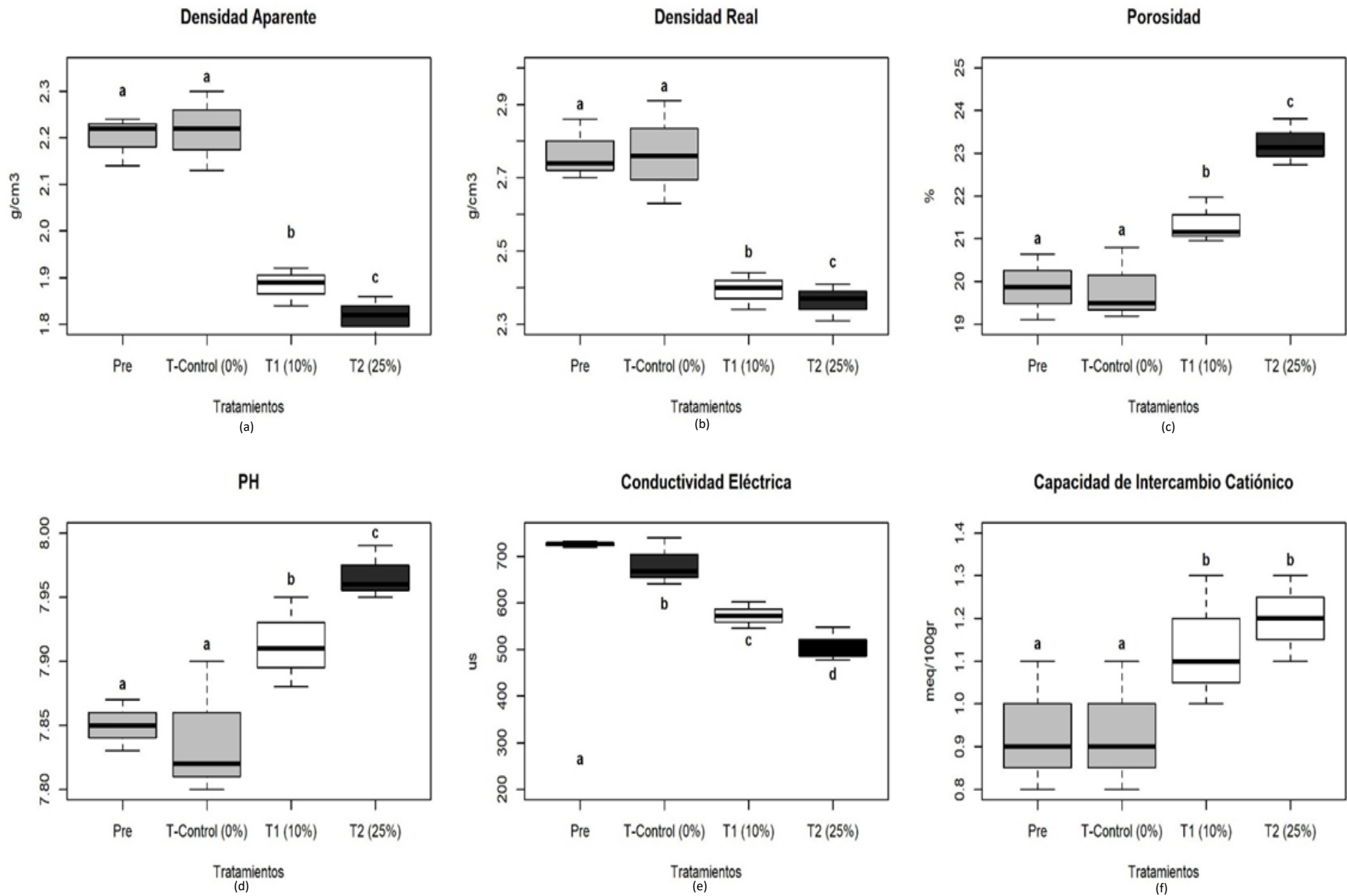


Figura 6. Resultados de los parámetros físicos: (a) Resultados de densidad aparente; (b) Resultados de densidad real; (c) Resultados de porosidad; (d) resultados de PH; (e) Resultados de conductividad eléctrica; (f) Resultados de capacidad de intercambio catiónico.

De la figura 6(a), la Densidad Aparente (DA) evidencia que entre el Pre (2.20 g/cm³) y los tratamientos T1 (1.88g/cm³) y T2 (1.82 g/cm³) hay diferencia significativa ($p < 0.05$), distinto al Pre (2.20 g/cm³) y T-Control (2.22 g/cm³) que no tienen diferencia significativa ($p > 0.05$). Esto demuestra que los resultados disminuyeron después de la aplicación de Biochar, pues uno de los beneficios del Biochar en el suelo es la disminución de la DA (Milesi et al., 2020), debido a que este parámetro juega un rol importante para el aumento de porosidad en el suelo. Además, considerando el rango ideal de DA en un suelo de calidad que es < 1.17 , los resultados no cumplen con lo establecido por López (2005), sin embargo, los beneficios en el aumento de porosidad se evidencian.

Seguidamente se aprecia que Densidad Real (DR) muestra diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el Pre-tratamiento (2.74 g/cm³) y los tratamientos T1 (10%) y T2 (25%) evidenciándose una reducción en los valores de T1=2.39 g/cm³ y T2=2.37 g/cm³, mientras que la diferencia con el tratamiento T-Control (0%) no es significativa. La disminución de los valores de DR cuando se adiciona Biochar, observado en el T1 y T2 probablemente es debido al aumento de MO la cuál de acuerdo con Ingaramo & etc. (2007) genera una alteración entre peso de las partículas sólidas del suelo con el volumen que ocupan, reduciendo la compactación del suelo siendo beneficioso para la productividad agrícola.

Para la Porosidad en la Figura 6(c), el Pre (19.87%), y los tratamientos T1 (21.36%) y T2 (23.22%) presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$); sin embargo, el Pre (19.87%) y T-Control (19.83%), no tienen diferencia significativa ($p > 0.05$); por esa razón se observa que los tratamientos van en aumento cada vez que se adiciona Biochar. Este beneficio es considerado principalmente por el uso de Biocarbón (Rebolledo et al., (2016); debido al proceso realizado para obtener Biochar, la pirolisis (Verheijen et al., 2009). Además, es influenciado principalmente por la disminución de la densidad del suelo. Si consideramos el rango óptimo de Porosidad en el suelo (Alto: 45-55 %) (López, 2005); los resultados no alcanzarían dichos números, a pesar de eso, el aumento es significativo.

Estrada et al. (2017) menciona que el pH es uno de los parámetros que indica la calidad del suelo, debido a que está aparentemente relacionado con la Materia Orgánica (MO) y la disponibilidad de nutrientes; y según Molina y Meléndez (2002), el rango óptimo en un suelo de calidad es de 6 a 7 de pH, puesto que un suelo fuertemente ácido presenta un nivel bajo de MO y de nutrientes (Celis et al. 2020), por lo que se infiere que el rango óptimo para considerar un suelo fértil es que presente pH neutro o moderadamente alcalino (Andrade et al., 2018). En cuanto a los resultados de la Figura 6(d), los tratamientos Pre (7.85) y T-Control (7.84) no tienen diferencia significativa ($p > 0.05$), al contrario del T1 (7.91) y T2 (7.97) que si presentan diferencia significativa ($p < 0.05$), si bien es cierto que el Pre, Control, T1 y T2 entran el rango ligeramente alcalino y moderadamente alcalino, respectivamente; al mostrar diferencia significativa, indica que hay un mejoramiento post tratamiento y que efectivamente mejora el porcentaje de MO y nutrientes.

Con respecto a la Conductividad Eléctrica (CE), el resultado en el Pre tratamiento fue de 726 uS/cm, mientras que en el T-Control (0%) fue de 683 uS/cm, en el T1 (10%) fue de 573.33 uS/cm y en T2 (25%) fue de 481 uS/cm, todos los resultados se encuentran en la categoría “No salino” (Ver Cuadro 4) considerándose de buena calidad para la productividad agrícola, además en la figura 6(e) se muestra diferencia significativa entre todos los tratamientos con tendencia en decrecimiento, por tanto se observa que la adicción de biocarbon contribuye en la reducción de CE, siendo beneficioso pues permite que el suelo no almacene sales que podrían interferir en la productividad, tal suceso puede deberse a que el biocarbón no contiene sustancias salinas a diferencia de fertilizantes sintéticos. Similares resultados fueron reportados por Asto (2017) quién observó una disminución de la CE en los suelos con adicción de biochar a 5% y 10% durante tres meses. De igual manera Obregón (2019) menciona que los tratamientos con aplicación de Biochar mostraron reducción en los valores de CE de 9.48 dS/m a 7.43 dS/m con aplicación de 5% de Biocarbón, a 5.71dS/m con un 10% de Biocarbón y a 3.68 dS/m con 15% de Biochar. Soria (2016) menciona que la reducción de CE y la absorción de sodio en los suelos es mayor cuando se aplica mayor concentración de Biocarbón por kilo de suelo.

Finalmente, en la figura 6(f), se muestra que los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) no son significativos con un 95% de confianza entre el Pre y T-Control (0%) pues ambos comparten una media de 0.9 meq/100g, mientras que estos sí presentan una diferencia significativa ($p < 0.5$) con los tratamientos T1(10%) Y T2 (25%), con medias de 1,1 y 1,2 meq/100g) , demostrándose que, la aplicación de biochar contribuye al incremento de la capacidad del suelo arenoso para retener cationes (Ca, Mg, Na, etc.). A pesar de mostrar una tendencia en crecimiento, la concentración de todos los tratamientos fue menor a 5 meq/100g considerándose con una CIC “muy baja” para un suelo agrícola (Ortega, 1995), pero se debe tener en cuenta que las propiedades químicas requieren de mayor tiempo en estudio para obtener resultados significativos, aun así, mostraron un comportamiento en crecimiento. Según Escalante, Pérez & etc. (2016) el aumento de CIC probablemente se deba a la alta carga superficial negativa, elevada densidad de carga y elevada superficie específica del Biochar, Burbano (2021) también presentó incremento de CIC en los tratamientos con aplicación de biochar en el suelo, la cual menciona, está relacionada con la oxidación del carbono aromático y la formación de carboxilo con carga negativa.

En la Figura 7, se muestra los resultados de los parámetros químicos evaluados (Materia Orgánica, Nitrato, Magnesio, Calcio, Potasio, Fosforo) evaluados en los tratamientos Pre, T-Control (0%), T1 (10%) y T2 (25%).

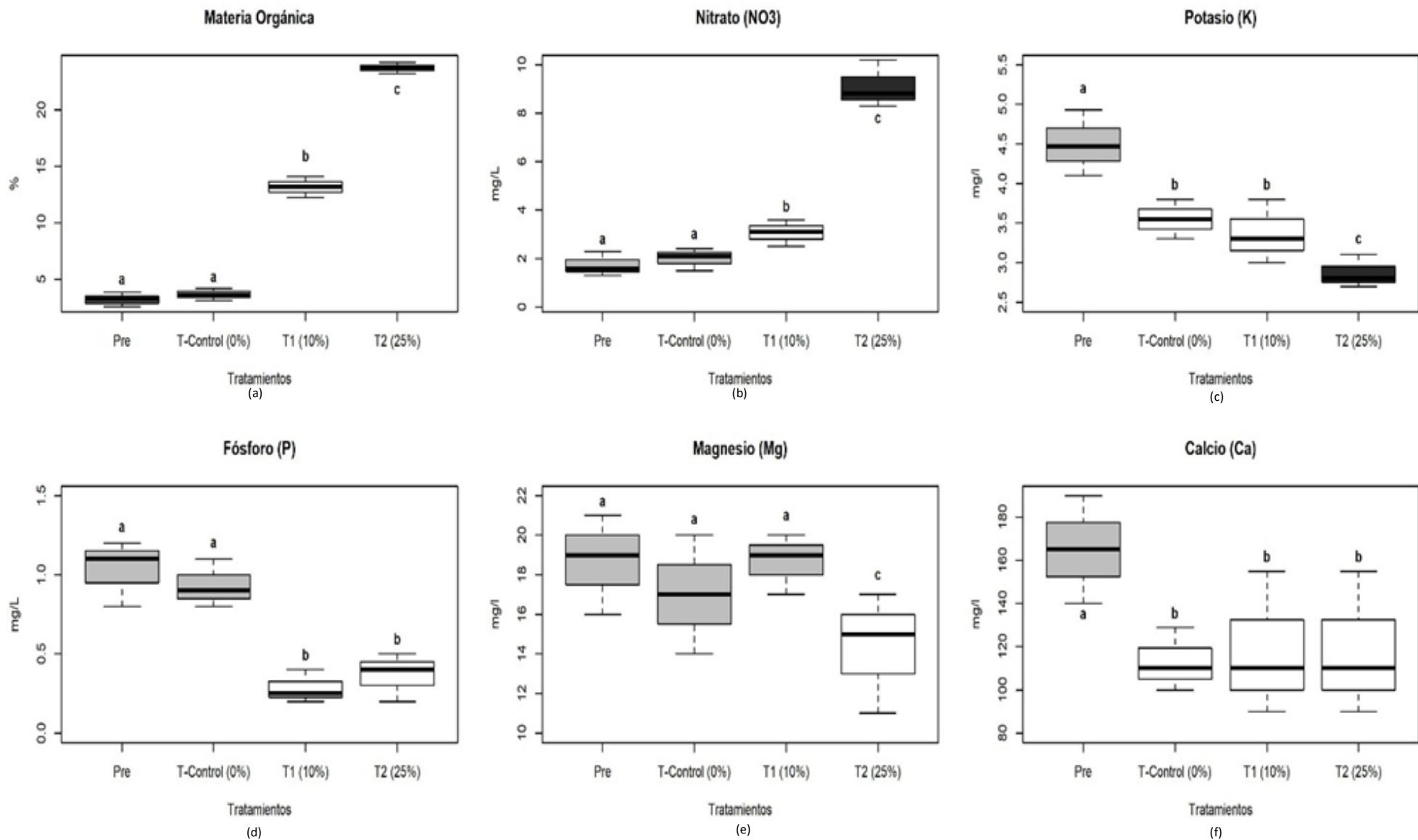


Figura 7. Resultados de los parámetros químicos: (a) Resultados de materia orgánica; (b) Resultados de nitrato; (c) Resultados de potasio; (d) resultados de fósforo; (e) Resultados de magnesio; (f) Resultados de calcio.

De la Figura 7(a), los resultados de la Materia Orgánica (MO) del Pre (3.23%), y los tratamientos T1 (8.79%) y T2 (15.81%) presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), sin embargo, el Pre (3.23%) y T-Control (3.68%) no tienen diferencia significativa ($p > 0.05$), por lo que se deduce que después de la aplicación de Biocarbón hay un aumento de MO. Según Osés (2013), esto sucede debido a que el Biochar es una enmienda con un gran contenido de Materia Orgánica, y al ser incorporado al suelo puede tener efectos positivos sobre los parámetros físicoquímicos, específicamente la MO (Rothschuh, 2013); así mismo, Fiallos et al. (2015) en su investigación obtuvo mayor contenido de MO después de la adición del Biochar al suelo. Ahora, como se puede observar en el gráfico, el porcentaje del T2 (15.81%) es mayor al rango óptimo (5-10%) de Molina y Meléndez (2002), debido a que tiene un porcentaje mayor de Biochar que el T1 (8.79%).

El Nitrógeno en el suelo es un parámetro complejo, está involucrado en todo un ciclo; y es esencial para el crecimiento vegetal; si bien es cierto que el Nitrógeno se encuentra en la atmósfera, las plantas no pueden captarlo sin ayuda microbiana, por esa razón el porcentaje de MO es importante en el suelo para determinar la disponibilidad de nitrógeno (Cerón y Arisrízabal, 2012). Pacheco et al. (2002) menciona que la degradación de MO libera Amonio (NH_3), parte de este compuesto es utilizado por las plantas y lo demás es transformado en nitritos (NO_2), los mismo que son oxidados a nitratos (NO_3), compuesto que sirve como fertilizante para las plantas. En pocas palabras, la cantidad de NO_3 en un suelo fértil debe estar en porcentajes suficientes que sirvan para el desarrollo de vida vegetal (Wilson, 2017). Teniendo en cuenta lo anterior en la Figura 7(b), el Pre (1.40 mg/l) y los tratamientos T1 (2.07 mg/l) y T2 (9.10 mg/l) tienen diferencia significativa ($p < 0.05$), distinto al Pre (1.40 mg/l) y T-Control (4.33 mg/l) que no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$), sin embargo el número que se observa en el resultado es mucho mayor que 30mg/L (número máximo que lee el fotómetro en una disolución de 2l), debido a que se usó una disolución de 64l para cada tratamiento; aun así, en el análisis estadístico evidencia diferencia significativa post tratamiento, por lo que se infiere que efectivamente el Nitrato aumentó después de aplicar Biochar. De igual manera le pasó a Concilco et al. (2018) en su investigación sobre el efecto de la aplicación de BC al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad nutricional de la avena forrajera (*Avena sativa* L.), en donde efectivamente el contenido de Nitratos de Nitrógeno mejoró después de la aplicación del Biocarbón.

Los resultados sobre Potasio (K) se muestra en la figura 7(c), donde el tratamiento Pre obtuvo un valor de 4,5 mg/L, el T-Control (0%) fue de 1,87 mg/L, el T1(10%) fue de 3,87 mg/L y el T2(25%) fue de 2,90 mg/L, es importante considerar que la dilución del tratamiento Pre y el T-Control fue a 2L, mientras que el T1 y el T2 fue a 3L debido a que los valores en una dilución de 2L fueron

diagnosticados como “fuera de rango” es decir, superaban los 20 mg/L al ser diluidos en 2L. Luego de lo mencionado, todos los tratamientos muestran diferencia significativa, donde el T-Control (0%) muestra que hubo una reducción, mientras que el T1 y el T2 mostraron un incremento en las concentraciones de K tras la adición de Biochar, siendo el T1 (10%) que alcanzó la mayor concentración. Orozco, Medina, Espinosa & Cervantes (2021) realizó un trabajo de investigación sobre Biocarbón de diferentes orígenes, y para ambos tratamientos reportó un incremento relevante en las concentraciones de Potasio tras adicionar Biocarbón a sus suelos, la mayor diferencia significativa fue el Biocarbón a base de bambusa vulgaris vittata de 259.99 ppm a 458.4 ppm. De manera similar, Aróstegui (2019) mencionó al trabajar con Biocarbón se alcanzó un incremento de K de 49 ppm (0%) a 5070 ppm (20%), además menciona que también trabajó con concentraciones al 25 %, sin embargo, el mayor incremento de K fue a una concentración menor (20%), similar comportamiento identificado en el presente trabajo de investigación.

Para entender los resultados del Fósforo (P) debemos considerar la disolución de los tratamientos, para el Pre y T-Control la disolución fue de 2l en un rango de 0.00-30mg/l (Intervalo del fotómetro), para el T1 y T2, la disolución fue de 3l puesto que los resultados salían fuera de rango con 2l. Ahora, de la Figura 7(d), el Pre (1.10 mg/l) y los tratamiento T1 (1.20 mg/l) y T2 (0.40 mg/l) tienen diferencia significativa, al contrario del Pre (1.10 mg/l) y T-Control (0.37 mg/l) que no presentan diferencia ($p > 0.05$); mostrando así un cambio en los datos al adicionar Biochar, y si observamos la figura, hay un descenso significativo en el T1 y T2, sin embargo, teniendo en cuenta la disolución (3l), el T1 y T2 no son menores al Pre y Control, infiriendo que efectivamente el aumento de P en el suelo se da después de aplicar Biocarbón. Moreno (2018) menciona que el Biochar al ser una enmienda con gran contenido de MO suele ser fuente de varios elementos nutricionales, como el fósforo (P). El P es un recurso significativo en la fertilidad del suelo, y además de su estrecha relación con la MO, también puede cambiar con el pH del suelo; en la investigación de Gómez et al. (2016) se menciona que al aumentar el pH la disponibilidad del P crece, y también obtuvo en sus resultados el aumento del fósforo después de aplicar Biochar. Si bien es cierto que hay un beneficio después de adicionar Biocarbón, Molina y Meléndez (2002) indican que el rango óptimo para fósforo en el suelo es de 20-50 mg/l, y en efecto, los resultados obtenidos del T1 y T2 son mayores 30mg/l (Intervalo del fotómetro), valor que entra en la categoría óptima.

Para el Magnesio (Mg), el comportamiento de los resultados en el tratamiento Pre, T-Control (0%) y T1 (10%) demuestra una diferencia no significativa con valores de 20mg/L, 16.33mg/L, 18,67 mg/L respectivamente, sin embargo hay que tener en consideración que el T1 (10%) fue realizado en una dilución de 3L mientras que Pre y T-Control fueron a 2L, bajo esa misma condición Mg en T1 (10%) sería >150 mg/L mostrando diferencia significativa

con los demás tratamientos, en el T2 (25%) también se aplicó una dilución de 3L mostrando diferencia significativa ($P < 0.05$) en comparación con los tratamientos antes mencionados, con un valor de 13.67 mg/L en 3L de dilución. Tanto el T1 y T2 mostraron un aumento en las concentraciones de Mg, mientras que el tratamiento T-Control mostró una disminución, por tanto, se demuestra que la aplicación de Biochar tuvo un cambio positivo y significativo en el suelo para el parámetro de magnesio. Arévalo (2020) observó en su investigación que la aplicación de Biochar en el suelo favoreció el aumento de las concentraciones de Mg pasando de 0.71 meq/100 ml a 1.89 meq/100ml. Orozco, Medina, Espinosa & Cervantes (2021) también reportaron que al adicionar Biocarbón a sus tratamientos presentaron incremento en la concentración Mg en el suelo pasando de 262.83 ppm a 1350 ppm.

Finalmente, el Calcio (Ca), se pudo observar que, el tratamiento Pre (165 mg/l) en comparación al T-Control (96.67 mg/l), T1 (65.33 mg/l) y T2 (96.33 mg/l), presentó diferencia significativa ($p < 0.05$), quiere decir que hubo una variación significativa entre antes y después de la aplicación de biocarbón, sin embargo, entre los tratamientos con adición del sustrato (T-Control, T1 y T2) no se presenta diferencia significativa ($p > 0.05$). No obstante, se debe considerar que se realizó una disolución distinta para cada tratamiento debido al rango de lectura del fotómetro, para el T-Control la disolución fue en 2L, para el T1 y T2 la disolución fue a 3L. Si se consideraría los tres tratamientos a una disolución de 2L tanto el T1 y T2 saldrían fuera de rango superando la concentración máxima de lectura, ello indica que ambos tratamientos presentan mayor concentración en Ca a diferencia del T-Control, obteniéndose resultados más altos en el T2 encontrándose dentro del rango de valores óptimos para suelo agrícola (Molina y Meléndez, 2002). Esto indica que la presencia del Ca aumenta ante la adición de biocarbón, de manera similar Pérez et al. (2022) menciona que los valores más óptimos de Ca lo obtuvieron en los tratamientos con biocarbón al 21%, evidenciando además mayor productividad en el crecimiento de las albahacas en estudio.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a la investigación realizada, la aplicación de Biocarbón a base de restos de poda sobre un suelo franco arenoso, mejora los parámetros físicoquímicos del suelo, a través del incremento de porosidad, materia orgánica, CIC, NPK, micronutrientes (Ca y Mg), e incluso estabiliza el pH y la conductividad eléctrica; haciendo del suelo un cuerpo idóneo para el desarrollo de vegetal. Además, se pudo apreciar que, en los parámetros físicos y en los químicos, el tratamiento T2 (25%) obtuvo resultados más altos que el T1 (10%) y T-Control. De igual manera se apreció que las semillas germinaron en mayor cantidad y volumen en el T2. Por tanto, se infiere que a mayor dosis de biocarbón los

resultados son más favorables, sin desmeritar los resultados obtenidos en el T1 pues gran parte de sus parámetros entran en el rango de calidad. Finalmente se concluye que el biocarbón empleado como enmienda orgánica contribuye significativamente en la mejora de la calidad del suelo, impactando positivamente en el ambiente, fortaleciendo al suelo ante posibles erosiones y contribuyendo a la preservación de ecosistemas terrestres.

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del Suelo. *Biagro*, 33(2) 127-134.
- AID. (1993, enero 1). Word Resources Institute. Retrieved from Word Resources Institute: <https://www.wri.org/green-guidance-latin-america-and-caribbean>
- Andrade, K., Castillo, I., & Rossel, L. (2018). Quality of Agricultural Soils in the Interior Bay of Puno, Peru–2018. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(2), 42-52.
- Andrades, M., & Martínez, E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Universidad de la Rioja, Servicio de publicaciones.
- Aker, C., Soto, G., Imbach, A., Castillo, X., & Garro, F. (2013). Efecto de la aplicación de biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos en la retención de humedad y otras características de suelo en el rendimiento de maíz (*Zea mays*), en tres texturas de suelo en León, Nicaragua. *Agroecología*, 15-33.
- Alarcón, G., Díaz, J., Vela, M., García, M., & Gutiérrez, J. (2016). Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999 - 2013; caso Regional de Madre de Dios (Puerto Maldonado – Inambari). *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 18(3), 319–330. <https://doi.org/10.18271/ria.2016.221>
- Alberto, E. C., Reséndez, A. M., Carrillo, M. G., Quiroga Garza, H. M., & García, O. Á. (2018). Influence of biochar applied to soil on yield and quality attributes of fodder oats. *Terra Latinoamericana*, 36(3), 221–228. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.375>
- Arevalo E. (2020). Valoración de la calidad del suelo mediante la aplicación de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) en la cuenca del Macháncara – Saucay. [Tesis de posgrado, Universidad Politécnica Salesiana]

- Aróstegui K. (2019). Evaluación del efecto de biochar de residuos de sachá inchi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde, Ucayali, usando *Zea mays* como indicador. [Tesis Posgrado, Universidad Científica del Sur]. Repositorio de la universidad Científica del Sur: https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/762/T_L-Ar%C3%B3stegui%20K.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Asto, E. (2017), Efecto del biocarbon a base de excretas de cuy y cascara de naranja en las propiedades físicas y químicas de los áridos-Los Olvos, 2017, Vol.1
- Bicalho, I., Fernandes, L., Colen, F., & Arruda, R. (2017). Growth and production of common bean fertilized with biochar. *SciELO*, 47(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170220>
- Burbano, J. (2021). Efecto de la adición de biochar como enmienda de un suelo degradado, sobre microorganismos relacionados con el ciclo del carbono. [Trabajo de grado, Universidad de la Salle: Recuperado de: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1136&context=biologia>
- Celis, R., Florida, N., & Rengifo, A. (2020). Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. *Ciencia UNEMI*, 13(33), 1-9.
- Cerón, L., & Aristizábal, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 14(1), 285-295.
- Concilco, E., Moreno, A., García, M., Quiroga, H., & García, O. (2018). Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera. *TIERRALATINOAMERICA*, 36(3), 221-228.
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). c I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoamericana*, 34 (3), 367–382. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Espinosa, M., Andrade, E., Rivera, P., & Romero, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antropicas en el Norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53(54), 77–88. Retrieved from <https://revistas.um.es/geografia/article/view/143451/128731>
- FAO (2023). Propiedades físicas del suelo. Recuperado de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades->

fisicas/es/#:~:text=La%20densidad%20real%2C%20de%20las,est%C3%A1%20alrededor%20de%202%2C65

- Fiallos, L., Flores, L., Duchí, N., Flores, C., Baño, D., & Estrada, L. (2015). Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de *Medicago sativa*. *Ciencia Y Agricultura*, 12(2), 13. <https://doi.org/10.19053/01228420.4349>
- Gómez, L., Cruz, A., Jiménez, D., Ocampo, Á., & Parra, S. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 341–349. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.88>
- Herrera, E., Feijoo, C., Alfaro, R., Solís, J., Gómez, M., Keiski, R., & Cruz, G. (2018). Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrída* (Sapote). *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 569–577. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.13>
- Ingaramo O., Paz J., Mirás J.M, Vidal E. (2007). Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo. 32 (1), pp. 127-137, ISSN: 0213-4497, Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/61899162.pdf>
- LEISA. (2004). *Manejo integrado del suelo y agua para un desarrollo agrícola sostenible en América Latina*. LEISA Revista de Agroecología (Vol. 19). Retrieved from <http://www.ileia.org>
- Liu, Q., Liu, B., Zhang, Y., Lin, Z., Zhu, T., Sun, R., Wang, X., Ma, J., Bei, Q., Liu, G., Lin, X., & Xie, Z (2017). Can biochar alleviate soil compaction stress on wheat growth and mitigate soil N₂O emissions?. *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.10.006>
- López, M. (2001). Degradación de suelos en Sonora: el problema de la erosión en los suelos de uso ganadero. *Región Y Sociedad*, 13(22), 74–97. <https://doi.org/10.22198/rys.2001.22.a723>
- Medina, L., & Medina, I. (2018). Prototipo autotérmico móvil para producción de biocarbón con biomasa de esquilmos de aguacate. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(2), 121–129. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.217>
- Milesi, L. D., Ullé, J. Á., & Andriulo, A. E. (2020). Aplicación de biochar en un suelo degradado bajo producción de batata. Efecto sobre propiedades edáficas. *Asociación Argentina Ciencias Del Suelo*, 38(1), 162–173.
- Morales, C., Dascal, G., & Aranibar, Z. (2013). *Estudio de los costos de la*

desertificación y degradación de las tierras en el departamento de Piura (Perú). Naciones Unidas, CEPAL. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

- Moreno, G. (2018). *Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biocarbón como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de Acacia mangium Willd.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Murillo, J., Rodríguez, G., Roncallo, B., Rojas, L. A., & Bonilla, R. R. (2014). Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 270–278.
- Obregón G. (2019). Disminución de la salinidad de suelos aplicando biochar a base de biomasa animal y vegetal en Cañete, 2019. [Tesis de Investigación, Universidad César Vallejos] Repositorio UCV: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35709/B_Obreg%C3%B3n_CGDP.pdf?sequence=1
- Orozco G., Medina L., Espinosa A. & Cervantes, J. (2021). Biocarbón de bambú como mejorador de la fertilidad del suelo de caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12 (65). DOI: : <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.780>
- Oses, A. (2013). *Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas.* Barcelona: NEIKER- Tecnalia.
- Pacheco, J., Pat, R., & Cabrera, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73-82.
- Pérez, E. (2013). Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *Revista Intersedes*, 14(29), 6-18.
- Rebolledo, A. E., López, G. P., & Moreno, C. H. (2016). Biocarbón (biochar) I : Naturaleza , historia , fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382.
- Robin, W., & Rao, R. (2015). Biochars influence sweet-potato yield and nutrient uptake in tropical Papua New Guinea, 178(3), 393–400.
- Rojas, A., & Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y Desarrollo*, 1(5), 5-10.

- Rothschuh, M. (2013). Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y trichoderma en el mejoramiento de la calidad del suelo y el crecimiento de pasto King grass (*Pennisetum purpureum*). Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Soria, L. (2016). Producción y evaluación de biocarbon para la adsorción de sodio en suelos salinos. [Tesis de posgrado] México, 2016.
- Steiner, C. (2010). Las perspectivas de Biocarbón - secuestro de carbono , ciclo de nutrientes y generación de energía Biochar prospects – carbon sequestration , nutrients cycle and energy generation Introducción. *Revista Palmas*, 31(No. Especial, Tomo II), 116–125.
- Trujillo A, E., Valencia A, C. E., Alegría A, M. C., Césare C., M. F., & Sotelo M, A. H. (2019). Producción Y Caracterización Química De Biochar a Partir De Residuos Orgánicos Avícolas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(4), 489–504. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.262>.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A., Van der Velde, M., & Diafas. (2010). *Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*. Luxembourg:JRC Scientific and Technical Reports.
- Wilson, M. (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. Ediciones INTA. Argentina.

2. Anexos

2.1. Evidencia de sumisión del artículo

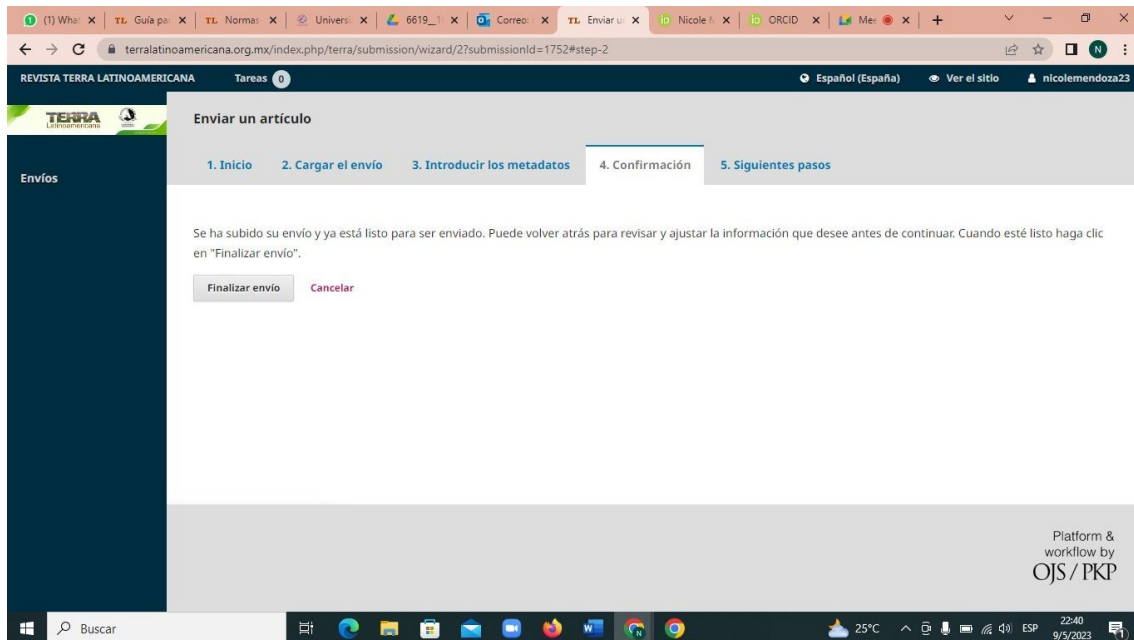


Figure 6 Inicio de proceso de sumisión a la revista

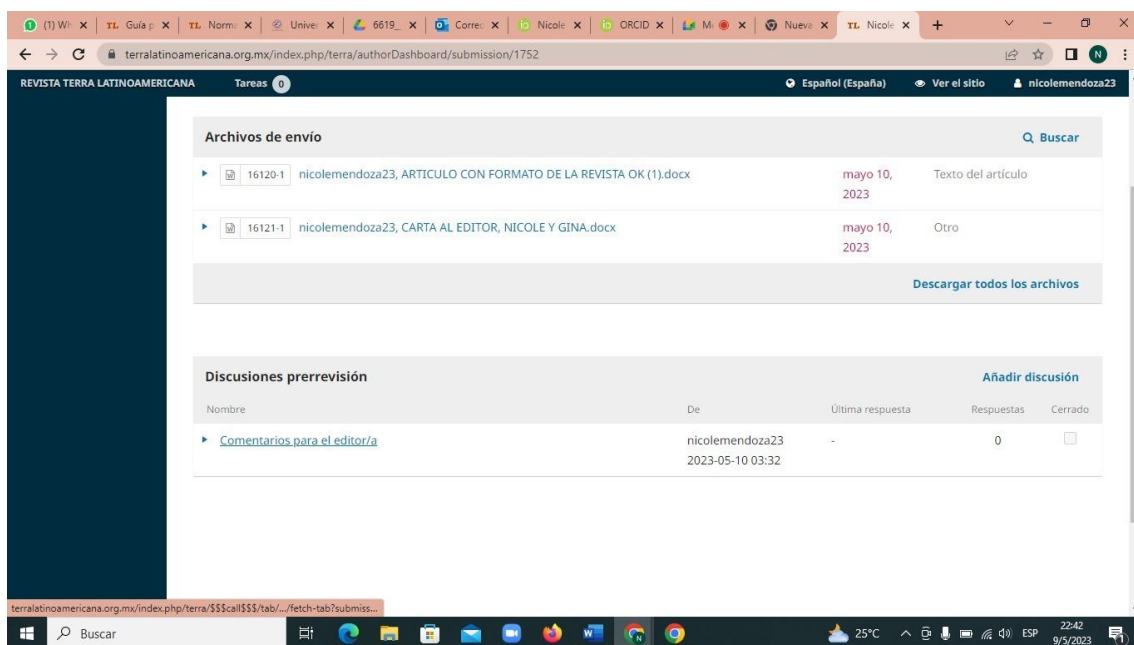


Figure 7 Envío del artículo en la plataforma de la revista

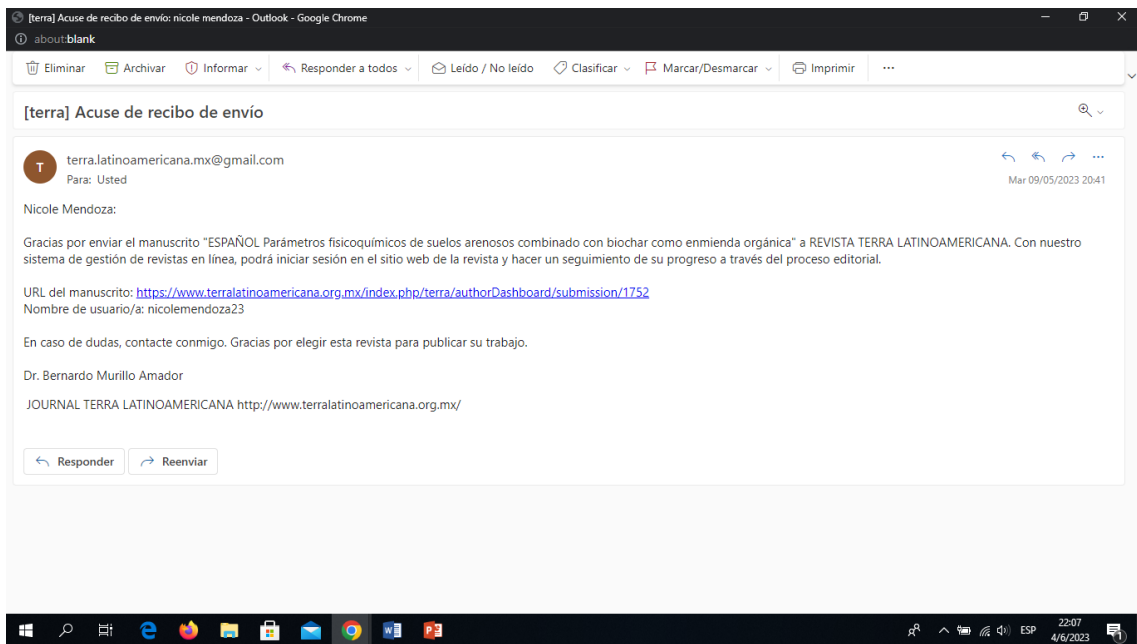


Figure 8 Correo de confirmación del envío del artículo por parte de la revista

2.2. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0098-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 14 de marzo de 2023

VISTO:

El expediente de **Nicole Andrea, Mendoza Soto**, identificado(a) con código universitario N° 201711745 y **Gina Fiorella, Luna Canchari**, identificado(a) con código universitario N° 201710053, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la designación del Comité Dictaminador del proyecto de tesis;

Que **Nicole Andrea, Mendoza Soto** y **Gina Fiorella, Luna Canchari**, han concluido el desarrollo de la tesis en formato artículo y con la opinión favorable de su asesor, solicitan la designación del Comité Dictaminador respectivo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 14 de marzo de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Designar el Comité Dictaminador encargado de administrar el proceso de dictamen correspondiente a la tesis en formato artículo, titulada “Parámetros fisicoquímicos de suelos arenosos combinado con biochar como enmienda orgánica”, presentado por **Nicole Andrea, Mendoza Soto** y **Gina Fiorella, Luna Canchari**, otorgándoles un plazo máximo de diez (10) hábiles, posterior a la fecha de recepción de la presente resolución, para emitir el dictamen respectivo a través de la plataforma oficial.

Dictaminador 1: Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

Dictaminador 2: Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:
Interesado
Jurado (02)
Archivo