



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BIOCHAR DE RESIDUOS DE
SACHA INCHI Y CACAO SOBRE SUELOS DEGRADADOS DE
CAMPOVERDE, UCAYALI, USANDO *Zea mays* COMO
INDICADOR”

Tesis para obtener el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

KEIJI ARÓSTEGUI CORNELIO

Asesor:

Luis Gomero Osorio

LIMA – PERÚ

2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 22 de julio de 2019.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Susan Mery Medina Canzio
Integrante: Blgo. Annil Chavez Hurtado
Integrante: Ing. Melissa Giovanna Olivera Huaman

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

Evaluación Del Efecto De Biochar De Residuos De Sacha Inchi Y Cacao Sobre Suelos Degradados De Campoverde, Ucayali, Usando Zea mays Como Indicador

Presentada por el bachiller:

- **Keiji Aróstegui Cornelio**

Para optar el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**

Asesorada por:

- Ing. Luis Abraham Gomero Osorio

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño el bachiller en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple () calificar a:

• Integrante 1: Keiji Aróstegui Cornelio			Nota (escrito): Diecinueve
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente (x)	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.


Presidente del Jurado


Miembro del Jurado


Miembro del Jurado


Asesor

Para mis abuelos, Alejandro y Ayako.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mi agradecimiento se dirige a Dios, por su guía y salud para poder seguir con éxito el desarrollo de mi tesis y mi desarrollo profesional.

A mi asesor y consejero, Mg. Luis Gomero Osorio, por su conocimiento, colaboración, confianza y paciencia, así como su constante seguimiento para desarrollar y hacer posible la presente tesis.

A mis padres, José y Liliana, por sus consejos, apoyo, dedicación y motivación para poder seguir mis metas profesionales y personales. A mi hermano y mis hermanas; A mis abuelos, por su constante apoyo y guía, y sobre todo a mi abuela Ayako, quien en todo momento me motivaba a seguir la presente investigación.

A la Universidad Científica del Sur por el uso de sus instalaciones; al Profesor Albis por su paciencia y aporte profesional durante el desarrollo de mi fase experimental en laboratorio; a la familia Kitsutani, el Sr. Lindolfiz y Don Leo, quienes confiaron en mi y me dieron todo su apoyo durante la fase experimental en campo; a Sebastián, mi gran amigo, por su apoyo y guía en todo momento, en lo personal y profesional; a Andrés y Juan, mis amigos de la vida.

Y por último a Andrea, mi compañera, por la buenas, por las malas y por las mejores.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
III.	MARCO TEÓRICO	5
1.	<u>Suelos degradados</u>	5
1.1.	<i>El suelo como recurso natural</i>	5
1.2.	<i>Proceso de degradación del suelo</i>	6
1.3.	<i>Indicadores de calidad del suelo</i>	7
2.	<u>Biochar</u>	8
2.1.	<i>Definición de biochar</i>	8
2.2.	<i>Producción de biochar</i>	9
2.3.	<i>Proceso de pirólisis</i>	9
2.4.	<i>Caracterización del biochar</i>	11
2.5.	<i>Implicaciones ambientales y económicas</i>	13
2.6.	<i>Prioridades de investigación a futuro</i>	15
3.	<u>Residuos orgánicos de la agricultura intensiva</u>	16
3.1.	<i>Producción de residuos agrícolas</i>	17
3.2.	<i>Alternativas de aprovechamiento</i>	18
IV.	OBJETIVOS	20
1.	<u>General</u>	20
2.	<u>Específicos</u>	20
V.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.	<u>Zona de estudio</u>	21
1.1.	<i>Localización</i>	21
1.2.	<i>Características generales</i>	21

2.	<u>Materiales y equipos</u>	22
	2.1. <i>Materiales y equipos de Campo</i>	22
	2.2. <i>Materiales y equipos de Laboratorio</i>	22
3.	<u>Metodología</u>	23
	3.1. <i>Obtención de la muestra de suelo degradado</i>	23
	3.2. <i>Obtención de la materia prima</i>	25
	3.3. <i>Producción del biochar</i>	27
	3.4. <i>Diseño experimental</i>	29
	3.5. <i>Análisis físico y químico de los tratamientos</i>	31
	3.6. <i>Análisis del desarrollo de la planta indicadora</i>	32
	3.7. <i>Análisis estadístico</i>	32
VI.	RESULTADOS	33
1.	<u>Análisis del desarrollo de la planta indicadora</u>	33
	1.1. <i>Altura de planta</i>	33
	1.2. <i>Número de hojas</i>	37
	1.3. <i>Longitud de raíz</i>	41
2.	<u>Análisis físico y químico del suelo</u>	43
	2.1. <i>pH</i>	43
	2.2. <i>Conductividad eléctrica</i>	45
	2.3. <i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	47
	2.4. <i>Materia orgánica total</i>	49
	2.5. <i>Nitrógeno total</i>	51
	2.6. <i>Fósforo total</i>	53
	2.7. <i>Potasio total</i>	55
	2.8. <i>Densidad real</i>	57
	2.9. <i>Textura</i>	59

VII. DISCUSIONES	60
1. <u>Análisis del desarrollo de la planta indicadora</u>	60
1.1. <i>Altura de planta</i>	60
1.2. <i>Número de hojas</i>	61
1.3. <i>Longitud de raíz</i>	61
2. <u>Análisis físico y químico del suelo</u>	62
2.1. <i>pH</i>	62
2.2. <i>Conductividad eléctrica</i>	63
2.3. <i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	64
2.4. <i>Materia orgánica total</i>	65
2.5. <i>Nitrógeno, Fósforo y Potasio total</i>	66
2.6. <i>Densidad real</i>	67
2.7. <i>Textura</i>	67
VIII. CONCLUSIONES	68
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
X. ABREVIATURAS	77
XI. ANEXOS	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Procesos de degradación del suelo.	9
Figura 2.	Diagrama del proceso y productos de la pirolisis de biomasa.	11
Figura 3.	Alternativas de aprovechamiento de residuos vegetales.	21
Figura 4.	Obtención de la muestra de suelo degradado.	26
Figura 5.	Obtención de la materia prima.	28
Figura 6.	Producción de biochar.	30
Figura 7.	Preparación del diseño experimental.	32
Figura 8.	Altura de planta (cm) de maíz al día 15, 30 y 45 con tratamiento de <i>biochar de sachá inchi</i> a 5 diferentes concentraciones.	36
Figura 9.	Altura de planta (cm) de maíz al día 15, 30 y 45 con tratamiento de <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	38
Figura 10.	Número de hojas de maíz al día 15, 30 y 45 con tratamiento de <i>biochar de sachá inchi</i> a 5 diferentes concentraciones.	40
Figura 11.	Número de hojas de maíz al día 15, 30 y 45 con tratamiento de <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	42
Figura 12.	Longitud de raíz del maíz al día 45 con tratamiento de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes dosis.	44
Figura 13.	pH de los tratamientos de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	46
Figura 14.	Conductividad eléctrica de los tratamientos de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	48
Figura 15.	Capacidad de intercambio catiónico de los tratamientos de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	50

Figura 16. Materia orgánica total de los tratamientos de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	52
Figura 17. Nitrógeno total de los tratamientos de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	54
Figura 18. Fósforo total de los tratamientos de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	56
Figura 19. Potasio total de los tratamientos de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	58
Figura 20. Densidad real de los tratamientos de <i>biochar de sachá inchi</i> y <i>biochar de cacao</i> a 5 diferentes concentraciones.	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetros que determinan la calidad del suelo según las características físicas, químicas y biológicas.	10
Tabla 2.	Tipos de pirólisis y rendimientos promedio de productos.	12
Tabla 3.	Diseño experimental de la evaluación del biochar por combinación, dosis y repeticiones.	31
Tabla 4.	Parámetros del suelo a evaluados en el laboratorio.	33
Tabla 5.	Parámetros evaluados en el crecimiento de las plantas.	34
Tabla 6.	Porcentaje de arena, lima y arcilla de acuerdo con cada tratamiento de biochar con sus respectivas clases texturales.	61

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de la zona de estudio.	81
Anexo 2. Base de datos Tratamiento Sacha inchi.	82
Anexo 3. Base de datos Tratamiento de cacao.	84
Anexo 4. P-valor pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Análisis de Varianza de los tratamientos de biochar de sachá inchi.	86
Anexo 5. P-valor pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Análisis de Varianza de los tratamientos de biochar de cacao.	89

RESUMEN

Actualmente la agricultura intensiva y la ganadería son los principales protagonistas de la deforestación y la pérdida de la calidad del suelo en el Perú. Ucayali, presenta uno de los índices más altos de degradación de suelo por estas causas por lo que hace falta medidas de remediación. La presente investigación está centrada en la evaluación de la capacidad remediadora del biochar producido a partir de residuos agrícolas de sachá inchi y cacao sobre la mejora de las características físicas y químicas del suelo degradado por la agricultura intensiva de la región Ucayali, usando la especie *Zea mays* como indicadora. Se encontraron diferencias significativas en los resultados de suelos con biochar respecto al suelo degradado, sin embargo, las más altas dosis de biochar no fueron las que permitieron el mayor crecimiento del maíz. Se determinó que la dosis más pequeña (5%) fue la que mejores resultados arrojó, con pH neutro y mayor crecimiento de la planta. Además, se demostró que la aplicación de biochar no siempre altera la capacidad de intercambio catiónico como indica otros autores. El presente trabajo contribuye a la línea de investigación sobre los tipos de biochar y su potencial en la mejora de la calidad del suelo.

Palabras clave: suelo degradado, biochar, sachá inchi, cacao, remediación, Ucayali.

ABSTRACT

Currently intensive agriculture and livestock are the main protagonists of deforestation and loss of soil quality in Peru. Ucayali has one of the highest rates of soil degradation due to these causes, which is why remediation measures are needed. The present research is focused in the evaluation of the remedial capacity of the biochar produced from agricultural residues of *sacha inchi* and cacao on the improvement of the physical and chemical characteristics of soil degraded by intensive agriculture of the Ucayali region, using the species *Zea mays* as an indicator. Significant differences were found in the results of soils with biochar with respect to degraded soil, however, the highest doses of biochar were not those that allowed the greatest growth of corn. It was determined that the smallest dose (5%) was the one that gave the best results, with neutral pH and greater growth of the plant. In addition, it was demonstrated that the application of biochar does not always alter the cation exchange capacity as indicated by other authors. The present work contributes to the line of research on the types of biochar and its potential in the improvement of soil quality.

Keywords: degraded soil, biochar, *sacha inchi*, cacao, remediation, Ucayali.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la actividad antropogénica en el planeta viene desencadenando una serie de impactos en el ambiente que vulneran nuestra propia integridad y la de los ecosistemas. El suelo no está exento de esto, donde una de las actividades más importantes para el hombre, la agricultura, atenta contra la calidad del suelo. La situación actual en el Perú arroja datos desalentadores sobre la degradación de los suelos, según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática ([INEI], 2016, p. 63), actualmente, en la región Ucayali, el monocultivo en las técnicas de agricultura intensiva han provocado la pérdida y degradación de 329 mil hectáreas en los últimos 10 años.

Ante la presenta situación, la necesidad de buscar nuevos mecanismos de mitigación y reaprovechamiento de los residuos nos lleva a la evaluación de más variedades de biochar, que permitirá el desarrollo de nuevas alternativas de recuperación de suelos y una línea de investigación fundamental y que defina con certeza las características del biochar que determinan la mejora del suelo.

En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad remediadora del biochar producido a partir de residuos agrícolas de sachá inchi y cacao, sobre suelos degradados del distrito de Campoverde, departamento de Ucayali, llevando a cabo un análisis de suelo en conjunto con el biochar y la planta de maíz (*Zea mays*) como indicador para complementar la evaluación. La contribución del trabajo se centra en mejorar y enriquecer las bases de investigación acerca del biochar, así como completar los vacíos de información sobre su influencia en la recuperación de suelos degradados, de manera que sirvan como base para futuras investigaciones.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las regiones tropicales han sido más vulnerables a la actividad antropogénica, generando alrededor de 500 millones de hectáreas degradadas en todo el mundo. La actividad del hombre ha intervenido de diversas formas tanto negativas, como positivas, implementando programas forestales como componente principal de la rehabilitación de los bosques a medida que estos se han estado reduciendo y degradando cada vez más. No obstante, hasta la actualidad, los intentos de rehabilitación de áreas degradadas no han sido eficientes ni sostenibles, eludiendo la satisfacción de las necesidades locales como principal objetivo. La deforestación en la Amazonía peruana ha alcanzado valores superiores a las 300 mil hectáreas según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2016, p. 63).

La degradación de los suelos en el Perú, específicamente en la región Amazónica, viene siendo causado principalmente por la agricultura (Meza, Sabogal y Jong, 2006, p. 43). El bosque amazónico es amenazado por la mayoría de los agricultores que dependen de esto como actividad económica, contribuyendo a su degradación a través de tecnologías deficientes en la agricultura. Aprovechan un determinado sector del terreno con cobertura boscosa para realizar la técnica de tumba y quema, transformando la materia vegetal en una capa de ceniza que permite el establecimiento de una serie de cultivos por temporadas. Esta práctica agrícola tiene como punto clave el descanso del campo después de cierto tiempo, sin embargo, el incremento de la densidad poblacional ha ocasionado que estos turnos de utilización se acorten. La degradación del suelo resulta en cambios económicos y sociales que llevan a la pérdida de áreas forestadas.

Actualmente, en la región Ucayali, el monocultivo en las técnicas de agricultura intensiva han provocado la pérdida y degradación superior a 35 mil hectáreas por año ([SERFOR], 2015, p. 9). El cultivo de palma aceitera y eucalipto ha sido una de las principales causas de la pérdida de suelos. Si bien es cierto que se está llevando a cabo programas de reforestación y restauración de las áreas degradadas a través del trabajo del gobierno regional, este proceso ha sido lento y en muchos casos deficientes por la dificultad de acceso de mejores tecnologías, así como el alto costo de los mismos (Gallegos, 2017).

Por otra parte, a nivel mundial la actividad agrícola produce millones de toneladas de residuos agropecuarios anuales, donde los residuos más significativos cuantitativamente proceden de cultivos como los cereales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014, p. 70). Según Vargas, Andreu, Fernández, Fernández, García-Morales, Melgar, Moral, Moreno y Suárez (2014, p. 43), hasta mediados del siglo XVIII, el equilibrio entre la extracción de productos del suelo y la inserción de materiales residuales a este sustrato se mantenía constante. Mediante este ciclo, los elementos restantes de la actividad agrícola no eran considerados como residuos, sino como materia prima aprovechable en la actividad. En las últimas décadas, el desarrollo de las actividades industriales y comerciales ha producido el incremento de la generación de residuos, resultando insostenible la reincorporación en ecosistemas naturales. La agricultura, como el resto de las actividades humanas, ha pasado de generar una pequeña cantidad de material residual, a generar cantidades descontroladas de residuos que provocan problemas sanitarios y ambientales.

Según los informes anuales sobre la gestión de residuos sólidos en el Perú (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014b), la generación de residuos sólidos no municipales en el año 2012 fue de 1.61 millones de toneladas, sin embargo, para el año 2013, este valor alcanzó los 11.03 millones de toneladas, donde el subsector de agricultura representó significativamente la mayor parte con 10.76 millones de toneladas de residuos no municipales en comparación al año anterior. La Dirección Regional de Agricultura San Martín (DRASAM, 2017), resalta el crecimiento en el cultivo de *sacha inchi* y cacao en 234 ha y 6233 ha nuevas en el último año debido a que se consideran cultivos de mayor rentabilidad en contraste a otros cultivos, la generación de residuos de estos cultivos se ha incrementado significativamente en los últimos años, en su mayor parte no son aprovechados, quemados o trasladados a rellenos sanitarios y botaderos.

Por último, actualmente se carece de una importante línea de investigación que pueda definir con exactitud las características del biochar para determinar la alteración y evolución que genera en el suelo. En este sentido, la escasa información y la dificultad de acceso a nuevas tecnologías desarrolladas por instituciones públicas y privadas detienen el desarrollo de la investigación sobre el biochar. Asimismo, es evidente la falta de integración existente entre los entes responsables de la generación de tecnología y los llamados a procurar su propagación hacia los productores. La retroalimentación esperada para mejorar constantemente dicho proceso está, por tanto, ausente (García et al., 2014, p. 64).

III. MARCO TEÓRICO

1. Suelos degradados

1.1. *El suelo como recurso natural*

Se considera al suelo como la capa superior de la corteza terrestre, un ente trifásico (líquido, gaseoso y sólido) constituido por compuestos inorgánicos (arena, limo y arcilla), materia orgánica, agua, gases y organismos vivos (lombrices, algas, bacterias y hongos), donde se lleva a cabo procesos físicos, químicos y biológicos, manteniendo un equilibrio con el medio que lo rodea, con una dinámica continua de síntesis y degradación, derivados de la actividad de su biota y de su acción sobre los compuestos orgánicos (Bernal, Cabrera, Cabrera, Clemente, Cox, García, Hernández, Ingelmo y Madejón, 2014, p. 17).

La importancia del suelo está dada por las esenciales funciones que lleva a cabo, siendo base para los diferentes ecosistemas, así como el sostenimiento de toda la vida en el planeta. Según Doran y Safley (1997, p. 28), las funciones están agrupadas en aspectos ecológicos y antropológicos, cumpliendo con el mantenimiento y almacenamiento de los seres vivos y materia prima, así como las bases para el desarrollo de las actividades socioeconómicas del hombre.

El suelo posee propiedades que le permiten cumplir con sus funciones. La textura, determinada por diferentes proporciones de partículas, le confiere al suelo la capacidad de retención hídrica, cantidad de aire y parcialmente su fertilidad (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León y Hill, 2004, p. 2). La estructura, referido al orden de las partículas en el suelo, genera un sistema poroso particular en base a cada modelo de unión de partículas, determinando la permeabilidad del perfil y la velocidad de infiltración del agua a través del suelo.

Las propiedades químicas están ligadas al tipo de arcilla y materia orgánica que contiene el suelo. Entre ellas, la capacidad de intercambio catiónico, cuya importancia estriba en la acción del suelo como intercambiador de iones con la disolución acuosa que se mueve a través del perfil. Por otro lado, el pH es una de las propiedades más importantes, donde sustenta las características de vegetación. La mayoría de los minerales son más solubles en suelos ácidos. Los valores elevados de pH producen insolubilización de micronutrientes, generación problemas de carencia de vegetación (Rucks et al., 2004).

1.2. Proceso de degradación del suelo

Tras el largo proceso de edafogénesis, el suelo tiende a un estado de equilibrio con la vegetación que le otorga una cantidad progresiva de materia orgánica y nutrientes, permitiendo mantener la estructura a través del tiempo y, al mismo tiempo, hacerles frente a procesos degradativos de erosión. Los suelos, en estas condiciones, mantienen una adecuada calidad y realizan todas sus funciones de manera correcta, considerando la capacidad para mantener su equilibrio y resistencia frente a factores externos, volviendo con el tiempo a su estado original por su capacidad de resiliencia (Gómez, 2004, p.130).

No obstante, si estas perturbaciones externas son frecuentes o intensas, el suelo pierde la capacidad de recuperarse y empieza la degradación (Figura 1). Pese a su gran importancia para la vida en el planeta, el suelo no ha recibido la atención que merece de la sociedad, de modo que se han llevado a cabo acciones inapropiadas e irracionales en el manejo del suelo, originando la pérdida de la materia orgánica, la reducción de la fertilidad y estabilidad estructural del suelo, el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y la degradación y pérdida de la calidad del suelo.

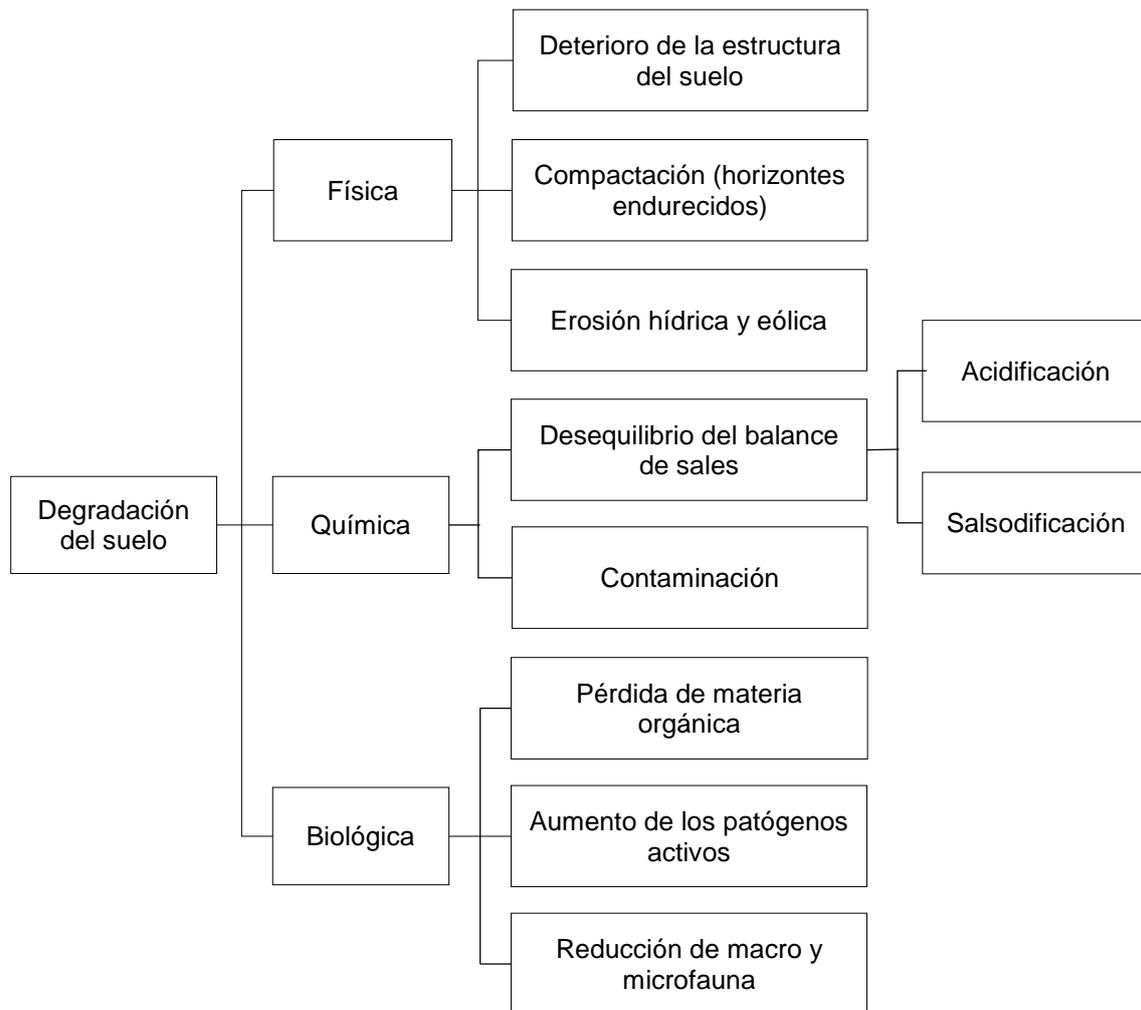


Figura 1. Procesos de degradación del suelo. Fuente: Bernal et al. (2014, p. 25).

1.3. Indicadores de calidad del suelo

La funcionalidad y la sostenibilidad de los ecosistemas están determinados en gran parte por el estado del suelo. Debido a que la calidad del suelo se basa en las funciones del mismo, la estimación de la calidad requiere una serie de indicadores que cuantifiquen su estado, por lo que dicha aproximación debe ser holística, integrando todas las partes del sistema (Bernal et al., 2014, p. 20).

Existen gran variedad de parámetros que nos permiten determinar los niveles de calidad o degradación de un suelo, dando como resultado las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros que determinan la calidad del suelo según las características físicas, químicas y biológicas. Fuente: Bernal et al. (2014, p. 20).

Característica	Parámetro
Físico	- Porcentaje de agregados estables
	- Capacidad de retención hídrica
	- Velocidad de infiltración
	- Densidad
	- Porosidad
Químico	- Capacidad de intercambio catiónico
	- Concentración de nutrientes
	- Concentración de materia orgánica
Biológico	- Actividad de la catalasa
	- Carbono de la biomasa microbiana
	- Desarrollo de la biomasa
	- Respiración del suelo por CO ₂

2. Biochar

2.1. *Definición de biochar*

La definición de biochar parte de la obtención de un material carbonizado a partir de biomasa con niveles de carbono altos, el cual se ha pirolizado en condiciones de nulo o muy bajo niveles oxígeno a través de un proceso controlado. La fabricación de biochar resulta ser similar a la producción de carbón vegetal, un recurso conocido desde la antigüedad, donde la diferencia entre estos dos componentes radica en el fin que se le da. El carbonizado aplicado al suelo para la mejora de sus propiedades, retención de agua, remediación y/o para el almacenamiento de carbono, recibe el nombre de biochar, palabra en inglés que significa bio-carbón (Lehmann y Joseph, 2015).

2.2. Producción de biochar

La producción de biochar se puede llevar a cabo a escalas diferentes, desde hornos simples de baja capacidad hasta plantas industriales de alta eficiencia en el control de la temperatura, entradas y salidas. El hombre ha utilizado fosas y hornos construidos de tierra, piedra y madera para la producción de carbón a lo largo de la historia (Pratt y Moran, 2010). A nivel industrial, las plantas de pirólisis ofrecen la ventaja del aprovechamiento de las fracciones líquida y gaseosa para calentar la biomasa utilizada o bien pueden ser utilizados como una fuente de energía renovable en otras aplicaciones, tales como la generación de energía eléctrica. En la Figura 2 se puede observar de manera resumida el proceso de pirólisis y sus productos principales.

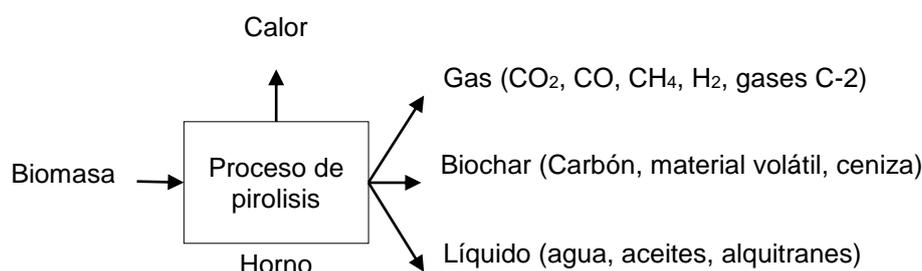


Figura 2. Diagrama del proceso y productos de la pirólisis de biomasa. Fuente: Pratt y Moran (2010).

2.3. Proceso de pirólisis

El proceso de descomposición termoquímica de una sustancia orgánica por calentamiento en ausencia de oxígeno se denomina pirólisis. A nivel de práctica, no es posible crear un ambiente libre de oxígeno en su totalidad, por lo que producirá una pequeña oxidación. No obstante, el nivel de oxidación es bajo en contraste con la que se produce en el proceso de combustión, donde la materia orgánica se oxida casi en su totalidad (Brown, 2009, p. 127).

El tiempo de permanecía dentro del recipiente de reacción tanto de la biomasa como de los vapores están determinados por el tipo de pirólisis. La pirólisis rápido se desarrolla a temperaturas altas, con tiempos muy cortos, obteniéndose más bioaceite y menos biochar que en la pirolisis lenta. En contraste, en la pirolisis lenta se producen los máximos rendimientos de biochar a causa de las bajas temperaturas de operación y velocidades de calentamiento (Kwapinski, Byrne, Kryachko, Wolfram, Adley, Leahy, Novotny y Hayes, 2010).

La obtención de diferentes cantidades y propiedades de subproductos del proceso de pirolisis (biochar, gas y bioaceite) pueden ser modificadas por las condiciones de temperatura y velocidad de calentamiento. Para maximizar los rendimientos de producción de biochar se tiene que estar a expensas de la producción de bioaceite y de gas.

Tabla 2. Tipos de pirolisis y rendimientos promedio de productos. Fuente: García et al. (2014, p. 28).

Tipo	Condiciones	Líquidos	Sólidos	Gas
Lenta	Temperatura moderada 400°	30%	35%	35%
	Residencia del vapor 5-30 min.			
Moderada	Temperatura moderada 500°	50%	20%	30%
	Residencia del vapor 10-20s			
Rápida	Temperatura moderada 650°	75%	12%	13%
	Residencia del vapor cortos 1s			

Las diferentes condiciones de pirólisis conducen a diferentes proporciones de producto final (bioaceite, biochar y gas). Esto significa que las condiciones específicas del proceso de pirolisis se pueden adaptar para obtener un resultado determinado con proporciones diferentes de productos (Tabla 2).

2.4. Caracterización del biochar

La composición del biochar es considerada muy heterogénea, debido a que contiene tanto componentes estables, como también inestables (Sohi, Lopez-Capel, Krull, y Bol, 2009). Entre sus componentes principales se encuentran los siguientes: carbono fijo, sustancias volátiles, humedad y sustancias minerales como cenizas. La proporción de estos componentes varía de acuerdo con el material usado y las condiciones de pirólisis. Según varios estudios, el carbono fijo puede tener una proporción de entre 50% a 90% (Antal y Gronli, 2003).

La celulosa, al pasar por un proceso de degradación térmica entre los 250 y 350°C, origina una pérdida de compuestos volátiles de forma considerable, dejando una matriz de carbono amorfo rígida. A mayor temperatura de pirólisis, la proporción de carbono aromático en el biochar incrementa, debido al aumento relativo en la pérdida de materia volátil (agua, vapores alquitranados, H₂, CO y CO₂), y la conversión de alquilos (Baldock y Smernik, 2002).

Cerca de los 330°C, la estructura de grafeno poliaromático comienza a crecer lateralmente, a expensas de la fase de carbono amorfo. Superando los 600°C, la carbonización se convierte en el proceso preponderante, caracterizado por la eliminación de los átomos no carbonados restantes, alcanzando 90% en peso de carbono.

Carbono total y Nitrógeno

El rango de contenido de carbono total en el biochar se encuentra entre 172 y 905 g/kg, con una media por debajo de los 550 g/kg, determinado a partir de una amplia variedad de materiales (Chan y Xu, 2009). El contenido de Nitrógeno total oscila entre 1.7 y 78.2 g/kg. A pesar de ser alto, el contenido de N total en

el biochar puede no ser necesariamente beneficioso para los cultivos, debido a que el Nitrógeno se encuentre en una forma no disponible.

La relación C:N (carbono a nitrógeno) en el biochar se encuentra de 7 a 400, esta, se ha utilizado como indicador de la capacidad de los sustratos orgánicos para liberar N inorgánico cuando se incorpora al suelo. Las altas relaciones de C:N ocasionarían una inmovilización de N y causarían una deficiencia de N en las plantas. El límite fijado para evitar la inmovilización de N en el caso del compost sería de entre 25 y 30. Este límite parece no cumplirse en el biochar, debido a que, en su mayoría, se encuentra conformado por carbono difícilmente mineralizable (Chan y Xu, 2009).

Contenido de Fósforo (P) y Potasio (K)

De igual manera que en el caso del Nitrógeno, el contenido de P y K total en el biochar se encuentran en un amplio rango de valores de acuerdo con el tipo de materia prima usada (Chan y Xu, 2009). La mayoría de los minerales presentes dentro de la fracción de cenizas del biochar se cree que se dan debido a asociaciones discretas independientes de la matriz de carbono, con la excepción del K y el Ca (Amonette y Joseph, 2009). Normalmente, cada asociación mineral comprende más de un tipo de mineral.

Distribución del tamaño de partícula

La naturaleza de la biomasa, así como las condiciones de pirolisis, son los principales factores que influyen en la distribución de tamaño de partícula en el biochar (Cetin, Moghtaderi, Gupta, y Wall, 2004). El desgaste que sufre el material orgánico a través del proceso de fabricación, así como la tecnología de pirolisis, originan una variedad de tamaños de partícula en el producto final.

2.5. Implicaciones ambientales y económicas

Durante la década de los 80 y 90, se llevaron a cabo los primeros estudios relacionados con la aplicación del biochar. Glaser, Haumaier, Guggenberger y Zech (2001) estudiaron los efectos positivos sobre el rendimiento de diferentes especies de cultivo con aplicación baja de biochar (0.5 Tn/Ha), mientras que, a tasas superiores, se detectó una cierta inhibición.

Se identificó la respuesta a corto plazo, en términos de biomasa y rendimiento, de diversos cultivos donde se adicionaba biochar. En este tipo de investigación, se determinó el aumento de la disponibilidad de nutrientes para la planta como aspecto clave del efecto positivo, dado por la mejora de sobre la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, la estimulación de los procesos biológicos que permiten mejorar la estructura del suelo y la capacidad de retención hídrica (García et al., 2014, p. 51). La reducción de la lixiviación, la escorrentía superficial, el aumento del pH y la absorción de pesticidas y metales pesados son algunas de las virtudes que posee el biochar a favor del suelo (Major, Rondon, Molina, Riha y Lehmann, 2010).

Se encontró que el biochar permite obtener igual rendimiento de cosecha con una dosis más baja de fertilización que aquellos cultivos en los cuales se aplica una dosis optima de fertilización (Sohi et al., 2009). El objetivo de la aplicación de biochar en suelos de cultivos no serían tanto para aumentar la productividad, sino más bien, para asegurar un equilibrio de las cosechas frente a eventos de sequías, relacionados con el cambio climático.

La mejora de la eficiencia en el uso de fertilizantes ha sido señalada como una explicación para el mantenimiento de los cultivos después de la tala de

bosques en la Amazonia (Steiner, Glaser, Teixeira, Lehmann, Blum y Zech, 2008). Los resultados de los suelos semiáridos en Australia han demostrado una respuesta positiva a la adición de biochar en ensayos de maceta (Chan, Van Zwieten, Meszaros, Downie y Joseph, 2007). Por otra parte, el biochar obtenido por pirolisis lenta presenta menor mineralización de su materia orgánica y mayor eficiencia en el desarrollo de las plantas.

La gama de beneficios del biochar nos permite tocar diferentes temas sobre la conservación de los ecosistemas y su relación con el hombre. El secuestro de carbono en el suelo dentro del contexto de mitigación de gases de efecto invernadero es uno de los aspectos más importantes a considerar (Sohi et al., 2009).

El uso y producción insostenible de este sustrato carecería de sentido si no se certifica el origen de la biomasa obtenida, causando cambios de uso del suelo que impliquen deforestación y plantaciones masivas para el cultivo de biomasa destinada a ser pirolizado. Esto generaría problemas de alimentación en poblaciones y, además, de erosión y pérdida de la productividad de los suelos, así como la utilización innecesaria de productos de origen natural para la producción del biochar. Con el uso de tecnología adecuada y moderna se fortalecerá la retención de carbono atmosférico. (Woolf, Amonette, Street-Perrot, Lehmann y Joseph, 2010).

Existe un alto porcentaje de residuos agrícolas dejados en el campo que son aprovechados y no están destinados a la reutilización, resultando beneficioso y económico para los pequeños y medianos agricultores, debido a que representa una pequeña inversión frente a los costos de compra y transporte de abonos y/o fertilizantes.

No obstante, llevar la producción a escalas industriales para fines agronómicos podría ser una inversión económica mucho mayor, debido a que se habla de una producción continua de biochar, con más tecnología y con una mayor cantidad de variables que controlar. Pese a ello, el biochar presenta gran potencial en la mejorara los suelos degradados (Guerra, 2015).

2.6. *Prioridades de investigación a futuro*

Dentro de las cuestiones a futuro acerca del biochar, se ciñen una serie de controversias que, en particular, se pueden enfocar en una alternativa de gestión ambiental. Esto permitiría encaminar la validez de las propuestas a futuro para aumentar los conocimientos sobre el biochar, desde su generación hasta los beneficios y prejuicios en su relación con el suelo. Si las perspectivas han de ser positivas, una investigación aclarará todas las ideas que podrían estar equivocadas.

Las posibilidades de emplear el biochar como enmienda orgánica en el suelo, mitigan problemas como de entender los mecanismos de acción frente a la matriz del suelo y, en particular, con su coloide mineral. Es de suma importancia conocer acerca de las propiedades básicas del suelo cuando se adiciona el biochar, y de manera particular, sobre la funcionalidad y alteración de la biodiversidad del mismo, de esta manera, es esencial dar a conocer el efecto que tiene sobre la planta. Por último, y desde un punto de vista ambiental de gran interés, será fundamental describir la estabilidad del carbono del biochar para poder determinar la capacidad de ser fijado en el suelo y su potencial como sumidero de carbono (García et al., 2014, p. 104).

3. Residuos orgánicos de la agricultura intensiva

Todo tipo de sector productivo genera una serie de impactos ambientales que deben mitigarse. De esta manera, la agricultura intensiva se considera como una de las actividades con mayor impacto en el medio ambiente. Los residuos propios de la actividad agrícola pueden clasificarse de acuerdo con la etapa del proceso de donde provienen (Blázquez, 2003, p. 98).

Los residuos orgánicos derivados del proceso productivo están conformados por las partes de los cultivos que no son comestibles o comercializables. En ocasiones su eliminación resulta difícil, pese a la idea extendida de que, al ser residuos orgánicos, no suponen un problema para el ambiente. Los residuos de cosecha presentan un contenido variable de agua, elevado nivel de materia orgánica y una relación de C:N variable.

Vargas et al. (2014, p. 99), señala que la identificación, cuantificación y distribución geográfica de los cultivos y sus residuos son la solución efectiva para poder tratar de forma adecuada y respetuosa con el entorno, las acciones que se desarrollen. Normalmente, el destino final de los residuos es el abandono y nulo tratamiento, lo que termina en un grave impacto al medio ambiente. La práctica propuesta, incentiva al uso del residuo para otros propósitos como alimento animal, energía o enmiendas orgánicas.

Las características principales que presentan los residuos agrícolas residen en su dispersión y distribución geográfica, su estacionalidad, el elevado grado de humedad, y el elevado coste de transporte de los residuos a las zonas de tratamiento.

3.1. Producción de residuos agrícolas

En la agricultura intensiva, los residuos se generan en grandes volúmenes, concentrados temporalmente de forma localizada. Esta particularidad puede verse como una ventaja o una desventaja, dependiendo de si los residuos son considerados como tales o como materia prima para un posterior tratamiento. Las consecuencias de la mala gestión de residuos vegetales son la incineración no controlada y el abandono indiscriminado. Estos a su vez, tienen efectos negativos tales como la contaminación atmosférica y pérdida de recursos por la incineración no controlada, y, por otra parte, la propagación de enfermedades y plagas, riesgo de obturación de ramblas durante lluvias torrenciales, contaminación del suelo y acuíferos por lixiviación de compuestos tóxicos, alimento incontrolado para el ganado, entre otros, provocado por el abandono indiscriminado (Vargas et al., 2014, p. 194).

a. Cultivo de Sacha Inchi

Una de las especies nativas de la amazonia peruana es el sachá inchi, de nombre científico *Plukenetia volubilis*. Esta especie está asociada con la mayoría de los cultivos de la región (algodón, plátano, frijol, maíz, frutales, especies forestales, etc.), y su desarrollo se da en suelos ácidos y con concentraciones altas de aluminio. El sachá inchi se encuentra distribuida en diferentes regiones del Perú, como San Martín, Huánuco, Amazonas, Madre de Dios, Loreto y Cuzco, siendo una de las especies con mayor aporte nutricional para la alimentación mundial (Vecco, 2015). Los residuos procedentes del este cultivo contienen altos nutrientes, óxidos y sales minerales, no obstante, no se aplica un proceso de reciclaje.

b. Cultivo de Cacao

Uno de los sistemas agroforestales más populares de la amazonia peruana es el Cacao, de nombre científico *Theobroma cacao*. Ucayali se encuentra entre los mayores productores de cacao del Perú. La calidad del producto de cacao depende tanto del origen del material como del manejo y control sanitario frente a las alteraciones climáticas que se dan en el lugar, siendo las cascavas vertidas en el campo los medios de cultura para la propagación de focos infecciones de enfermedades y plagas, es por lo que su reciclaje es de vital importancia.

Las cenizas producidas a partir de las cáscaras del cacao son pobres en Mn, Cu, Zn, pero ricas en Ca, N, K, Na, P, Fe, y Mg (Guzmán, Pérez, Álvarez, Lares y Rodríguez, 2008). Además, las cenizas también pueden convertirse en un agregado orgánico para el suelo rico en potasio. La cascava de cacao puede ser utilizada para obtener un abono orgánico que consiste en una mezcla de residuos de cosecha de las plantas cultivadas (hojas, tallos, frutos, desperdicios).

3.2. Alternativas de aprovechamiento

Los residuos orgánicos procedentes de la agricultura representan una importante cantidad de fibras, energía y nutrientes para las plantas, incluso cuando se comparan con las fuentes comerciales de dichos productos como papel, combustibles fósiles y fertilizantes sintéticos (Smil, 1999). Por ello constituyen recursos renovables que deben ser aprovechados.

En base a lo mencionado, se destacan dos opciones principales de aprovechamiento, una que se enmarca en el propio sistema agrícola, a través de la producción de fertilizantes y sustratos, y que a su vez puede estar acompañado de aprovechamiento ganadero, y otra que está dirigida a la

obtención de energía y biocombustibles. Estas alternativas son las que constituyen principalmente los ejes de utilización de los recursos (Figura 3).

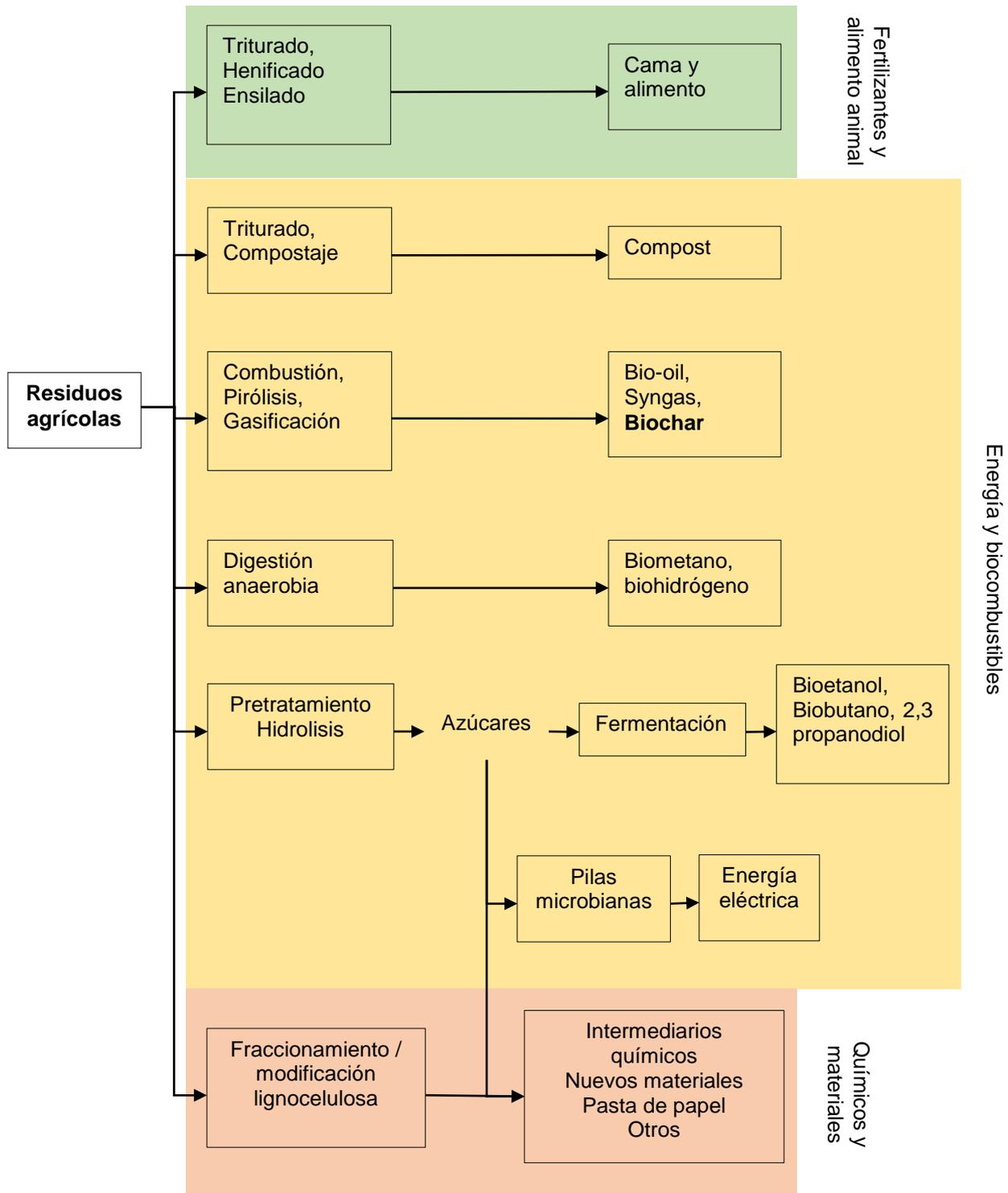


Figura 3. Alternativas de aprovechamiento de residuos vegetales. Fuente: López et al. (2015, p. 175).

IV. OBJETIVOS

1. General

Evaluar el efecto del biochar producido a partir de residuos agrícolas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) y cacao (*Theobroma cacao*) sobre la mejora de las características físicas y químicas del suelo degradado por la agricultura intensiva de la región Ucayali, usando la especie *Zea mays* como indicadora.

2. Específicos

- Definir la condición del suelo degradado extraído del distrito de Campoverde, Ucayali, mediante la determinación de los parámetros físicos y químicos.
- Evaluar las diferentes dosis de aplicación de los dos tipos de biochar mediante la determinación de las condiciones físicas y químicas del suelo.
- Determinar la capacidad de las enmiendas aplicadas en el mejoramiento de las propiedades del suelo estudiado a través del desarrollo de un cultivo de maíz.
- Determinar la mejor dosis de aplicación de biochar de cacao y sachá inchi en el suelo degradado estudiado.

V. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1. Zona de estudio

1.1. Localización

El suelo degradado evaluado fue recolectado en el Fundo de Ganaderos y Agricultores Pimental, distrito de Campoverde, Ucayali. La materia prima obtenida para la producción de biochar fue obtenida del Fundo Kizuna, en Campoverde y la Universidad Nacional de Ucayali, en Pucallpa, para sachá inchi y cacao respectivamente. La producción de biochar a través del horno se realizó en las instalaciones de la locación 12° 4'35.89"S y 77° 4'38.96"O, Lima, Perú, cerca del invernadero.

El desarrollo experimental de los ensayos se llevó a cabo en el invernadero localizado en 12° 4'35.89"S y 77° 4'38.96"O, Lima, Perú, con temperatura y humedad controlada. Así mismo, el análisis de suelo se realizó en los laboratorios de la Universidad Científica del Sur y la Universidad Agraria La Molina.

1.2. Características generales

El distrito de Campoverde se encuentra situado en el departamento de Ucayali, a una hora de la ciudad de Pucallpa, con una elevación que oscila los 193 m.s.n.m. La temperatura media anual es de 26°C y se caracteriza por tener un clima cálido y húmedo con lluvias regulares durante los meses de septiembre a abril, con época seca durante los meses de mayo y junio. La humedad relativa oscila en 83.6%, variando de acuerdo con el ciclo de lluvia (Gobierno Regional de Ucayali [GOREU], 2009).

Según el Plan Regional de Desarrollo de Capacidades de Ucayali (GOREU, 2012), el suelo de Campoverde presenta una textura franco arenoso con un porcentaje de arcilla no mayor de 20% en los primeros 15 cm de profundidad. El nitrógeno y la materia orgánica son bajos con alta acidez y con bajos niveles de cationes y fósforo y alta saturación de aluminio.

De acuerdo con la zonificación ecológica económica de Ucayali, la mayor parte de los suelos son zonas netamente agrícolas, de cultivo en limpio, permanentes e incluso para pastos (GOREU, 2009).

2. Materiales y equipos

2.1. Materiales y equipos de Campo

Los equipos y materiales usados en campo fueron: 1 horno pirólico de doble cilindro, 20 Kg de leña de eucalipto blanco, 1 balanza, 1 par de guantes, 1 pala, 1 pico, 10 bolsas de nylon, 33 macetas n°19, 1 termómetro, cámara, block de notas, lapicero y 33 bolsas herméticas de 20 cm x 30 cm.

2.2. Materiales y equipos de Laboratorio

Se usaron los siguientes materiales y equipos de laboratorio: 5 probetas de 1 litro, 3 probetas de 100 ml, balanza, 1 tamiz de 2 mm, 1 mortero, agua destilada, 3 beacker de 250 mL, 2 varillas agitadoras, solución calgón al 5%, 2 cucharitas, 1 batidora, 1 hidrómetro, 1 termómetro, 33 placas Petri, potenciómetro y crisol.

3. Metodología

3.1. *Obtención de la muestra de suelo degradado*

a. *Selección de la muestra*

La muestra de suelo obtenida fue recolectada de campos de pastizales con ausencia de vegetación y ganadería constantemente activa, suelo que anteriormente fue agrícola. De acuerdo con los lineamientos de MINAM (2014a), se tomaron muestras aleatorias en 1 hectárea de campo pastizal a una profundidad de 20 cm.

b. *Recolección*

Se recolectaron muestras de 25 kg de suelo en los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose una muestra homogénea compuesta de 75 kg, dispuestos en sacos de nylon de capacidad de 50 kilos. Esta cantidad fue de acuerdo con lo requerido en los 33 ensayos con el biochar y maíz indicador. Se tomó en cuenta la variación de peso por la humedad del suelo.

c. *Acondicionamiento*

Para el acondicionamiento del suelo degradado, se transportó a través de bolsas de nylon hasta el departamento de Lima. Tanto para el análisis en el laboratorio, como para el diseño experimental, el suelo pasó por un proceso de secado al aire libre por 48 horas, para posteriormente tamizarlo a través de un tamiz de 2mm (tierra fina seca al aire) (Honorato, 2000). Una vez tamizado, se procedió a preparar los ensayos en las macetas.

En la Figura 4, se puede observar el proceso de selección, recolección y acondicionamiento de la muestra de suelo degradado.



Figura 4. Obtención de la muestra de suelo degradado. a) Punto de muestreo. b) Toma de muestra a 20 cm de profundidad. c) Almacenamiento y transporte en bolsas de nylon. d) Suelo secado al aire libre por 48 horas para su posterior uso.

3.2. Obtención de la materia prima

a. Selección de la muestra

El fundo de la Universidad Nacional de Ucayali ubicado en el centro de Pucallpa, Ucayali, fue el lugar donde se extrajo la cáscara de cacao que se empleó en la producción de biochar. La cascara, que constituye cerca del 80% del fruto, fue recolectada del campo, donde es desechado.

En el distrito de Campoverde, departamento de Ucayali, el Fundo Kizuna (ver Anexo 2) maneja el cultivo tradicional de sachá inchi que posee el residuo necesario para el biochar. De igual manera, la cascara de sachá inchi constituye de 33% a 35%, llegando a producir grandes cantidades de desechos que no tienen uso posterior.

b. Recolección de la muestra

Se tomaron muestras homogéneas de 30 kg por cada tipo de materia prima a utilizar para su posterior proceso de pirólisis. Las muestras fueron recolectadas en sacos herméticos directamente de una de las zonas de acopio de residuos de las cosechas del fundo Kizuna de Campoverde, ubicado en el distrito de Campoverde (residuos de sachá inchi) y del fundo de cacao de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado en el centro de Pucallpa (residuos de cacao).

c. Acondicionamiento

Las muestras fueron recolectadas y dispuestas sobre calaminas para su proceso de secado a temperatura de ambiente, en un lugar abierto y techado para proteger la muestra de las lluvias. La cascara fue secada y expuesta al aire por 48 horas para eliminar el contenido de humedad y que el proceso de pirólisis requiera menos energía (McElligott, Page-Dumroese, y Coleman, 2011).



Figura 5. Obtención de la materia prima. a) Sachi inchi. b) Cascara de sacha inchi. c) Secado al aire por 48 horas. d) Cascara de cacao. e) Secado al aire por 48 horas. f) Transporte del cacao en bolsas de nylon.

3.3. Producción del biochar

Para la producción del biochar se siguieron los lineamientos establecidos por Guerra (2015). Se utilizó un horno tipo Doble Cilindro de 60 litros de capacidad, al cual se le controló las entradas de aire. La materia prima seca (bajo contenido de humedad) se introdujo en la cámara interna del horno con previo pesaje de esta. El espacio libre entre los dos cilindros fue llenado con materiales combustibles como leña de eucalipto blanco. El proceso pirólisis duró alrededor de 2 horas y el proceso de enfriamiento unas 3 horas más. Por último, se retiró la cámara interna que contenía el biochar y se procedió a pesarlo para determinar el rendimiento de la producción. De esta manera se elaboró dos tipos de biochar, uno por cada especie vegetal.

Para la aplicación directa del biochar en el suelo, este pasó por un proceso de granulación, obtenido a través de la molienda y tamizado menor a 2 mm, tamaño ideal para la integración con el suelo y la asimilación de sus propiedades por la planta (García et al., 2014).

En la Figura 6 se observar el proceso de producción del biochar, desde el proceso de carbonización en el horno, hasta la granulación y tamizado del biochar.



Figura 6. Producción de biochar. a) Horno pirólico. b) Materia prima. c) Preparado del horno con eucalipto blanco. d) Combustión completa. e) Materia prima carbonizada. f) Carbón de cacao post horno. g) Molienda. h) Tamizado. i) Pesado para los ensayos.

3.4. Diseño experimental

Para el diseño experimental, se llevó a cabo 11 tratamientos con 3 repeticiones de ensayos de suelo y biochar a diferentes concentraciones (de 0% a 25% en peso) (Tabla 3). Este proceso de 45 días se realizó en el invernadero de la Universidad con el suelo degradado y biochar, usando maíz como planta indicadora.

El suelo degradado con biochar se dejó reposando durante 15 días para su integración y activación, en este periodo, se empezó a humedecer el suelo a través del riego. Posteriormente, se procedió al cultivo de plantas de maíz.

Tabla 3. Diseño experimental de la evaluación del biochar por dosis y repeticiones.

	Tratamiento		Dosis (kg)*		Repeticiones		
			SD**	Biochar	1	2	3
	T0	SD	2	0	T0-1	T0-2	T0-3
Biochar Sacha Inchi***	T1	SD + BS (5%)	1.9	0.1	T1-1	T1-2	T1-3
	T2	SD + BS (10%)	1.8	0.2	T2-1	T2-2	T2-3
	T3	SD + BS (15%)	1.7	0.3	T3-1	T3-2	T3-3
	T4	SD + BS (20%)	1.6	0.4	T4-1	T4-2	T4-3
	T5	SD + BS (25%)	1.5	0.5	T5-1	T5-2	T5-3
Biochar Cacao****	T5	SD + BC (5%)	1.9	0.1	T5-1	T5-2	T5-3
	T6	SD + BC (10%)	1.8	0.2	T6-1	T6-2	T6-3
	T7	SD + BC (15%)	1.7	0.3	T7-1	T7-2	T7-3
	T8	SD + BC (20%)	1.6	0.4	T8-1	T8-2	T8-3
	T5	SD + BC (25%)	1.5	0.5	T5-1	T5-2	T5-3
Total de unidades experimentales					33		

(*) 1 unidad experimental equivale a 2 kilos; (**) Suelo degradado; (***) Biochar de sachá inchi; (****) Biochar de cacao.



Figura 7. Preparación del diseño experimental. a) Suelo. b) Tamizado a 2 mm. c) Pesado. d) Separado. e) Integrado con el biochar. f) Compactado. g) Agujero para el maíz. h) 33 ensayos. i) Plantación de maíz pregerminado.

Para cada unidad experimental se procedió a un (1) riego diario de 250 ml, tomando en cuenta la temperatura del ambiente y la humedad relativa.

3.5. Análisis físico y químico de los tratamientos

Para la caracterización del suelo se analizaron los siguientes parámetros indicados en la Tabla 4:

Tabla 4. Parámetros del suelo a evaluados en el laboratorio.

Parámetro	Unidad	Método	Descripción	Lectura
pH	Unidad de pH	9045D	Potenciómetro a través de una solución del suelo 1:10 sólido-líquido	Al día 45 (los 33 tratamientos)
Conductividad eléctrica*	dS/m	9045D	Conductímetro a través de una solución del suelo 1:10 sólido-líquido	
Capacidad de intercambio catiónico*	meq/100g	Acetato de amonio	Determinación por solución ácida y titulación.	
Materia orgánica*	%	AS-07	Método de Walkley y Black. Determinación por solución oxidante.	
Nitrógeno*	%	Kjeldahl	Determinación por solución ácida y titulación.	
Fósforo*	ppm	EPA 3051	Extracción de fósforo total en suelos mediante ácido fuerte.	
Potasio*	ppm	Bray-P1	Determinación por solución ácida y titulación.	
Densidad real	g/cm ³	Cilindro	Toma de muestra en probeta y variación de pesos con agua.	
Textura	-	Bouyoucos	Determinación por sedimentación de partículas con hidrómetro	

(*) Este parámetro se evaluará en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina

3.6. Análisis del desarrollo de la planta indicadora

Se evaluó el desarrollo de la planta de maíz (*Zea mays*, **Hibrido SV3243**) sobre los ensayos de suelo como parte de la caracterización. Las semillas germinadas, con características uniformes en tamaño de raíz fueron usadas para los ensayos con los parámetros que se indican en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros evaluados en el crecimiento de las plantas.

Variable	Parámetro	Unidad	Descripción	Lectura
Desarrollo aéreo	Altura de planta	cm	Con regla calibrada, se mide la altura de la planta desde la base hasta la última hoja.	Día 15, 30 y 45
	Nro. de hojas	n° hojas	Se procede al conteo de hojas, considerando las plantas verdes sin clorosis.	Día 15, 30 y 45
Desarrollo subterráneo	Longitud de raíces	cm	Al término de la experimentación, se retiraron las plantas y con regla calibrada se procederá a la medición del largo de las raíces.	Día 60

3.7. Análisis estadístico

La comparación de las medias de todos los parámetros analizados pasó por las pruebas de Normalidad de Shapiro-Wilk y Homogeneidad de varianzas de Levene para determinar si existen diferencias a través del análisis de varianza (ANOVA). Posteriormente, se aplicó la prueba de Tukey para determinar las diferencias entre grupos. Además, para los grupos de medias que no pasaron las pruebas de Normalidad y Homocedasticidad, se hizo una transformación de Box-Cox.

VI. RESULTADOS

1. Análisis del desarrollo de la planta indicadora

1.1. *Altura de planta*

De acuerdo con el análisis de varianza de las medias de los diferentes tratamientos, se determinó diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de los 2 tipos biochar al día 15, 30 y 45.

Para el tratamiento de biochar de sachá inchi (Figura 8) las concentraciones de 5% y 10% al día 15, mostraron el mayor crecimiento de los tratamientos con diferencias sobre las demás concentraciones, llegando a 35.5 cm de altura promedio. La concentración más alta y el control (0%) se mostraron limitados en su crecimiento sin diferencias entre estas.

Al día 30 de la siembra del maíz, las concentraciones menores de 5% y 10% sobrepasaron los 70 cm de alto, sin diferencias significativas entre estas junto a la concentración 15%. Por otro lado, el crecimiento limitado en la concentración 25% y 0% continuaron siendo las de menor crecimiento con similitud significativa.

Al último día de toma de datos la concentración 10% alcanzó el promedio de altura más alto, sin embargo, no hubo diferencias significativas con las concentraciones 5%, 15% y 20%. Finalmente, la concentración 25% y el control, se mantuvieron sin diferencias significativas, con crecimiento limitado por debajo de los 40 cm.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi en la altura de la planta de maíz se puede observar en la Figura 8:

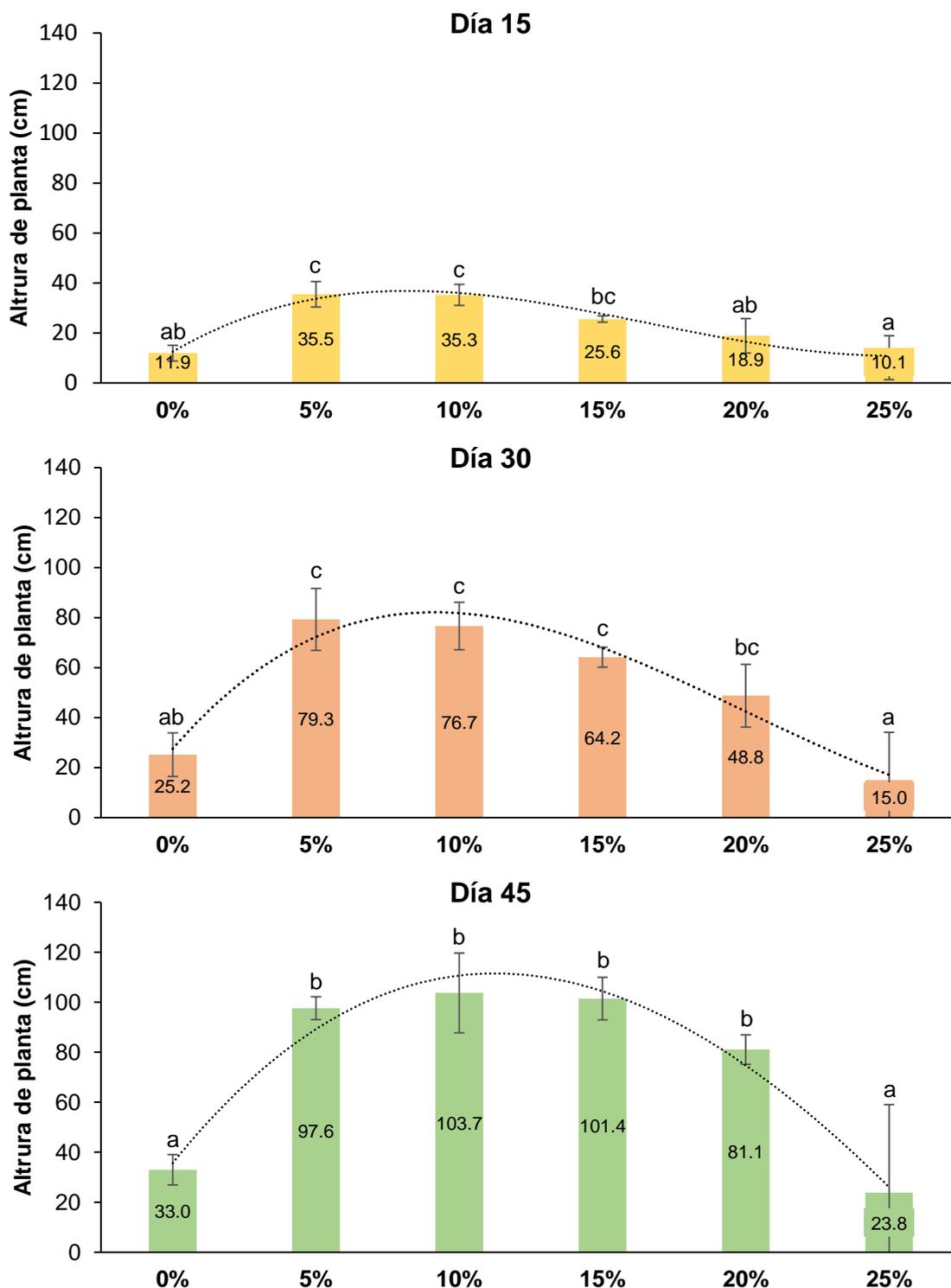


Figura 8. Altura de planta (cm) de maíz al día 15, 30 y 45 con tratamiento de *biochar de sachá inchi* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

El tratamiento del suelo degradado con biochar de cacao también presentó diferencias significativas en todos los días de toma de dato, con un comportamiento similar al tratamiento de biochar, donde la concentración más baja presentó el crecimiento más alto.

Para la toma de datos del día 15, se observaron diferencias significativas del tratamiento de 5% respecto a los demás tratamientos, con una altura media de 30.5 cm. Las demás concentraciones no fueron diferentes entre sí (Figura 9).

Al día 30, se mantuvo la tendencia de crecimiento, con un crecimiento máximo en la concentración 5%, superando los 60 cm y siendo significativamente superior a las demás concentraciones de biochar. Las concentraciones superiores a 5% fueron significativamente similares, con medias que oscilaban entre 4 y 8 cm.

La última toma de datos de la planta de maíz mostró un crecimiento mayor en la concentración de biochar más baja, con un valor superior a los 90 cm, siendo significativamente diferente a los demás tratamientos. La tendencia se mantuvo tal cual el día 30, con valores mínimos en las concentraciones superiores al 5%.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de cacao en la altura de la planta de maíz se puede observar en la Figura 9:

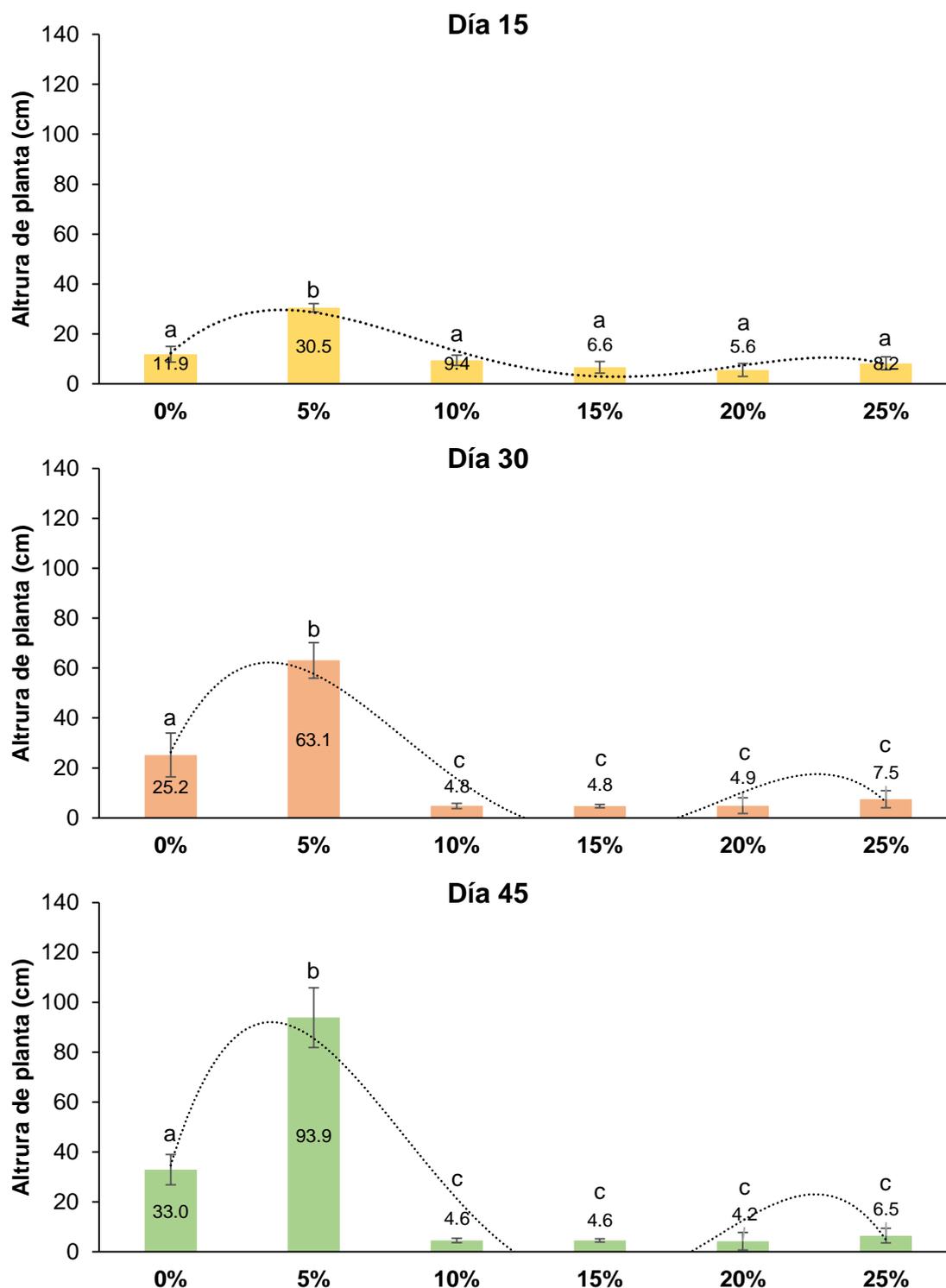


Figura 9. Altura de planta (cm) de maíz al día 15, 30 y 45 con tratamiento de *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

1.2. Número de hojas

El análisis de varianza en el parámetro de número de hojas reflejó diferencias significativas entre los tratamientos de biochar de sachá inchi.

Al día 15, las dosis de 5% y 10% se encontraron con valores medios a las 6 número de hojas, siendo significativamente similares. Por otro lado, la concentración más alta de biochar (25%), mostró la media más baja de número de hojas en la planta, con un valor de 2, significativamente diferente a todos los demás tratamientos.

La toma de datos del día 30 mantuvo un comportamiento similar al día 15, con similitudes en las dosis 5%, 10% y 15%, donde el número de hojas fue el mayor en comparación a las demás concentraciones. De igual manera, la concentración más alta presentó la menor media de número de hojas, con valores similares al día 15, siendo significativamente diferente a los demás tratamientos.

Por último, al día 45, la media del número de hojas de las concentraciones entre 0% y 20% no fueron significativamente diferentes, con valores entre 6 y 8 número de hojas. La concentración más alta se mantuvo con una media diferente a las demás concentraciones, con un valor que no superó las 2 hojas.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi en el número de hojas de la planta de maíz se puede observar en la Figura 10:

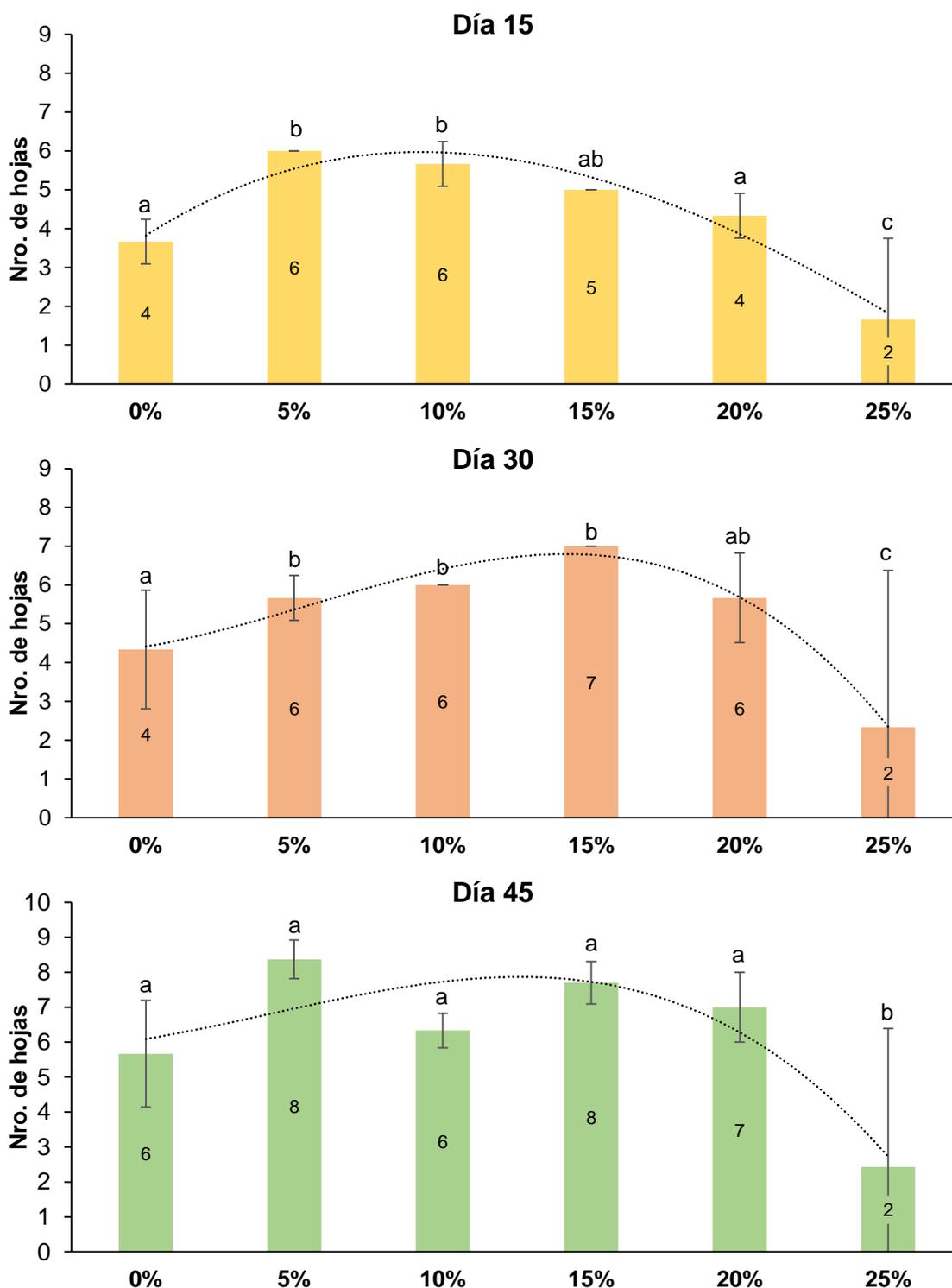


Figura 10. Número de hojas de maíz al día 15, 30 y 45 con tratamiento de *biochar de sachá inchi* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

El tratamiento de biochar de cacao mostró un efecto marcado en el crecimiento de las hojas. Con diferencias notorias entre las diferentes concentraciones.

La toma de datos de día 15 mostraron diferencias notorias en las concentraciones más bajas (0%, 5% y 10%), con valores medios entre 3 y 4 hojas. Las dosis superiores presentaron valores inferiores a 2 hojas, incluso, la ausencia de hojas en la concentración 20%.

Al día 30, las dosis de biochar superiores a los 5% mostraron una ausencia de hojas en todas las concentraciones, con similitudes significativas. La dosis 5% presentó un crecimiento mayor, con valores medios a 7, significativamente diferentes a los demás tratamientos, la dosis control (0%), mantuvo el mismo número de hojas que el día 15, con valores medias de 4, significativamente diferentes a las demás concentraciones.

La toma de datos final mantuvo la tendencia de los demás días, con valores medios de 0 hojas en las dosis superiores a 5%, las concentraciones menores, presentaron un número de hojas superiores a los 6. Para el control, se mostró significativamente diferentes a los demás tratamientos, al igual que el tratamiento 5%, con valor medio de 7 hojas, significativamente diferentes a los demás tratamientos.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de cacao en el número de hojas de la planta de maíz se puede observar en la Figura 10:

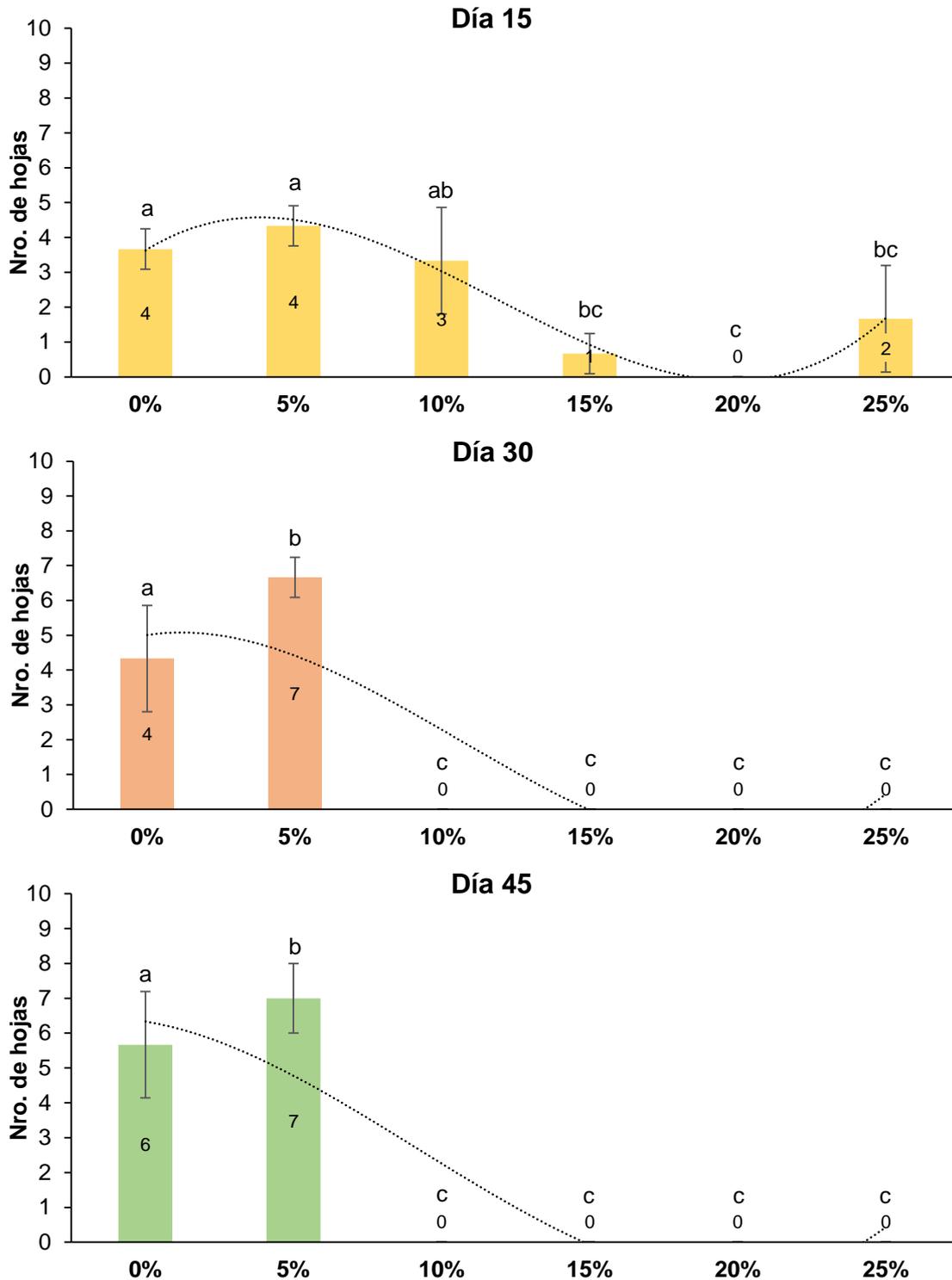


Figura 11. Número de hojas de maíz al día 15, 30 y 45 con tratamiento de *biochar* de cacao a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

1.3. Longitud de raíz

Para el parámetro de longitud de raíz, se encontraron diferencias entre los diferentes tratamientos, tanto de sachá inchi, como de cacao a diferentes concentraciones.

El tratamiento de biochar de sachá inchi se mostró con similitudes entre la concentración más alta (25%) y el tratamiento control, con longitud de raíz inferior a los 20 cm. Por otra parte, las concentraciones entre 5 y 20% no presentaron diferencias significativas entre sí, con valores promedio por encima de los 60 cm hasta sobre los 75 cm (Figura 12). La tendencia de crecimiento fue exponencial, con un crecimiento mayor a menor concentración.

Por otra parte, el tratamiento de biochar de cacao mostró un crecimiento mayor en la dosis más baja de biochar (5%), con un valor medio superior a los 60 cm, siendo significativamente diferentes a los demás tratamientos. Las dosis superiores a 5% no fueron diferentes entre sí, donde se mantuvieron con crecimiento reducido por debajo de los 5 cm de longitud. El suelo degradado (0%) permitió a la planta tener un crecimiento significativamente diferente a los demás tratamientos, con un valor cercano a los 20 cm, siendo superior a las concentraciones más altas de biochar de cacao.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en la longitud de raíz de la planta de maíz se puede observar en la Figura 12:

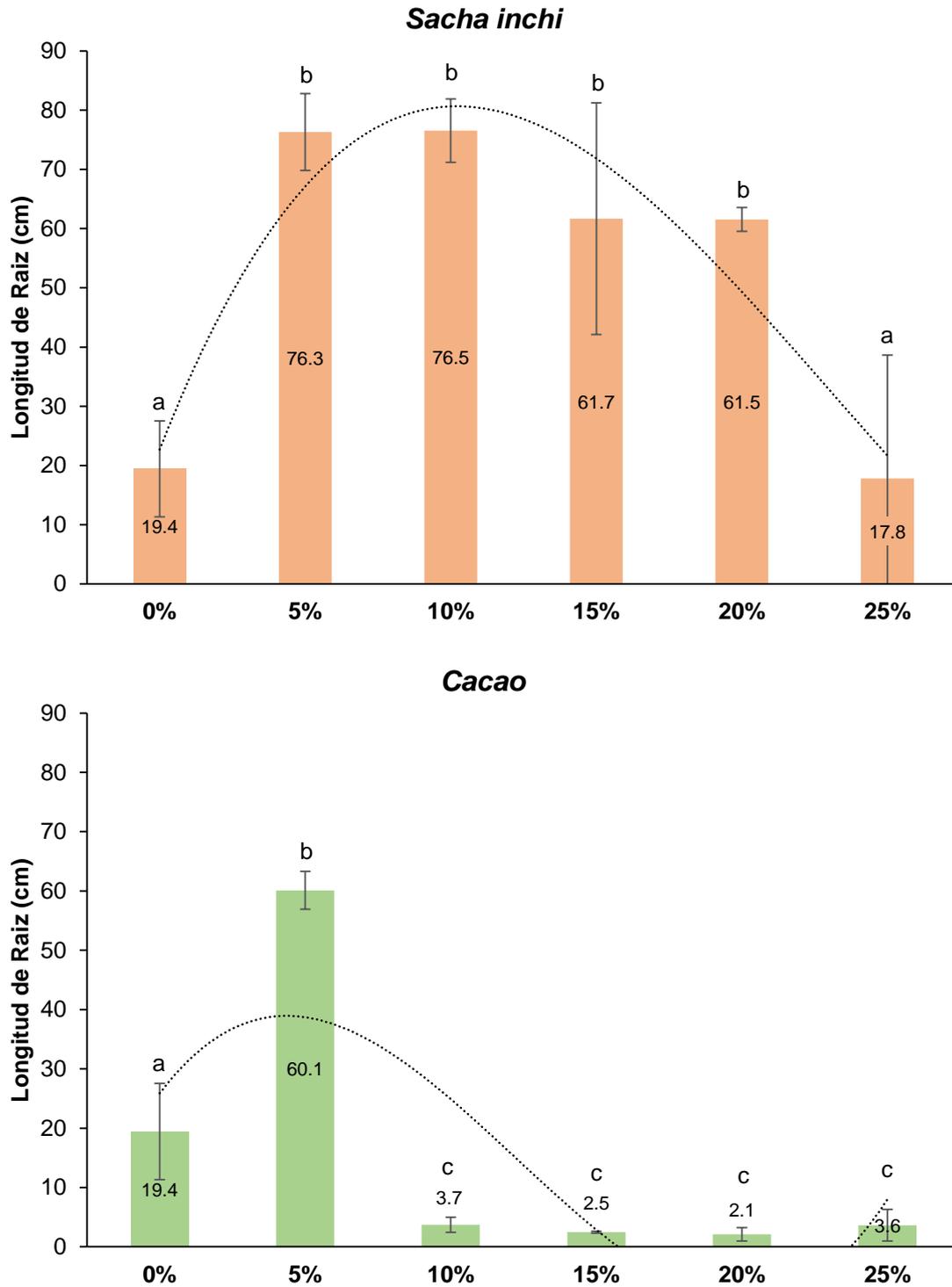


Figura 12. Longitud de raíz del maíz al día 45 con tratamiento de *biochar de sachá inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes dosis. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2. Análisis físico y químico del suelo

2.1. pH

Los niveles de pH en los tratamientos tanto de sachá inchi, como de cacao, mostraron una tendencia positiva, con un aumento del pH a medida que aumentaba la concentración de biochar en el suelo.

El tratamiento de biochar de sachá inchi mostró diferencias significativas entre cada una de sus concentraciones, con valores de pH ascendentes conforme aumentaba la dosis de biochar. El suelo control (0%) presentó el menor valor de pH, con un valor ácido de 3.5. El tratamiento de mayor concentración (25%) se mostró alcalino, con valores superiores a los 9.5.

Para el tratamiento de biochar de cacao, el comportamiento de las concentraciones fue ascendente, similar al de biochar de sachá inchi, con valores de pH ácidos en el tratamiento control, ascendiendo conforme aumentaba la dosis de biochar. Las dosis superiores a 10% no presentaron diferencias significativas entre ellos, mostrando valores superiores a los 10, altamente alcalinos. Las concentraciones más bajas (5% y 10%) presentaron diferencias significativas entre ellos. La concentración 5% se mantuvo cerca del pH neutro, mientras que la siguiente concentración, no superó el pH 10.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en el pH del suelo evaluado se detalla en la Figura 13:

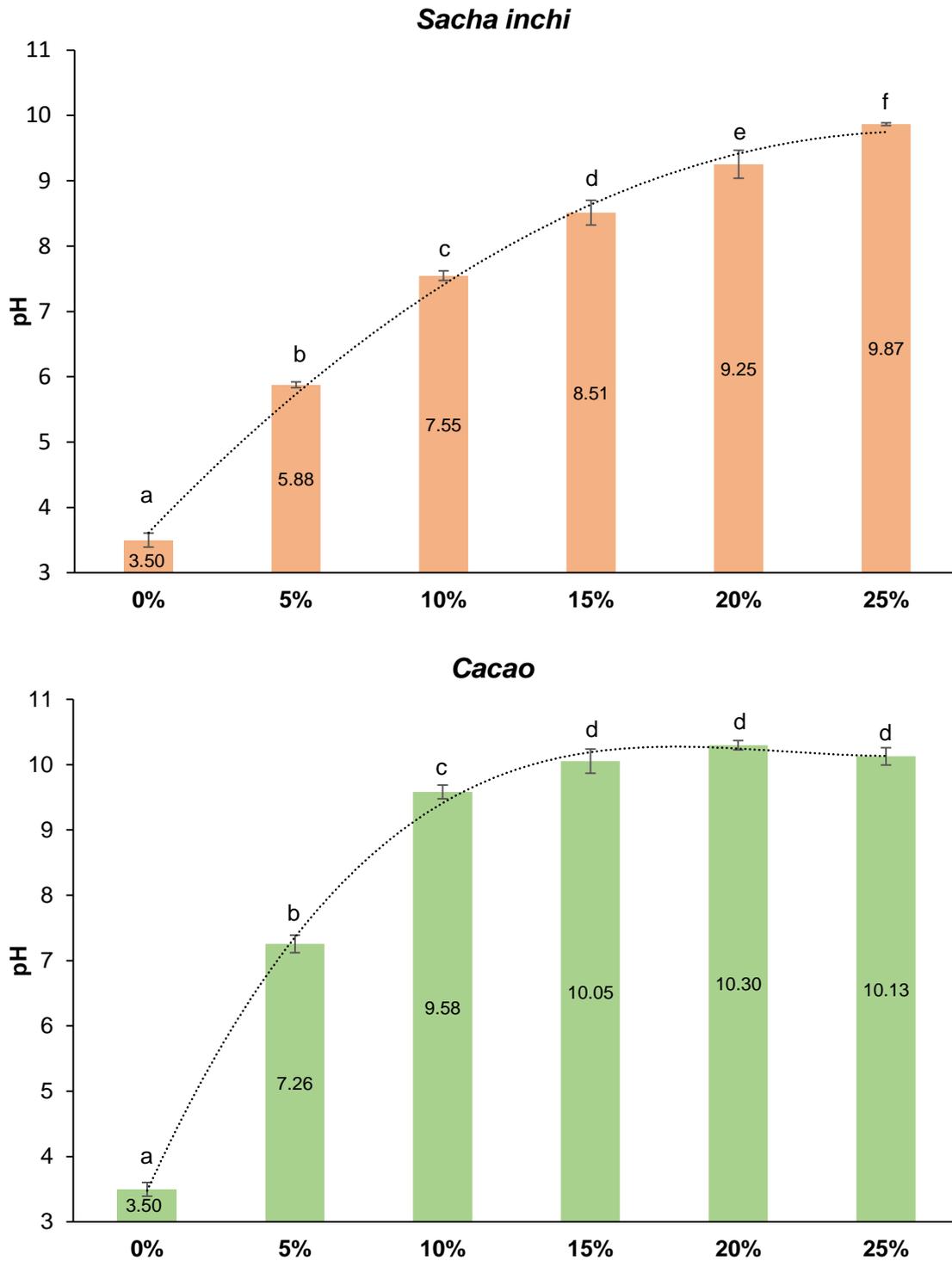


Figura 13. pH de los tratamientos de *biochar de sacha inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2.2. Conductividad eléctrica

Las medias de los valores conductividad eléctrica entre las concentraciones de los diferentes tratamientos fueron significativamente diferentes en muchas de las dosis.

El tratamiento con biochar de sachá inchi presentó una conductividad eléctrica con tendencia ascendente a mayor concentración de biochar, con valores desde 0.56 dS/m en el tratamiento control, hasta 4.58 dS/m en la concentración más alta, donde se encontró diferencias significativas entre los demás tratamientos. El tratamiento con la mayor dosis de biochar presentó una diferencia respecto a los demás tratamientos, siendo el tratamiento que presentó el mayor valor de conductividad. Las dosis 15% y 20% no presentaron diferencias entre sí. Por otro lado, las dosis menores (0%, 5% y 10%) presentaron similitudes en sus valores, con valores menores a los 2 dS/m.

Para los tratamientos con cacao, la tendencia fue, de igual manera, ascendente, con más conductividad mientras incrementaba la dosis, sin embargo, la dosis más alta no fue la que presentó la media de conductividad más elevada. El tratamiento de 20% presentó la mayor media de valores, con diferencias significativas con las dosis 0%, 5% y 10%, pero con similitudes con las dosis superiores. Las dosis de 10%, 15% y 25% fueron similares, con valores por encima de los 4 dS/m, e inferiores a 5.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en la conductividad eléctrica del suelo evaluado se detalla en la Figura 14:

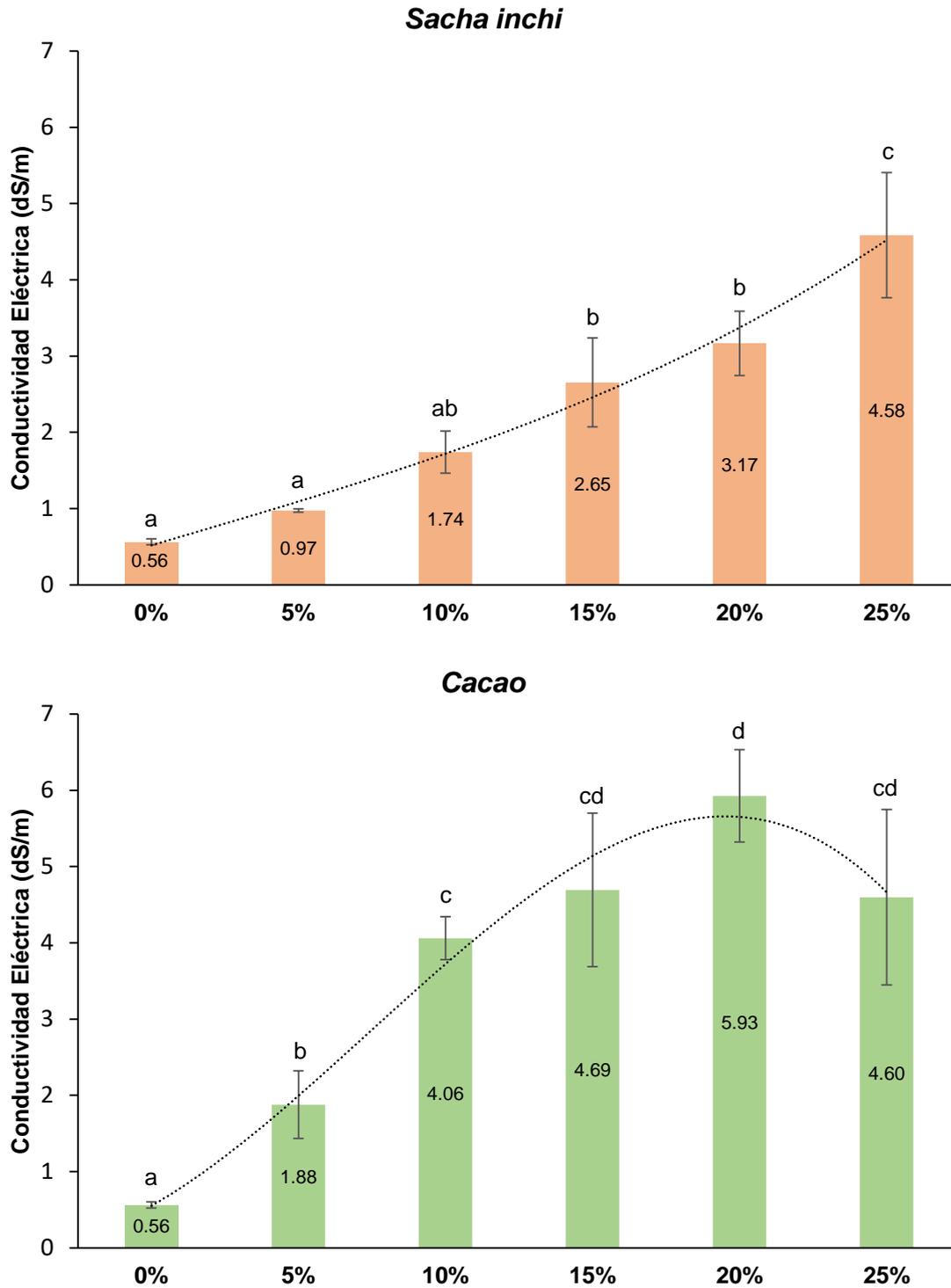


Figura 14. Conductividad eléctrica de los tratamientos de *biochar de sachá inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2.3. Capacidad de intercambio catiónico

De acuerdo con los resultados observados del presente parámetro, en el tratamiento de sachá inchi se observaron datos homogéneos en las medias con excepción de la dosis 10% y 25%, donde presentaron valores diferentes superiores a 10.4 meq/100g. Las demás concentraciones fueron estadísticamente similares con medias entre 9.3 y 10.3 meq/100g.

Los resultados del tratamiento de biochar de cacao muestran homogeneidad en sus valores, sin diferencias significativas entre estas. Todas las dosis mostraron valores entre 9.23 y 10.51 meq/100g.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en la capacidad de intercambio catiónico del suelo evaluado se detalla en la Figura 15:

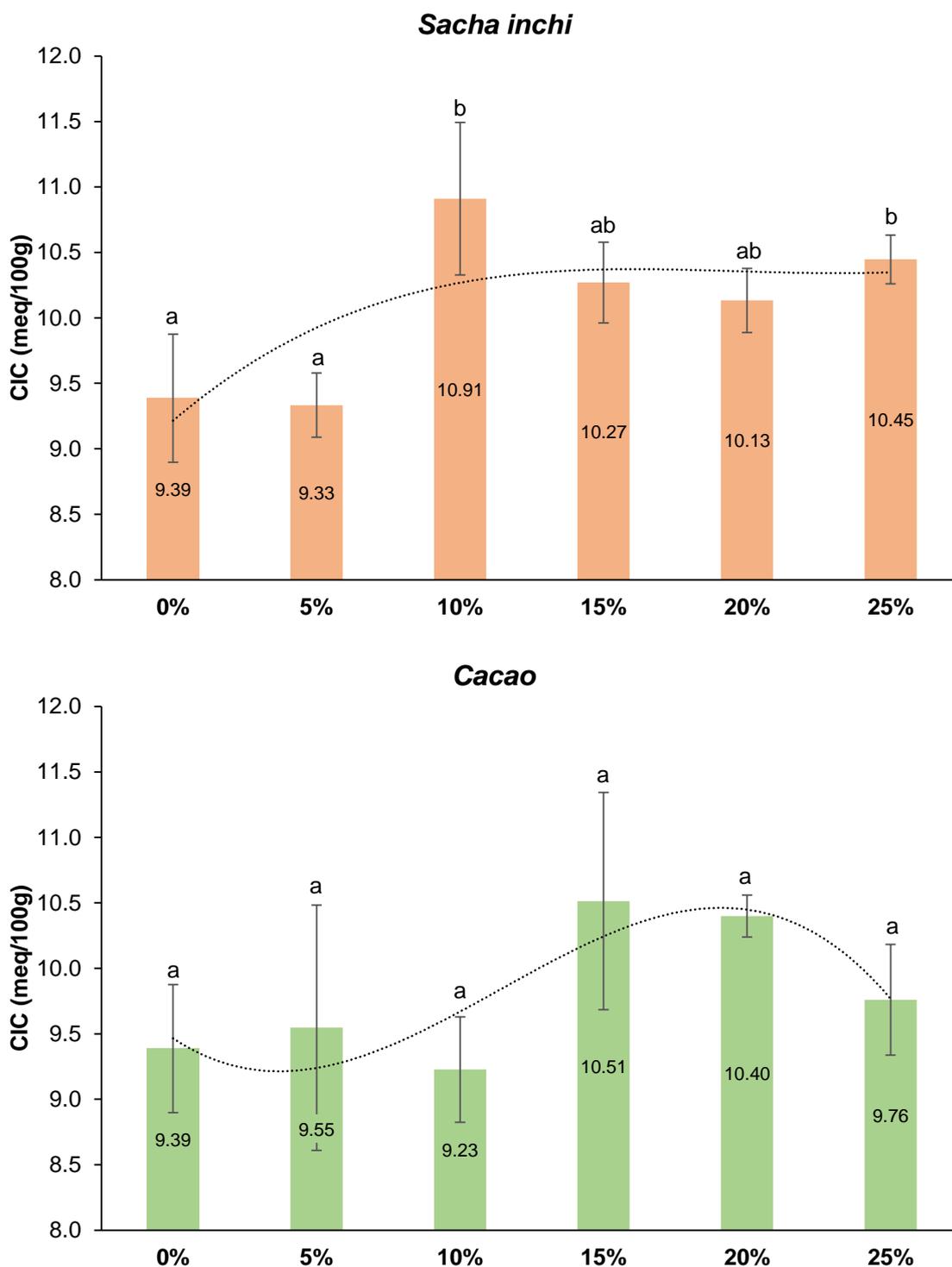


Figura 15. Capacidad de intercambio catiónico de los tratamientos de *biochar de sachá inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2.4. Materia orgánica total

En el caso del parámetro de materia orgánica total, se observaron diferencias entre los tratamientos tanto como para biochar de sachá inchi, como de cacao.

Los resultados indican una tendencia ascendente respecto las concentraciones de biochar. El tratamiento de sachá inchi mostro valores heterogéneos, la concentración inicial (0%) presentó 1.02% de materia orgánica. El valor máximo de materia orgánica se dio en la concentración más alta de biochar con un valor de 3.44%, significativamente diferente a las demás dosis. Las dosis 10%, 15% y 20% fueron similares entre sí, de igual manera, la dosis 5% y 10% presentaron similitud.

La materia orgánica en los tratamientos de cacao se comportó de igual manera que en sachá inchi, con una tendencia ascendente a mayor concentración. El valor inicial fue de 1.02%, hasta el valor máximo de 2.82% en la concentración más alta, sin diferencias significativas con la concentración 20%.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en la materia orgánica total del suelo evaluado se detalla en la Figura 16:

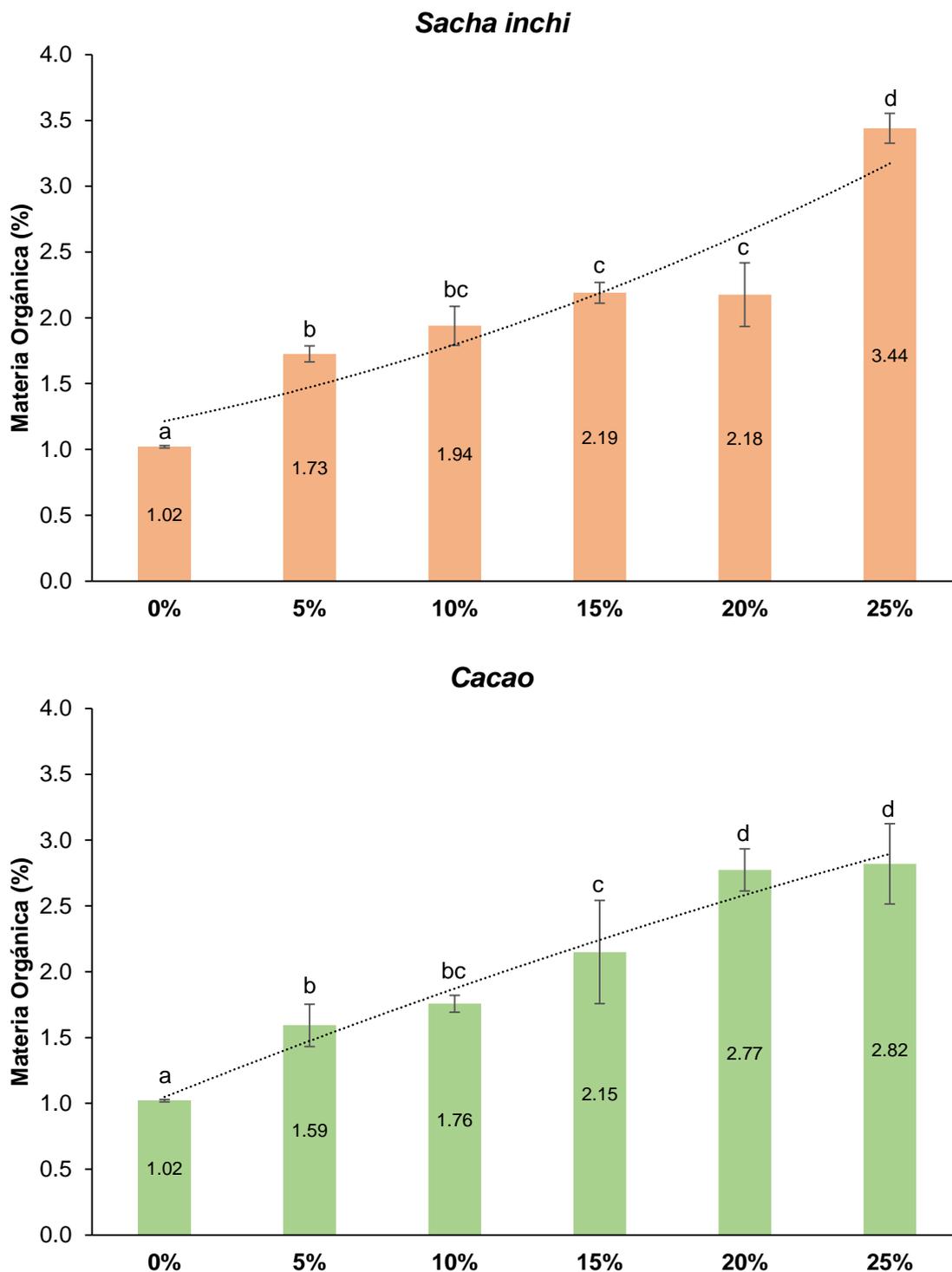


Figura 16. Materia orgánica total de los tratamientos de *biochar de sachá inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2.5. Nitrógeno total

Los valores de nitrógeno total variaron con respecto a las concentraciones, sin tendencia positiva o negativa.

El tratamiento de sachá inchi en el suelo mostró valores desde 0.10% hasta 0.38%. Las dosis de 0% y 5% presentaron medias similares sin diferencias. La dosis de 25% alcanzó el valor medio más alto, con diferencias significativas respecto a las demás concentraciones. Los valores de 10%, 15% y 25% no presentaron diferencias entre estos.

Para el tratamiento de biochar de cacao, los valores no presentaron diferencias en ninguna de las dosis. Con valores medios de oscilan entre 0.10% a 0.18%.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en la materia orgánica total del suelo evaluado se detalla en la Figura 17:

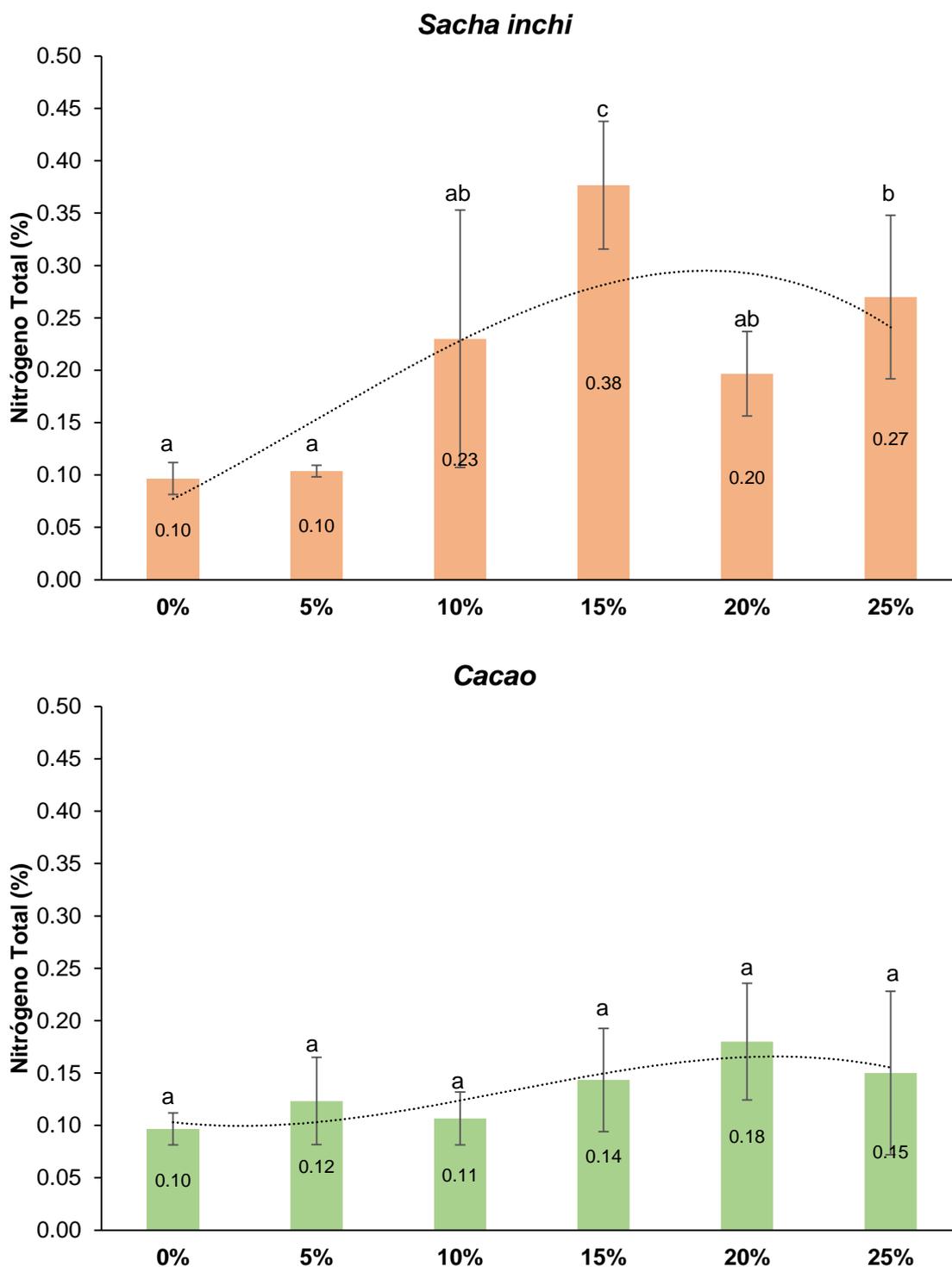


Figura 17. Nitrógeno total de los tratamientos de *biochar de sachu inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2.6. Fósforo total

La concentración de fósforo total en el suelo tuvo una tendencia ascendente con respecto a las dosis, con valores medios heterogéneos entre las dosis.

El tratamiento de biochar de sachá inchi mostró diferencias significativas entre todas sus concentraciones, con valores que partieron desde 2.7 ppm en las concentraciones control (0%) hasta 147.5 ppm en la dosis más alta de biochar en el suelo. Los valores tuvieron un crecimiento exponencial ascendente a mayor concentración.

Para el tratamiento de biochar de cacao, los valores se comportaron de manera similar que el tratamiento de sachá inchi, con una tendencia ascendente positiva, desde el valor de 2.7 ppm hasta 147.6 ppm de valor medio. Las concentraciones más altas de 20% y 25% no presentaron diferencias significativas entre ellas. Por otro lado, los valores menores a 20%, presentaron diferencias entre cada una de las concentraciones.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en el fósforo total del suelo evaluado se detalla en la Figura 18:

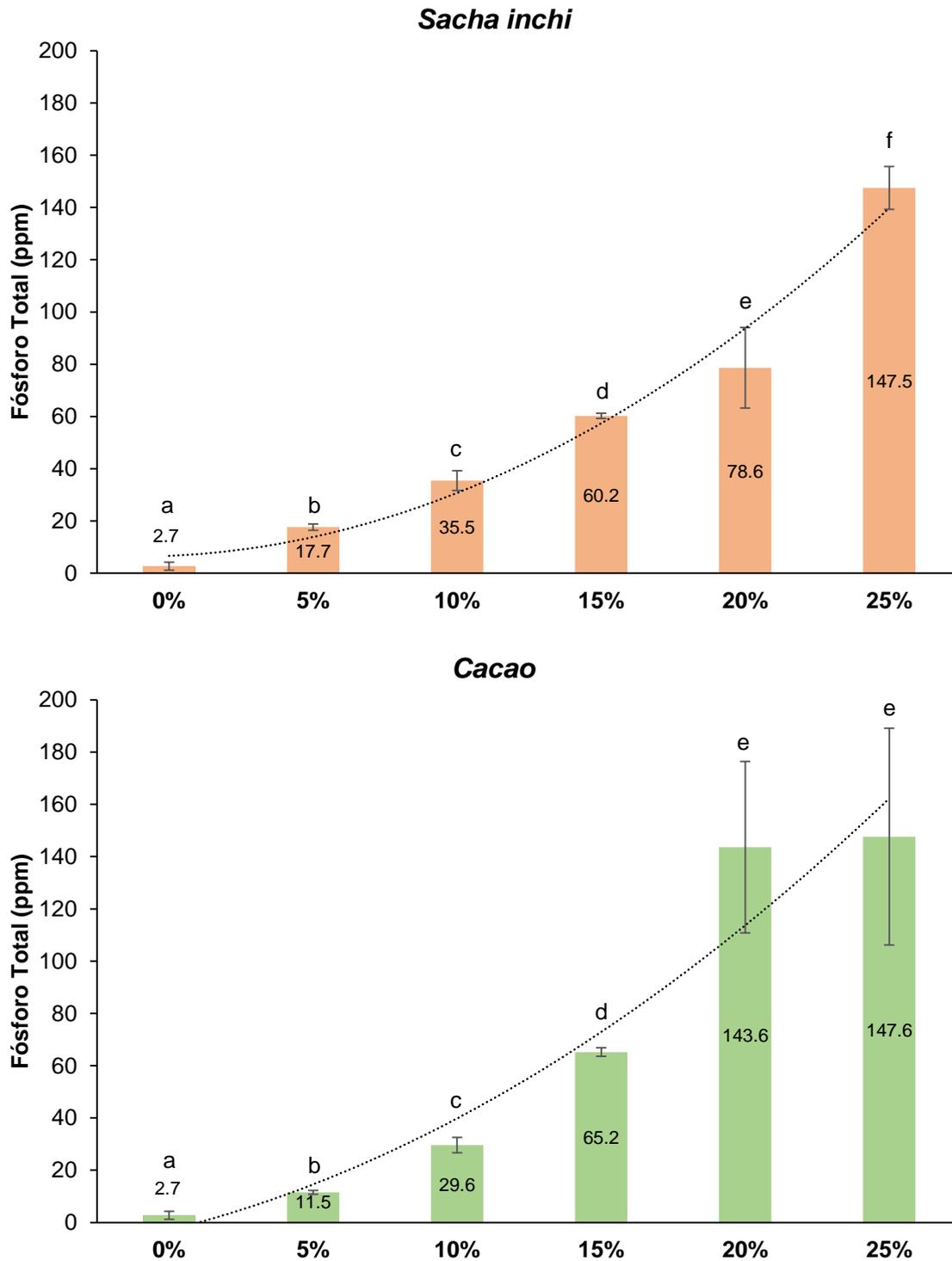


Figura 18. Fósforo total de los tratamientos de *biochar de sachá inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2.7. Potasio total

El efecto del biochar en el suelo se mostró con datos heterogéneos, con tendencia ascendente con respecto al aumento de la concentración de biochar en el suelo.

El potasio total en el suelo con tratamiento de biochar de sachá inchi, incrementó a medida que aumentaba la dosis de biochar. Cada concentración, fue significativamente diferente respecto de la otra, con valores desde 49 ppm (0%) hasta 5070 ppm en la concentración más alta.

Por otro lado, el tratamiento del suelo con biochar de cacao, tuvo un comportamiento similar que el de sachá inchi, sin embargo, la concentración 20%, presentó la mayor media de todos los valores, sin diferencias significativas con la concentración más alta de 25%. El comportamiento del nivel de potasio fue ascendente, partiendo de 49 ppm hasta valores superiores a 8000 ppm.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en el fósforo total del suelo evaluado se detalla en la Figura 19:

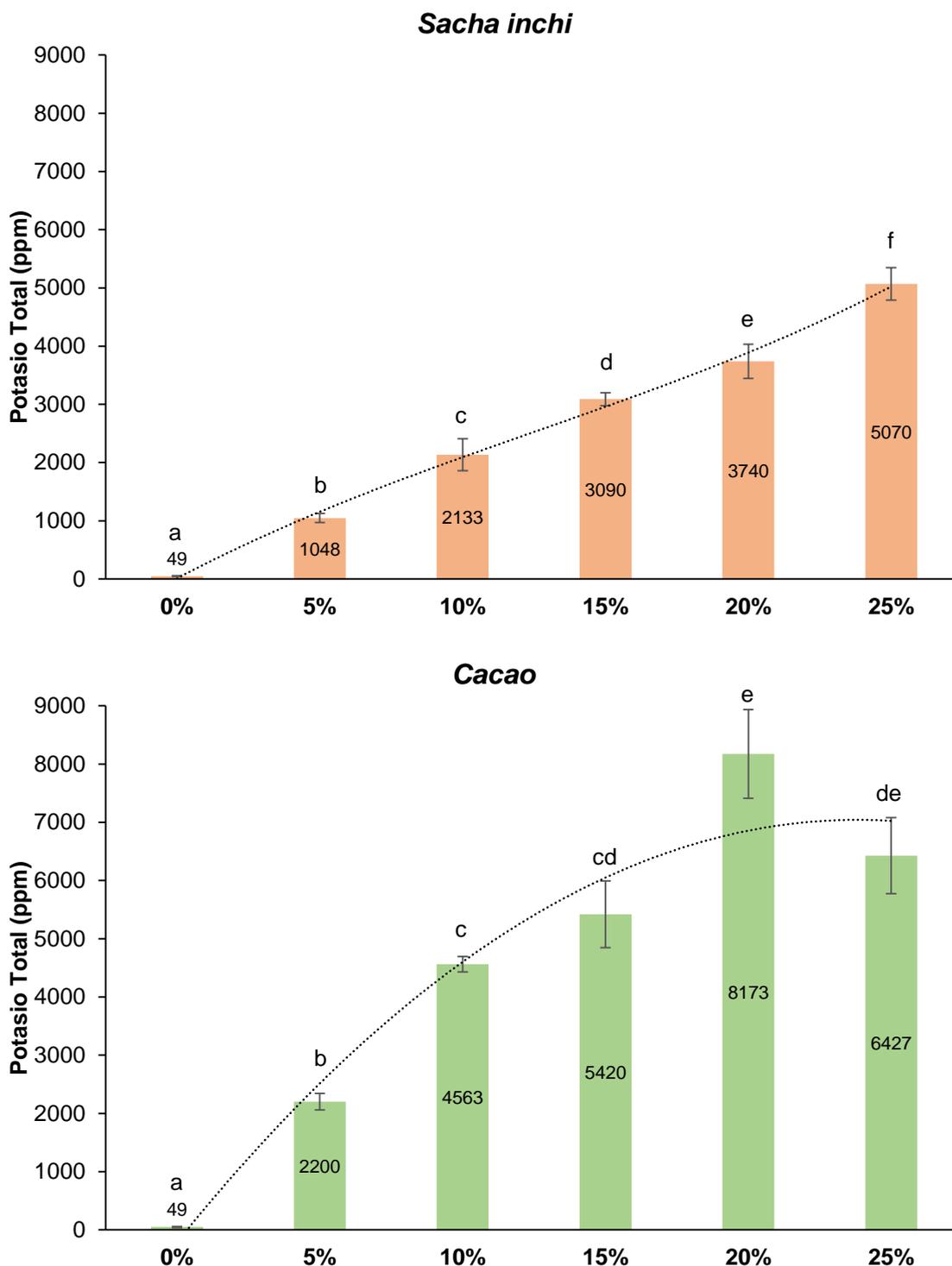


Figura 19. Potasio total de los tratamientos de *biochar de sachá inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2.8. Densidad real

Los resultados de densidad real del suelo tuvieron una tendencia negativa, con valores heterogéneos entre las concentraciones tanto de sachá inchi como de cacao.

El tratamiento de sachá inchi presentó un valor de 2.48 g/cm^3 en la concentración inicial (0%), a partir de esta concentración, los valores de densidad fueron disminuyendo, con diferencias significativas entre las diferentes dosis, hasta llegar a los 1.95 g/cm^3 en la concentración más alta.

La densidad del suelo con tratamiento de cacao tuvo un comportamiento similar al de biochar de sachá inchi, con una tendencia negativa respecto a las dosis de biochar. Los valores fueron desde 2.48 g/cm^3 hasta 1.95 g/cm^3 con diferencias significativas entre cada concentración de biochar.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en la densidad del suelo evaluado se detalla en la Figura 20:

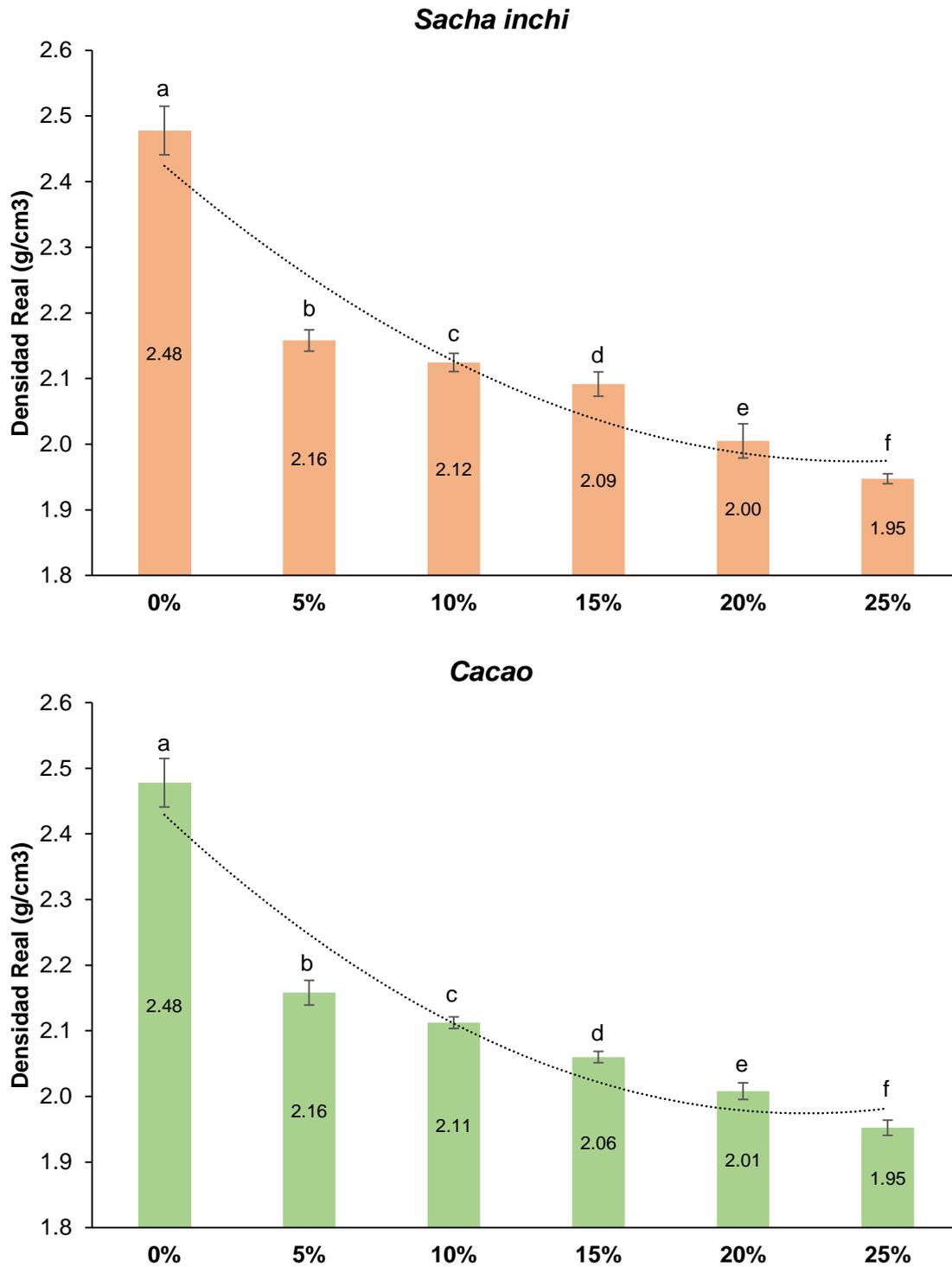


Figura 20. Densidad real de los tratamientos de *biochar de sachá inchi* y *biochar de cacao* a 5 diferentes concentraciones. Valores seguidos por letras diferentes en una columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

2.9. Textura

La textura del suelo frente a las diferentes dosis de biochar no tuvo un efecto de cambio significativo en los tratamientos, por lo que los valores fueron homogéneos en todos los casos, excepto en las dosis de 20% y 25% de cacao, donde se obtuvieron datos de textura Franca en todas las repeticiones analizadas.

El efecto de las diferentes concentraciones de biochar de sachá inchi y biochar de cacao en la textura del suelo evaluado se detalla a continuación:

Tabla 6. Porcentaje de arena, lima y arcilla de acuerdo con cada tratamiento de biochar con sus respectivas clases texturales.

		% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase
Biochar Sacha Inchi	0%	32.7	6.7	60.7	Franco Limoso
	5%	32.0	6.7	61.3	Franco Limoso
	10%	34.7	4.7	60.7	Franco Limoso
	15%	34.6	5.4	60.0	Franco Limoso
	20%	33.2	8.1	58.7	Franco Limoso
	25%	38.0	5.3	56.7	Franco Limoso
Biochar Cacao	0%	32.7	6.7	60.7	Franco Limoso
	5%	34.0	5.3	60.7	Franco Limoso
	10%	28.0	6.6	65.3	Franco Limoso
	15%	38.1	6.6	55.3	Franco Limoso
	20%	42.7	14.0	43.3	Franco
	25%	44.1	20.6	35.3	Franco

VII. DISCUSIONES

1. Análisis del desarrollo de la planta indicadora

1.1. *Altura de planta*

El desarrollo del maíz presentó cambios significativos desde la concentración más baja de biochar, tanto como para el tratamiento de sachá inchi como de cacao. La concentración más baja de biochar alcanzó los valores más altos de altura de planta, lo que corresponde a lo mencionado por Li, Chen, Song y Liu (2014), quienes sostienen que el crecimiento del maíz puede llegar hasta en un 100% en dosis de 5% (peso/peso) en tratamientos con suelos ácidos de mala calidad. Sin embargo, en una investigación similar, Ajayi y Horn, (2017) sostienen que dosis superiores a 10% de la tasa de aplicación no ofrecía ninguna mejora adicional notable en las propiedades del suelo, lo que coincide con los resultados expuestos, donde el crecimiento de las concentraciones mayores a 10% fueron disminuyendo tanto en el tratamiento de sachá inchi como de cacao en los diferentes tiempos de muestreo.

Se observó una mayor biomasa de maíz en todos los suelos modificados con biochar en comparación con los suelos sin biochar, mostrando datos similares a lo que destacaron Zhu, Peng, Huang, Xie y Holden (2014), donde se expuso las diferencias entre tratamientos con o sin biochar en crecimientos de maíz. El decrecimiento de las dosis más altas de biochar frente a las dosis menores se puede justificar por una alteración de las condiciones de pH en el suelo que incide directamente en el desarrollo de la planta y la disponibilidad de los nutrientes, factor principal frente a cualquier otro parámetro físico y químico.

1.2. Número de hojas

De acuerdo con los resultados obtenidos en campo, se observaron cambios estadísticamente significativos en el desarrollo del área foliar respecto al suelo con y sin biochar. Las bajas concentraciones de biochar mostraron el desarrollo más elevado de hojas en la planta, lo que coincide con lo mencionado por Iglesias, Alegre, Salas y Egüez (2019), donde las bajas concentraciones de biochar podría desarrollar más biomasa en la planta de maíz. Por otra parte, las dosis altas de biochar de cacao en el suelo inhibieron el crecimiento de las hojas y el desarrollo de la planta. Este efecto se puede explicar de acuerdo con lo que menciona Manolikaki y Diamadopoulos (2019) en su investigación con biochar y crecimiento de maíz, donde en determinados suelos ácidos, puede dar un efecto negativo en las dosis altas por alteraciones en el pH del suelo.

1.3. Longitud de raíz

La longitud de raíces obtenida presentó diferencias notorias en las concentraciones más bajas, especialmente en el tratamiento de cacao, donde inhibió el desarrollo de la raíz. Los datos apoyan la idea de Howard (2011), donde el biochar mejorar el crecimiento de la raíz frente a suelos en ausencia de biochar. Este puede estar directamente relacionado con el pH del suelo y la cantidad de iones disponibles que benefician a la planta con una mayor absorción de nutrientes, sin embargo, en cierto punto, la cantidad de biochar podría convertirse en un factor negativo en altas concentraciones, tal como sucedió en el presente estudio. Este crecimiento negativo podría ser resultado del incremento de la basicidad del suelo, a su vez, el aumento de nutrientes que podrían ser potencialmente tóxicos y estar presentes en el biochar.

2. Análisis físico y químico del suelo

2.1. pH

Posterior a una evaluación de 45 días, los resultados mostraron diferencias en el suelo con biochar frente al suelo degradado (control). Se encontraron evidencias de que el aumento de las dosis de biochar está directamente relacionada con el aumento de los niveles de pH. Esto coincide con lo mencionado por Zhu et al. (2014), donde determinó que el pH de suelo aumentó luego de un tratamiento de 46 días en suelos degradados con biochar. Según sostiene Guerra (2015), los niveles de pH de sachá inchi y cacao están por encima de los 9 y 10 pH respectivamente. Los niveles de pH pueden ser alterados de acuerdo con el tipo de pirolisis que se haya aplicado, además, está íntimamente ligado a la materia prima a utilizar.

De acuerdo con las investigaciones de Martinsen, Alling, Nurida, Mulder, Hale, Ritz, Rutherford, Heikens, Breedveld y Cornelissen (2015) el contenido de ceniza producto de la combustión es el principal causante de la alteración del pH en el suelo. La alta concentración de carbonatos de potasio y en menor proporción, de carbonatos de Calcio y Magnesio, presentes en las dos materias primas estudiadas le confieren al biochar un efecto de encalado sobre el suelo degradado, con la posibilidad de influir directamente en la fertilidad del suelo, especialmente, suelos ácidos meteorizados con poca retención de nutrientes catiónicos, además, sostienen que las bajas dosis de biochar de cacao, podrían alterar rápidamente el efecto del pH en el suelo. Esto concuerda con la investigación de Guerra (2015), respecto al pH de cacao elevado.

2.2. Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad eléctrica se mostraron con una tendencia positiva conforme aumentaba la concentración de biochar en los tratamientos. Se encontró que la aplicación de biochar tuvo un efecto en el suelo degradado, permitiendo alcanzar valores superiores a 4.5 dS/m en el suelo. Según Guerra (2015), la cantidad de cenizas en el biochar le confiere sales al suelo que alteran directamente la conductividad, tal como se encontró en los presentes resultados, con un aumento de la conductividad con respecto al aumento de la dosis.

Registros indican que la conductividad del biochar de la cascara de cacao se encuentra por encima de los 6 dS/m, lo que ocasionaría el aumento exponencial de la conductividad. Por otro lado, Guerra sostiene que el biochar de sachá inchi presenta un nivel de inferior a los 1 dS/m. Esta variación de conductividad eléctrica está ligada a proceso de pirólisis aplicado, por lo que podemos inferir que la pirólisis lenta utilizada produjo gran calidad de sales en ambos biochar. Estudios indican que la presencia de sales en el biochar es el principal causante de las alteraciones en conductividad eléctrica en el suelo, demostrando que el biochar puede aumentar la conductividad y el pH (Shah, Khan y Shah, 2017).

2.3. Capacidad de intercambio catiónico

Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), no se presentaron cambios significativos en el suelo con una tendencia determinada. Inclusive, el tratamiento de cacao no presentó cambios significativos de CIC en ninguna de sus concentraciones de biochar. Este resultado concuerda con lo que menciona Zhu et al. (2014), donde después de un experimento de 46 días en macetas, no se registraron cambios en la capacidad de intercambio catiónico, pero si, en el pH del suelo y el Fósforo disponible.

Sin embargo, Gomez-Eyles, Beesley, Moreno-Jiménez, Ghosh y Sizmur (2013), encontraron que existe una relación directa entre el CIC y la adición de biochar en el suelo, con una alteración positiva para la planta. Ellos afirman que los cambios en el CIC están ligados a la cantidad de materia orgánica y el pH, donde el aumento de estos parámetros podría elevar los niveles de CIC. La nula alteración de los valores de CIC podría deberse a la podrían deberse a la densidad de carga (CIC potencial) del biochar y la amplia área superficial que presenta el biochar. Estas variables podrían ser alteradas en pirólisis de altas, por lo que pirólisis de baja temperatura como la que se desarrolló, no influiría directamente en el CIC. Se ha demostrado que la CIC puede ser muy baja cuando se usan bajas temperaturas en la pirólisis, pero se incrementa significativamente a temperaturas más altas (Lehmann y Joseph, 2015).

2.4. Materia orgánica total

El biochar produjo cambios significativos en los valores de materia orgánica en el suelo, con una tendencia directamente proporcional a las dosis de biochar. Este aumento tiene relación con la cantidad de carbono orgánico que presenta los diferentes tipos de biochar. De acuerdo con la investigación de Guerra (2015), existen evidencias estadísticas que correlacionan las dosis de biochar con la cantidad de materia orgánica y la cantidad de carbono orgánico en el suelo, lo que explicaría el crecimiento exponencial positivos de los resultados obtenidos.

Según estudios realizados, existe una relación entre el aumento de la capacidad de intercambio catiónico, respecto al aumento de la materia orgánica en el suelo agregado a través del biochar en el suelo. Esta relación no se cumplió en la presente investigación por lo que se podría inferir que la materia prima y el proceso de pirólisis aplicado, fueron determinantes en la elaboración de la materia orgánica con nula alteración del CIC.

Por otro lado, Smebye, Alling, Vogt, Gadmar, Mulder, Cornelissen y Hale (2016) destacan que variedad de microporos presentes en el biochar, podría favorecer a la absorción de moléculas de materia orgánica, lo que provocaría el aumento del porcentaje de materia orgánica total, tal como de evidenció en la presente investigación.

2.5. Nitrógeno, Fósforo y Potasio total

Los niveles de nitrógeno no se vieron alterados significativamente en mucho de los casos. Estos tratamientos no seguían una tendencia respecto a la diferentes dosis de biochar. Incluso, los valores de Nitrógeno en el suelo de cacao no presentaron ningún cambio. Esta poca influencia del biochar sobre el nitrógeno está asociado al proceso de pirólisis, donde las altas temperaturas ocasionan que ciertos nutrientes se volatilicen y otros queden retenidos en el biochar (Guerra, 2015). Esta investigación coincide con Zhu et al. (2014), donde los diferentes tipos de biochar aplicados no afectaron el CIC y el N disponible en tratamientos con suelos ácidos.

Guerra (2015), muestra que los niveles de P y K total representan los más altos valores nutrientes en materias primas como cacao, lo que explicaría que el tratamiento de suelo con biochar de cacao, alcanzara valores superiores en contraste con los de sachá inchi. El contenido de K suele ser mucho mayor que las concentraciones de P en el biochar, tal como mostraron los resultados, ambos, mostraron una tendencia positiva, y una relación entre la concentración de biochar directamente proporcional tal como lo mencionan Novak, Johnson y Spokas (2018), donde los niveles de P y K aumentaron conforme lo hicieron las dosis de biochar.

Sin embargo, el contenido de P y K en el biochar, se encuentran en un amplio rango de valores de acuerdo con el proceso de pirólisis y, sobre todo, la materia prima usada (Chan y Xu, 2009). Los valores pueden ser alterados por las sales de las cenizas que le otorgan una variedad de nutrientes y sales de Potasio y Fósforo.

2.6. Densidad real

Por lo expuesto en los resultados, se encontraron diferencias en los tratamientos del suelo con biochar, a diferentes concentraciones. La densidad real disminuyó conforme aumentaba la concentración de biochar en los tratamientos de sachá inchi y cacao. En general, la densidad del biochar es baja, como lo indican McElligott et al. (2011) acerca de las características del material pirolizado, con densidades promedio de 0.3 g/kg.

Estos resultados guardan relación con lo que menciona Guerra (2015), donde la baja densidad del biochar viene dado por la naturaleza porosa que da como resultado en mayor grado de área superficial respecto a otras enmiendas orgánicas no paralizadas. A partir de esto, se infiere que su aplicación en el suelo reduzca la densidad conforme aumenta la concentración de biochar en el suelo.

2.7. Textura

En la determinación de clases texturales de los tratamientos, no se vieron alteradas los porcentajes de arena, limo y arcilla en diferentes dosis de biochar, esto coincide con lo mencionado por Pandit, Mulder, Hale, Martinsen, Schmidt y Cornelissen (2018), donde las diferentes dosis de su investigación no alteraron significativamente ninguno de los suelos en cuestión. Esta nula alteración se puede explicar por el comportamiento que tiene el biochar en la retención de agua y el aumento de los poros que no interfiere en la proporción de partículas de suelo, como resultado de esto, las clases texturales se mantuvieron constante en todas las concentraciones.

VIII. CONCLUSIONES

1. El suelo procedente de Campoverde, Ucayali, presentó una condición ácida, con un pH inferior a 4. Este suelo había pasado por un proceso de agricultura y ganadería intensiva por lo que las condiciones presentadas correspondían a un suelo degradado. El estudio determinó que el desarrollo de plantas como el maíz limitaban su crecimiento por las carentes propiedades químicas como pH que no le permitían a la planta el aprovechamiento de los nutrientes en el estado vegetativo.

2. Se produjeron dos tipos de biochar a partir de residuos de sachu inchi y cacao a través de un proceso de pirólisis lenta. Estas enmiendas orgánicas se pusieron prueba en un suelo degradado, carente de condiciones para el desarrollo de una planta. De esta manera, el biochar demostró cambiar las condiciones físicas y químicas del suelo, permitiendo un mejor desarrollo de la planta indicadora, sin embargo, se demostró que la aplicación de biochar no siempre eleva los niveles de nitrógeno y CIC como indican algunos autores. Muchos de los parámetros pueden verse afectados por la materia prima y el tipo de pirólisis, por lo que hace falta extender la investigación en este campo.

3. Se demostró que el biochar tiene un papel importante en la alteración del pH y la materia orgánica en el suelo. Las diferentes dosis de biochar en el suelo respondieron rápidamente en el crecimiento de la planta, con una neutralización del pH, sin embargo, las dosis superiores llevaron al suelo hasta un pH alcalino, inhibiendo el crecimiento de la planta.

4. Según los resultados obtenidos la aplicación de biochar tiene un impacto acentuado en el suelo a bajas concentraciones. Permitiendo un mayor desarrollo de las plantas de maíz en estado vegetativo, regulando el pH del suelo ácido a un nivel neutro. Sin embargo, es importante destacar que las concentraciones altas de biochar en el suelo no siempre son beneficiosas para la planta. Los valores de pH se elevaron hasta un pH alcalino que inhibió el crecimiento de las plantas indicadoras.

5. La producción y aplicación de biochar podría ser aplicado para la mejora de la calidad de suelos degradados con pH ácidos, baja cantidad de nutrientes de P, K y cantidad de materia orgánica para la restauración de especies arbóreas en determinados lugares. Esta enmienda permitiría mantener las condiciones del suelo estables.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amonette, J. y Joseph, S. (2009). *Characteristics of biochar: Micro-chemical properties*. En: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.) *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London.
- Antal, M.J. y Gronli, M. (2003). *The art, science and technology of charcoal production*. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42: 1619-1640.
- Ajayi, A. y Horn, R. (2017). *Biochar-Induced Changes in Soil Resilience: Effects of Soil Texture and Biochar Dosage*. *Pedosphere*, 27(2), pp.236-247
- Baldock, J. y Smernik, R. (2002). *Chemical composition and bioavailability of thermally altered Pinus resinosa (Red pine) wood*. *Org. Geochem.* 33: 1093–1109.
- Bernal, M., Cabrera, F., Cabrera, A., Clemente, F., Cox, L., García, C., Hernández, M., Ingelmo, F., y Madejón, E. (2014). *Residuos orgánicos en la restauración/rehabilitación de suelos degradados III.4*. España: Mundi-Prensa.
- Blázquez, M. (2003). *Los residuos agrícolas y de origen animal, en: Los Residuos Urbanos y Asimilables Consejería de Medio Ambiente*. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Brown, R. (2009). 'Biochar production technology'. En: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Earthscan, United Kingdom: 127–46.
- Chan, K. y Xu, Z. (2009). *Biochar: nutrient properties and their enhancement*. Earthscan, London, UK: 67-84.

- Chan, K., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. y Joseph, S. (2007). *Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment*. Aust. J. Soil Res., 45, 629–634.
- Cetin, E., Moghtaderi, B., Gupta, R. y Wall, T. (2004). Influence of pyrolysis conditions on the structure and gasification reactivity of biomass chars. Fuel, 83: 2139-2150.
- Dirección Regional de Agricultura de San Martín (2017). *Informe Intenciones de Siembra Campaña Agrícola agosto 2016 - Julio 2017*. Tarapoto: Gobierno Regional de San Martín.
- Doran, J. y Safley. (1997). *Defining and assessing soil health and sustainable productivity*. En: Pankhurst, C, Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.). Biological indicators of soil health. CAB International. Wallingford, Reino Unido: 1-28.
- Gallegos, J. (2017). *Deforestación en Ucayali*. Diario La Republicca. Obtenido de: <http://larepublica.pe/domingo/1105064-tierra-arrasada>
- García, C., Hernández, M., Pascual, J., Rosas, J. y Sánchez, M. (2014). *Enmiendas orgánicas de nueva generación: Biochar y otras biomoléculas III.8*. España: Mundi-Prensa.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. y Zech, W. (2001). *The ‘Terra Preta’ phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics*. Naturwissenschaft en, 88: 37–41.

Gobierno Regional de Ucayali, PE. (2009). *Sistema de Información Ambiental*.

Consultado 15 de noviembre del 2017. Disponible en

<http://www.regionucayali.gob.pe/>

Gobierno Regional de Ucayali, PE. (2012). Plan Regional de Desarrollo de

Capacidades de Ucayali. Disponible en:

http://www.regionucayali.gob.pe/transparencia/pdc_2010-12.pdf

Gómez Orea, D. (2004). *Recuperación de espacios degradados* (p. 130).

España: Mundi-Prensa.

Gomez-Eyles, J., Beesley, Moreno-Jiménez, Ghosh y Sizmur. (2013). The

potential of biochar amendments to remediate contaminated soils. En: N.

Ladygina and F. Rineau, editors, Biochar and Soil Biota. CRC Press, Boca

Raton, FL

Guerra, P. (2015). *Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa*

residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la

Amazonía Peruana (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La

Molina, Lima, Perú.

Guzmán, R., Pérez, E., Álvarez, C., Lares, M. y Rodríguez, P. (2008).

Caracterización fisicoquímica y nutricional de almendras de cacao

(Theobroma cacao L.) frescas y fermentadas provenientes de la región de

río Chico estado Miranda, Venezuela. Universidad Central de Venezuela.

Honorato R. 2000. *Manual de Edafología* (4ª Ed.). Universidad Católica de Chile.

Santiago de Chile. 195 p.

- Howard, T. (2011). *The Effect of Biochar on the Root Development of Corn and Soybeans in Minnesota Soil and Sand*. Disponible en: http://biochar-international.org/sites/default/files/T_Howard_Science_Paper.pdf.
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C. y Egüez, J. (2019). *Corn yield (Zea mays) improves with the use of eucalyptus biochar*. *Scientia Agropecuaria* 9(1): 25– 32
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2016). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015* (p. 63). Lima.
- Kwapinski, W., Byrne, C., Kryachko, E., Wolfram, P., Adley, C., Leahy, J., Novotny, E. y Hayes, M. (2010). *Biochar from biomass and waste*. *Waste Biomass Valor.* 1: 177–89.
- Lehmann, J., y Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, Technology and Implementation* (2nd ed.). New York: Routledge.
- Li, D., Chen, L., Song, X. y Liu, G. (2014). *Improving Maize Growth by Biochar and Biochar-Based Amendment in Light Sierozem in Ningxia*. *Applied Mechanics and Materials*, 707, pp.251-254.
- López, M., Masaguer, A., Paredes, C., Roca, L., Ros, M., Salas, M. y Boluda, R. (2015). *Residuos orgánicos y agricultura intensiva III.1*. España: Mundi-Prensa.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. y Lehmann, J. (2010). *Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol*. *Plant and Soil*, 333(1-2), 117-128.

- Manolikaki, I. and Diamadopoulos, E. (2019). *Positive Effects of Biochar and Biochar-Compost on Maize Growth and Nutrient Availability in Two Agricultural Soils*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(5), pp.512-526.
- Martinsen, V., Alling, V., Nurida, N., Mulder, J., Hale, S., Ritz, C., Rutherford, D., Heikens, A., Breedveld, G. y Cornelissen, G. (2015). *pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils*. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61:5, 821-834
- McElligott, K; Page-Dumroese, D y Coleman, M. (2011). *Bioenergy Production Systems and Biochar Application in Forests: Potential for Renewable Energy, Soil Enhancement, and Carbon Sequestration*. Rocky Mountain Research Station-Research Note 46: 1-14
- Meza, A., Sabogal, C., & Jong, W. (2006). *Rehabilitación de áreas degradadas en la Amazonia peruana* (p. 43). Bogor: CIFOR.
- Ministerio del Ambiente. (2014a). *Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente*. Dirección General de Calidad. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2014b). *Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales en el Perú Gestión 2013*. Lima: Ambiente y Desarrollo Sostenible – AMBIDES S.A.C.
- Novak, J., Johnson, M. y Spokas, K. (2018). *Concentration and Release of Phosphorus and Potassium from Lignocellulosic and Manure-Based Biochars for Fertilizer Reuse*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Anuario Estadístico de la FAO 2014* (P. 70). Santiago: FAO.
- Pandit, N., Mulder, J., Hale, S., Martinsen, V., Schmidt, H. y Cornelissen, G. (2018). *Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil*. *Science of The Total Environment*, 625, pp.1380-1389.
- Pratt, K. y Moran, D. (2010). *Evaluating the cost-effectiveness of global biochar mitigation potential*. *Biomass Bioenergy*, 34: 1149-58.
- Reich, S., Sánchez-Proañó, P. y Cicerone, D. (2009). *Contaminación y Medio Ambiente* (1st ed., pp. 45-50). Buenos Aires, Argentina: Eudeba.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J. y Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2015). *Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y las lecciones aprendidas para reducirla* (p. 63). Lima, Perú: SERFOR.
- Shah, T., Khan, S. y Shah, Z. (2017). *Soil respiration, pH and EC as influenced by biochar*. *Soil & Environment*, 36(01), pp.77-83.
- Smebye, A., Alling, V., Vogt, R., Gadmar, T., Mulder, J., Cornelissen, G. and Hale, S. (2016). *Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition*. *Chemosphere*, 142, pp.100-105.

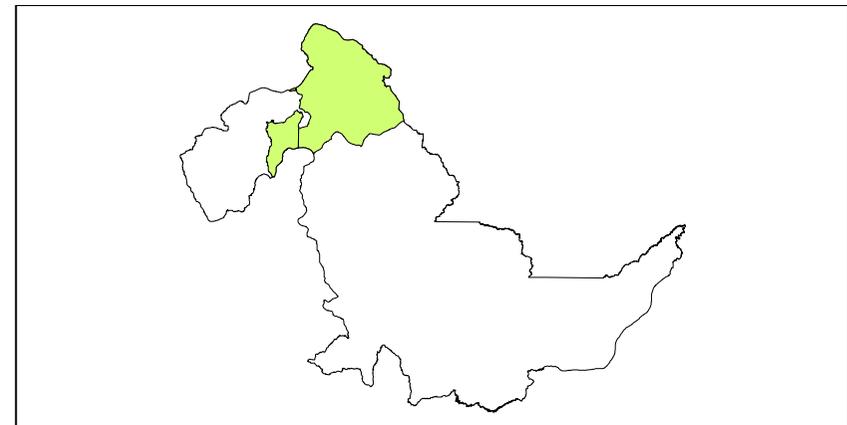
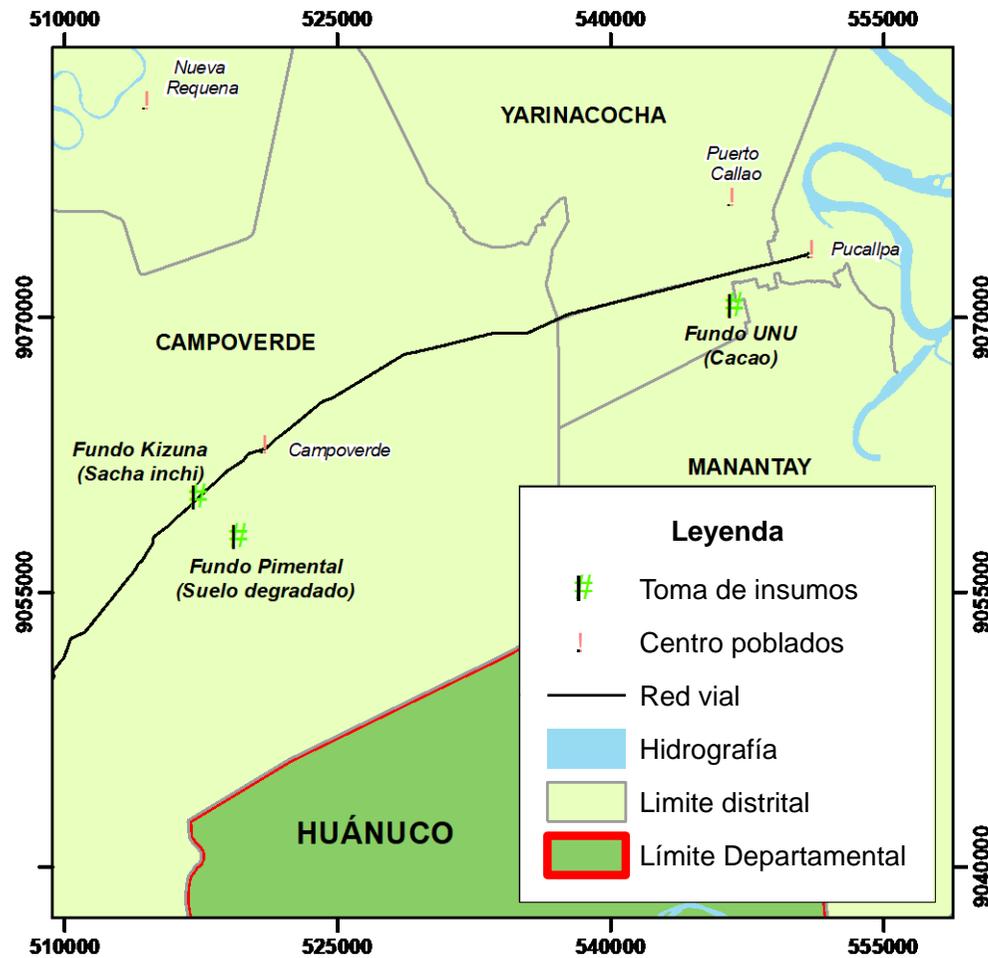
- Smil, V. (1999). *Crop Residues: Agriculture's Largest Harvest Crop residues incorporate more than half of the world's agricultural phytomass*. Bioscience, 49: 299-308.
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. y Bol, R. (2009). "*Biochar, climate change and soil: A review to guide future research*". Rep. No. 05/09. CSIRO.
- Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W., Lehmann, J., Blum, W. y Zech, W. (2008). *Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian ferralsol amended with compost and charcoal*. J. Plant Nutr. Soil Sci., 171: 893–899.
- Vargas, M., Andreu, F., Fernández, L., Fernández, F., García-Morales, J., Melgar, R., Moral, R., Moreno, J., & Suárez, F. (2014). *Residuos Agrícolas I.1*. España: Mundi-Prensa.
- Vecco, C. (2015). *Manejo agroecológico de plagas del Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis L.) a partir del estudio de la diversidad asociada de organismos y sus relaciones en San Martín, Perú* (Tesis de Doctorado). La Habana, Cuba: Editorial Universitaria
- Woolf, D., Amonette, J., Street-Perrot, F., Lehmann, J. y Joseph, S. (2010). *Sustainable Biochar to mitigate global climate change*. Nature Comm., vol. 1, Article Number: 56 DOI: 10.1038/ncomms1053.
- Zhu, Q., Peng, X., Huang, T., Xie, Z. y Holden, N. (2014). *Effect of biochar addition on maize growth and nitrogen use efficiency in acidic red soils*. Pedosphere. 24(6): 699-708.

X. ABREVIATURAS

BC	Biochar de cacao.
BS	Biochar de sachá inchi.
CIC	Capacidad de intercambio catiónico.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.
GOREU	Gobierno Regional de Ucayali.
K	Potasio total.
MNAGRI	Ministerio de Agricultura.
MINAM	Ministerio del Ambiente.
N	Nitrógeno total.
P	Fósforo total.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de la zona de estudio.



<p>CIENTÍFICA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL</p>			
<p>TESIS: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BIOCHAR DE RESIDUOS DE SACHA INCHI Y CACAO SOBRE SUELOS DEGRADADOS DE CAMPOVERDE, UCAYALI, USANDO <i>Zea mays</i> COMO INDICADOR"</p>			
<p>Elaborado por Aróstegui Cornelio, Keiji</p>	<p>Escala 1:400 000</p>	<p>Datum WGS-84</p>	<p>Proyección UTM, Zona 18 Sur</p>
<p>Fuentes Instituto Geográfico Nacional Datos de campo</p>		<p>Fecha de elaboración Enero del 2019</p>	<p>Mapa No. 1</p>

Anexo 2. Base de datos Tratamiento Sacha Inchi.

T	R	Altura 15	Hojas 15	Altura 30	Hojas 30	Altura 45	Hojas 45	Raíces	pH	CE	CIC
0%	1	8.6	3	16.1	3	26.9	4	10.1	3.61	0.57	8.96
	2	12.1	4	33.5	6	39.1	7	23.5	3.49	0.60	9.28
	3	14.9	4	26.0	4	32.9	6	24.7	3.40	0.52	9.92
5%	1	31.2	6	73.1	6	93.7	9	77.0	5.92	0.95	9.12
	2	41.1	6	93.5	5	102.7	8	69.5	5.83	0.99	9.60
	3	34.1	6	71.3	6	96.5	8	82.4	5.88	0.98	9.28
10%	1	37.5	6	73.3	6	100.4	6	76.1	7.51	1.96	11.19
	2	37.9	6	87.4	6	121.1	6	71.4	7.63	1.83	11.30
	3	30.4	5	69.3	6	89.7	7	82.1	7.50	1.43	10.24
15%	1	25.6	5	61.7	7	99.2	7	45.7	8.70	3.02	10.50
	2	26.8	5	68.8	7	110.8	8	83.5	8.52	2.96	9.92
	3	24.3	5	62.0	7	94.3	8	55.8	8.32	1.98	10.39
20%	1	17.5	4	34.7	5	74.8	7	59.7	9.47	3.57	9.92
	2	12.8	4	52.7	5	86.5	6	61.2	9.25	2.73	10.08
	3	26.4	5	58.9	7	82.0	8	63.7	9.04	3.20	10.40
25%	1	20.0	4	36.8	7	64.4	7	41.4	9.89	5.38	10.50
	2	3.1	0	1.1	0	1.0	0	1.9	9.85	4.63	10.24
	3	7.3	1	7.1	0	5.9	0	10.1	9.86	3.74	10.60

... Continuación.

T	R	MO	N	P	K	DR	Arena	Arcilla	Limo	Clase
0%	1	1.03	0.11	4.5	48	2.48	33.3	4.7	62.0	Franco Limoso
	2	1.02	0.10	1.9	57	2.44	35.3	6.7	58.0	Franco Limoso
	3	1.01	0.08	1.8	41	2.52	29.3	8.7	62.0	Franco Limoso
5%	1	1.66	0.10	17.8	1088	2.18	33.3	6.7	60.0	Franco Limoso
	2	1.78	0.11	18.8	1098	2.15	29.3	6.7	64.0	Franco Limoso
	3	1.74	0.10	16.4	958	2.15	33.3	6.7	60.0	Franco Limoso
10%	1	2.01	0.14	32.2	2080	2.14	35.3	4.7	60.0	Franco Limoso
	2	2.04	0.18	39.7	2430	2.12	33.3	4.7	62.0	Franco Limoso
	3	1.77	0.37	34.6	1890	2.11	35.3	4.7	60.0	Franco Limoso
15%	1	2.28	0.43	61.3	3210	2.11	34.6	5.4	60.0	Franco Limoso
	2	2.14	0.39	60.1	2990	2.09	34.6	7.4	58.0	Franco Limoso
	3	2.15	0.31	59.3	3070	2.08	34.6	3.4	62.0	Franco Limoso
20%	1	2.35	0.24	88.7	4080	2.03	33.9	6.1	60.0	Franco Limoso
	2	2.28	0.19	86.3	3580	1.99	33.9	8.1	58.0	Franco Limoso
	3	1.90	0.16	60.9	3560	1.99	31.9	10.1	58.0	Franco Limoso
25%	1	3.57	0.22	153.3	5350	1.94	38.0	4.0	58.0	Franco Limoso
	2	3.39	0.36	138.1	5070	1.95	38.0	6.0	56.0	Franco Limoso
	3	3.36	0.23	151.0	4790	1.95	38.0	6.0	56.0	Franco Limoso

Anexo 3. Base de datos Tratamiento Cacao.

T	R	Altura 15	Hojas 15	Altura 30	Hojas 30	Altura 45	Hojas 45	Raíces	pH	CE	CIC
0%	1	8.6	3	16.1	3	26.9	4	10.1	3.61	0.57	8.96
	2	12.1	4	33.5	6	39.1	7	23.5	3.49	0.60	9.28
	3	14.9	4	26.0	4	32.9	6	24.7	3.40	0.52	9.92
5%	1	29.4	4	61.1	7	92.5	7	62.6	7.41	2.35	8.48
	2	32.4	4	71.0	6	106.5	6	61.2	7.20	1.81	10.24
	3	29.6	5	57.2	7	82.6	8	56.5	7.16	1.47	9.92
10%	1	10.7	5	5.3	0	4.4	0	5.1	9.59	3.85	9.28
	2	7.1	2	5.5	0	5.5	0	3.4	9.68	4.38	8.80
	3	10.5	3	3.6	0	3.8	0	2.6	9.47	3.95	9.60
15%	1	5.0	1	4.6	0	4.6	0	2.6	10.14	5.08	11.22
	2	9.3	1	5.5	0	3.9	0	2.3	9.84	3.55	9.60
	3	5.6	0	4.2	0	5.2	0	2.5	10.18	5.45	10.72
20%	1	2.8	0	1.4	0	1.4	0	1.4	10.22	6.22	10.40
	2	6.0	0	5.6	0	3.1	0	3.4	10.31	6.33	10.24
	3	7.9	0	7.6	0	8.2	0	1.5	10.36	5.23	10.56
25%	1	7.5	2	6.0	0	5.3	0	1.7	10.10	4.38	9.92
	2	6.0	0	5.0	0	4.4	0	2.5	10.27	5.84	10.08
	3	11.1	3	11.4	0	9.8	0	6.7	10.01	3.57	9.28

... Continuación.

T	R	MO	N	P	K	DR	Arena	Arcilla	Limo	Clase
0%	1	1.03	0.11	4.5	48	2.48	33.3	4.7	62.0	Franco Limoso
	2	1.02	0.10	1.9	57	2.44	35.3	6.7	58.0	Franco Limoso
	3	1.01	0.08	1.8	41	2.52	29.3	8.7	62.0	Franco Limoso
5%	1	1.66	0.17	12.3	2360	2.18	34.04	3.96	62.0	Franco Limoso
	2	1.41	0.09	10.8	2150	2.14	32.04	5.96	62.0	Franco Limoso
	3	1.71	0.11	11.5	2090	2.16	36.04	5.96	58.0	Franco Limoso
10%	1	1.71	0.13	32.7	4410	2.11	30.04	5.96	64.0	Franco Limoso
	2	1.73	0.08	26.8	4630	2.12	26.04	7.96	66.0	Franco Limoso
	3	1.83	0.11	29.4	4650	2.10	28.04	5.96	66.0	Franco Limoso
15%	1	2.02	0.20	66.8	5500	2.05	36.76	7.24	56.0	Franco Limoso
	2	1.84	0.11	63.6	4810	2.07	38.76	7.24	54.0	Franco Limoso
	3	2.59	0.12	65.2	5950	2.06	38.76	5.24	56.0	Franco Limoso
20%	1	2.94	0.13	128.3	7540	2.01	40.04	13.96	46.0	Franco
	2	2.62	0.17	121.2	9020	1.99	46.04	13.96	40.0	Franco
	3	2.76	0.24	181.3	7960	2.02	42.04	13.96	44.0	Franco
25%	1	2.67	0.20	144.3	6030	1.96	44.76	21.24	34.0	Franco
	2	3.17	0.06	190.7	7180	1.94	44.76	21.24	34.0	Franco
	3	2.62	0.19	107.9	6070	1.95	42.76	19.24	38.0	Franco

Anexo 4. P-Valor de Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Análisis de Varianza de los tratamientos de biochar de sachá inchi.

		Normalidad (Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Levene)	ANOVA
		p-valor	p-valor	p-valor
<i>Altura 15</i>	0%	0.878	0.115	0
	5%	0.552		
	10%	0.091		
	15%	0.956		
	20%	0.663		
	25%	0.460		
<i>Hojas 15</i>	0%	0.174	0.097	0
	5%	1.000		
	10%	0.157		
	15%	1.000		
	20%	0.174		
	25%	0.942		
<i>Altura 30</i>	0%	0.848	0.137	0
	5%	0.140		
	10%	0.405		
	15%	0.071		
	20%	0.476		
	25%	0.301		
<i>Hojas 30</i>	0%	1.000	0.116	0
	5%	0.157		
	10%	1.000		
	15%	1.000		
	20%	0.174		
	25%	0.194		
<i>Altura 45</i>	0%	0.982	0.081	0
	5%	0.590		
	10%	0.653		
	15%	0.563		
	20%	0.747		
	25%	0.260		
<i>Hojas 45</i>	0%	0.637	0.146	0
	5%	0.174		
	10%	0.174		
	15%	0.157		
	20%	1.000		
	25%	0.058		

... Continuación.

		Normalidad (Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Levene)	ANOVA
		p-valor	p-valor	p-valor
<i>Raíces</i>	0%	0.142	0.051	0
	5%	0.821		
	10%	0.866		
	15%	0.498		
	20%	0.726		
	25%	0.825		
<i>pH</i>	0%	0.843	0.232	0
	5%	0.878		
	10%	0.132		
	15%	0.942		
	20%	0.974		
	25%	0.463		
<i>CE</i>	0%	0.726	0.060	0
	5%	0.463		
	10%	0.454		
	15%	0.098		
	20%	0.869		
	25%	0.906		
<i>CIC</i>	0%	0.637	0.157	0
	5%	0.637		
	10%	0.180		
	15%	0.343		
	20%	0.637		
	25%	0.520		
<i>MO</i>	0%	1.000	0.052	0
	5%	0.637		
	10%	0.230		
	15%	0.122		
	20%	0.525		
	25%	0.510		
<i>N</i>	0%	0.637	0.059	0
	5%	0.174		
	10%	0.537		
	15%	0.637		
	20%	0.726		
	25%	0.363		

... Continuación.

		Normalidad (Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Levene)	ANOVA
		p-valor	p-valor	p-valor
<i>P</i>	0%	0.062	0.162	0
	5%	0.817		
	10%	0.609		
	15%	0.780		
	20%	0.583		
	25%	0.873		
<i>K</i>	0%	0.862	0.083	0
	5%	0.122		
	10%	0.676		
	15%	0.702		
	20%	0.065		
	25%	1.000		
<i>p real</i>	0%	0.878	0.052	0
	5%	0.637		
	10%	0.637		
	15%	0.637		
	20%	1.000		
	25%	1.000		

Anexo 5. P-Valor de Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Análisis de Varianza de los tratamientos de biochar de cacao.

		Normalidad (Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Levene)	ANOVA
		p-valor	p-valor	p-valor
<i>Altura 15</i>	0%	0.878	0.937	0
	5%	0.114		
	10%	0.094		
	15%	0.247		
	20%	0.721		
	25%	0.554		
<i>Hojas 15</i>	0%	0.174	0.059	0
	5%	0.174		
	10%	0.637		
	15%	0.174		
	20%	1.000		
	25%	0.661		
<i>Altura 30</i>	0%	0.848	0.067	0
	5%	0.530		
	10%	0.183		
	15%	0.583		
	20%	0.614		
	25%	0.278		
<i>Hojas 30</i>	0%	1.000	0.051	0
	5%	1.000		
	10%	1.000		
	15%	1.000		
	20%	1.000		
	25%	1.000		
<i>Altura 45</i>	0%	0.982	0.059	0
	5%	0.811		
	10%	0.679		
	15%	0.915		
	20%	0.463		
	25%	0.298		
<i>Hojas 45</i>	0%	1.000	0.086	0
	5%	1.000		
	10%	1.000		
	15%	1.000		
	20%	1.000		
	25%	1.000		

... Continuación.

		Normalidad (Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Levene)	ANOVA
		p-valor	p-valor	p-valor
<i>Raíces</i>	0%	0.485	0.053	0
	5%	0.492		
	10%	0.609		
	15%	0.637		
	20%	0.085		
	25%	0.286		
<i>pH</i>	0%	0.843	0.446	0
	5%	0.286		
	10%	0.843		
	15%	0.206		
	20%	0.688		
	25%	0.664		
<i>CE</i>	0%	0.187	0.106	0
	5%	0.751		
	10%	0.341		
	15%	0.805		
	20%	0.174		
	25%	0.229		
<i>CIC</i>	0%	0.637	0.102	0.102
	5%	0.328		
	10%	0.780		
	15%	0.585		
	20%	1.000		
	25%	0.363		
<i>MO</i>	0%	1.000	0.051	0
	5%	0.298		
	10%	0.298		
	15%	0.624		
	20%	0.463		
	25%	0.253		
<i>N</i>	0%	0.637	0.090	0.370
	5%	0.463		
	10%	0.780		
	15%	0.194		
	20%	0.702		
	25%	0.122		

... Continuación.

		Normalidad (Shapiro-Wilk)	Homocedasticidad (Levene)	ANOVA
		p-valor	p-valor	p-valor
<i>P</i>	0%	0.062	0.130	0
	5%	0.927		
	10%	0.869		
	15%	1.000		
	20%	0.560		
	25%	0.862		
<i>K</i>	0%	0.862	0.050	0
	5%	0.407		
	10%	0.144		
	15%	0.769		
	20%	0.685		
	25%	0.105		
<i>ρ real</i>	0%	1.000	0.313	0
	5%	1.000		
	10%	1.000		
	15%	1.000		
	20%	0.637		
	25%	1.000		