

# Capítulo 17

## Evaluación del cambio de algunas propiedades del suelo en proceso de desertificación al aplicar biochar como enmienda orgánica, corregimiento de El Remolino, Taminango

Angie Paola Rodríguez Araujo<sup>1</sup>  
José Daniel Huertas Pérez<sup>2</sup>  
Tannia Gisell Arciniegas Benavides<sup>3</sup>  
Jenny Lucía Huertas Delgado<sup>4</sup>

**Cítese como:** Rodríguez-Araujo, A. P., Huertas-Pérez, J. D., Arciniegas-Benavides, T. G. y Huertas-Delgado, J. L. (2023). Evaluación del cambio de algunas propiedades del suelo en proceso de desertificación al aplicar biochar como enmienda orgánica, corregimiento de El Remolino, Taminango. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez y J. P. García-López (comps.), *Formación de competencias científicas desde la investigación y la academia* (pp. 201-216). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.207.c347>

### Resumen

La desertificación es un fenómeno que está amenazando y afectando los suelos y tierras de todo el mundo, por lo cual en la actualidad se considera como uno de los problemas ambientales más importantes a solucionar, en conjunto con la pérdida de la biodiversidad y el cambio climático. Colombia no es indiferente a esta problemática, como se evidencia en los únicos estudios nacionales realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales entre los años 2003 y 2004. Por esta razón, en el presente trabajo se busca frenar la desertificación en el corregimiento del Remolino, departamento de Nariño, empleando biochar como enmienda orgánica para la posible solución. Como metodología se evalúa algunas propiedades fisicoquímicas antes y después de la aplicación de la enmienda, para analizar los cambios en el suelo.

*Palabras clave:* suelo; desertificación; enmienda orgánica; biochar; remediación.

<sup>1</sup> Correo: [angieprodiguez@umariana.edu.co](mailto:angieprodiguez@umariana.edu.co)

<sup>2</sup> Correo: [joshuertas@umariana.edu.co](mailto:joshuertas@umariana.edu.co)

<sup>3</sup> Correo: [tarciniegas@umariana.edu.co](mailto:tarciniegas@umariana.edu.co)

<sup>4</sup> Correo: [jlhuertas@umariana.edu.co](mailto:jlhuertas@umariana.edu.co)



## **Evaluation of the change of some soil properties in the desertification process when applying biochar as an organic amendment, village of El Remolino, Taminango**

### **Abstract**

Desertification is a phenomenon that is threatening and affecting soils and lands all over the world, which is why it is currently considered one of the most important environmental problems to be solved, together with the loss of biodiversity and climate change. Colombia is not indifferent to this problem, as evidenced in the only national studies conducted by the Institute of Hydrology, Meteorology, and Environmental Studies between 2003 and 2004. For this reason, the present work seeks to stop desertification in the village of El Remolino, department of Nariño, using biochar as an organic amendment for a possible solution. As a methodology, some physicochemical properties are evaluated before and after the application of the amendment, to analyze the changes in the soil.

*Keywords:* soil; desertification; organic amendment; biochar; remediation.

## **Avaliação da mudança de algumas propriedades do solo no processo de desertificação ao aplicar biochar como um aditivo orgânico, no vilarejo de El Remolino, Taminango**

### **Resumo**

A desertificação é um fenômeno que ameaça e afeta solos e terras em todo o mundo, razão pela qual atualmente é considerada um dos problemas ambientais mais importantes a serem resolvidos, juntamente com a perda de biodiversidade e as mudanças climáticas. A Colômbia não está indiferente a esse problema, conforme evidenciado nos únicos estudos nacionais realizados pelo Instituto de Hidrologia, Meteorologia e Estudos Ambientais entre 2003 e 2004. Por esse motivo, o presente trabalho busca deter a desertificação no vilarejo de El Remolino, departamento de Nariño, usando o biochar como uma emenda orgânica para uma possível solução. Como metodologia, algumas propriedades físico-químicas são avaliadas antes e depois da aplicação do aditivo, para analisar as mudanças no solo.

*Palavras-chave:* solo; desertificação; emenda orgânica; biochar; remediação.

### **Introducción**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2022), el suelo es un recurso clave y un elemento esencial del entorno natural, que produce la mayor parte de los alimentos mundiales. Además, proporciona espacio habitable para los seres humanos y desempeña un papel fundamental en el buen funcionamiento de los ecosistemas, contribuyendo a la regulación del flujo del agua y el clima, la biodiversidad, la captación de carbono y la preservación de tradiciones culturales. Sin embargo, los suelos están sometidos a una presión creciente debido al aumento de la población, la demanda de alimentos y el uso de la tierra con fines diversos.



Aproximadamente, un 33 % de los suelos del planeta están degradados; más de una quinta parte de la tierra, que abarca más de la mitad de nuestros terrenos agrícolas, está sufriendo. Una de las problemáticas identificadas que han afectado al recurso suelo es la desertificación, la cual consiste en el desgaste del suelo por acción de la naturaleza o actividades humanas y, es el resultado de la acción combinada de factores como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad, la vida vegetal y animal, la degradación de las tierras y la sequía. Cada año se pierden más de doce millones de hectáreas de tierra a causa de la desertificación; esta pérdida perjudica a más de tres mil millones de personas, especialmente a las comunidades pobres y rurales del mundo en desarrollo (Bozkir, 2021).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, s.f.) sostiene que

La desertificación afecta a la sexta parte, aproximadamente, de la población mundial, al 70 % de todas las tierras secas, equivalente a 3 600 millones de hectáreas, y a la cuarta parte de la superficie total de tierras del mundo. (párr. 2)

A nivel nacional, en Colombia, los procesos de degradación de tierras y desertificación afectan especialmente las zonas secas de las regiones naturales de la Orinoquía, Caribe y Andina.

En la Orinoquía se encuentra el 35,53 % de las zonas secas del país; en la región Caribe otro 35,53 % y en la región Andina el 23,21 %; un 3,61 % más se da en la cuenca del río Dagua, en el Pacífico. A nivel regional, de acuerdo con los datos suministrados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2003), Taminango es uno de los municipios del departamento de Nariño más afectado por la desertificación.

Por lo dicho, es de gran relevancia plantear alternativas para la remediación y mejoramiento de estos suelos. El término 'remediación de suelos' se entiende como el conjunto de acciones necesarias para recuperar y restablecer sus condiciones; uno de los tipos de remediación de suelos es con enmiendas orgánicas, las cuales son productos procedentes de materiales carbonados de origen vegetal o animal, cuya función es mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y, mejorar, también su actividad química o biológica.

El presente estudio se realiza en la zona del corregimiento de El Remolino, municipio de Taminango en el departamento de Nariño, en la finca 'El Pinche' donde hay bajas precipitaciones y temperaturas aproximadas de 26 °C. Esta zona presenta una alta vulnerabilidad de condiciones hidrológicas, por estar ubicada en cuencas con una marcada condición de baja capacidad de regulación y por realizar diferentes actividades antrópicas como la extracción de minas de arena, agricultura y deforestación que ocasionan un debilitamiento al suelo, motivos por los cuales se pretende evaluar el cambio de algunas propiedades del suelo en proceso de desertificación al aplicar biochar<sup>5</sup> como enmienda orgánica.

<sup>5</sup> Nombre que se le da al carbón vegetal, cuando se lo emplea como enmienda para el suelo.



**Objetivo general:** Evaluar el cambio de algunas propiedades del suelo en proceso de desertificación al aplicar biochar como enmienda orgánica, en el corregimiento de El Remolino, municipio de Taminango, departamento de Nariño.

### Objetivos específicos

- Estabilizar el biochar para una aplicación eficiente en los suelos en proceso de desertificación.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas iniciales del suelo *in situ* y *ex situ*, antes de la aplicación del biochar.
- Analizar la influencia del biochar hacia algunas propiedades fisicoquímicas del suelo en proceso de desertificación a partir de un diseño de experimentos.

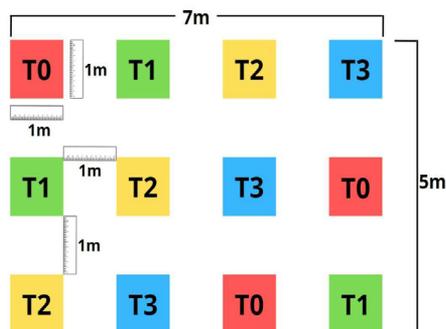
### Desarrollo

#### Diseño de experimentos

Dentro de esta investigación se realiza un diseño experimental de bloques compuestos con tres tratamientos y tres repeticiones por cada parámetro fisicoquímico a medir. Para su realización se aplica el biochar, haciendo uso de palos secos y residuos de cultivos de frutas a fuego alto; cuando termina su combustión, se deja tapado para que se enfríe al vapor hasta el siguiente día; es decir, 24 horas (Agrología, 2018).

Cuando se logre obtener el biocarbón, se lo dispone en un recipiente tipo compostera, en donde posteriormente se obtiene muestras para mediciones periódicas de pH y temperatura, hasta llegar a su estabilización y obtención de parámetros óptimos para su uso, según la reglamentación establecida para los fertilizantes en Colombia por el ICA (Aguirre y Leal, 2019). Es importante mencionar las dosis a utilizar: en el suelo control 0 kg; por lo tanto, este no tendrá ninguna agregación de la enmienda orgánica; en la parcela/tratamiento 1 (T1) de 1 kg; tratamiento/parcela 2 (T2) de 1.5 kg y la parcela/tratamiento 3 (T3) de 2 kg, donde se obtendrá doce unidades experimentales.

Se tiene un suelo con un área total de 7 m ancho por 5 m de largo ( $35 \text{ m}^2$ ), donde se realiza un total de doce parcelas de 1 m de largo por 1 m de ancho ( $1 \text{ m}^2$ ) en las cuales se hace tres aplicaciones en diferentes porciones de la enmienda orgánica biochar, de la siguiente manera: T0, es el suelo control al que no se le aplica ninguna cantidad; T1, en cada una de las parcelas se aplica 1 kg de biochar; T2 se aplica 1.5 kg de biochar por parcelas y T3, se aplica 2 kg de biochar por parcela. Las dosis aplicadas siguen la recomendación de Eguillor (2014), al no pasar de 1 a 2 kg/m<sup>2</sup> al año.

**Figura 1***Diseño experimental*

en donde:

T0= Suelo control sin biochar

T1= Tratamiento 1 (1 kg de biochar/parcela)

T2= Tratamiento 2 (1.5 kg de biochar/parcela)

T3= Tratamiento 3 (2 kg de biochar/parcela)

### Presentación de resultados

#### Estabilizar el biochar para una aplicación eficiente en los suelos en proceso de desertificación:

Para la presentación de este objetivo se desarrolló la primera actividad planteada en el diseño metodológico, siguiendo diferentes pasos para llegar a una estabilización del biochar: la recolección de los residuos de cultivos de fruta, obtenidos en las fincas cercanas a la zona de estudio, realizada el día 3 de abril de 2022. Una vez obtenida y secada la materia prima, se hizo el pesaje de los residuos, para una obtención específica de 5 kg de residuos de cultivos de fruta, para producir 1 kg de biochar

En la Figura 2 se muestra cómo se adecuó la zona en la que se efectuó el proceso de pirólisis; para esto se escogió un lugar donde el suelo estuviera firme y plano, en el cual se hizo un hueco de aproximadamente 50 cm para ingresar los residuos a su interior; se usó un cilindro de aluminio con tapa para impedir que el oxígeno ingresara al contenedor y que la combustión del biochar se realizara de forma lenta. Al observar que los residuos estaban totalmente carbonizados, se los dejó enfriar; luego se los retiró para así recoger el biochar; se lo colocó encima de un compostera totalmente extendido y se lo llevó a un lugar fresco donde se esperó su estabilización.



**Figura 2**

*Elaboración de la enmienda orgánica biochar*



Después de 15 días de la obtención del biochar se realizó una medición de su pH, que arrojaría un valor de pH igual a 11,5. Los parámetros de pH de las enmiendas orgánicas deben estar entre 6,5 y 7,5 para poder ser aplicadas al suelo; es decir, que la primera medición de pH del biochar no fue apta para ser aplicada al suelo. Posteriormente, se dejó actuar la enmienda orgánica en el mismo lugar durante un mes y se realizó una segunda toma de pH, la cual arrojó un pH de 9,5. El valor seguía siendo alto y se dejó actuar el biochar dos meses después de la última toma de pH; se midió el pH del biochar y arrojó un valor de 6,8, el cual cumplía con la norma establecida para su aplicación y se pudo dar paso a los siguientes objetivos:

**Tabla 1**

*Datos de pH y su estabilización*

Tiempo de estabilización	pH
15 días	11,5
45 días	9,5
105 días	6,8

**Caracterizar las propiedades fisicoquímicas iniciales del suelo *in situ* y *ex situ*, antes de la aplicación del biochar**

El día 4 de abril de 2022 se hizo una visita a la zona de estudio, donde se realizó una calicata de 1 metro de ancho, 1 metro de largo y 1 metro de profundidad; también, un respectivo reconocimiento de suelo y su área; se tomó las muestras del suelo control en el cual se usó materiales como: una pala previamente limpia, cuchillo grande, metro, bolsas plásticas y costales. Para realizar este proceso, inicialmente se retiró la cobertura vegetal de la zona de estudio, se tomó muestras con el método de la pala (en forma de V) con una profundidad de aproximadamente 25 a 30 cm y, posteriormente, en las parcelas se hizo seis muestreos con el método de

manecillas del reloj (tomando muestras en diferentes puntos de la parcela como en un reloj).

**Figura 3**

*Reconocimiento del suelo y muestreo*



Estas muestras obtenidas fueron llevadas al laboratorio de Alvernia para analizar cada uno de los parámetros fisicoquímicos como: pH, Materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), humedad, densidad aparente (DA), densidad real (DR) y su textura, antes de la aplicación del biochar.

**Resultados medidos en campo**

**Tabla 2**

*Clasificación textural del suelo medido en campo*

	H1 (15 cm)	H2 (22 cm)	H3 (8 cm)	H4 (8 cm)	H5 (22 cm)
Estructura	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
Tamaño	Firme	Firme	Firme	Firme	Firme
Grado	Medio	Medio	Duro	Duro	Medio
Consistencia en húmedo	Fr	Fr	Fr	MFr	Fr
Consistencia en saturado	LIG PL	NO PL	LIG PL	LIG PL	LIG PL
Adhesividad	LIG AD	LIG AD	LIG AD	LIG AD	LIG AD
Clase textural	a	FA	FA	FA	FA
Color	10YR 1/2	2,5Y 3/4	5Y 4/4	5Y 4/6	5Y 4/4



Raíces (tamaño)	ME	FI	FI	FI	FI
Raíces (abundancia)	AB	AB	ES	ES	ES

Dentro de la Tabla 2 se puede especificar la clasificación de la clase textural del suelo de la siguiente manera:

**Estructura:** en los cinco horizontes presentes en la calicata, se logró determinar que la estructura es granular, lo que hace referencia a que los agregados presentan una baja porosidad, existiendo una baja cantidad de MO. Por otro lado, la masa del suelo se fragmenta fácilmente, demostrando que este tipo de estructura del suelo se debe a procesos de desgaste o uso excesivo, en el que las propiedades fisicoquímicas, principalmente, no son óptimas para el desarrollo de actividades de un suelo normal y que esta estructura granular se deriva del predominio del porcentaje de arenas y las bajas cantidades de arcillas (FAO, 2022).

**Tamaño:** en los cinco horizontes del suelo se determinó que el tamaño de las partículas del suelo es firme.

**Grado:** en los horizontes 1, 2 y 5 se presenta un grado medio; es decir, que en el suelo se puede diferenciar fácilmente los agregados y, al separarlos del mismo, se rompen con facilidad (FAO, 2022), lo que es característico de suelos con altas cantidades de arena. Por otro lado, en los horizontes 3 y 4 el grado es duro; esto quiere decir que en el suelo, al momento de separar los agregados, logran permanecer juntos; esto es, su separación puede ser un poco más difícil que en el grado medio; cuando se presenta este tipo de grado (duro), los agregados son fácilmente identificables y están separados unos con otros (FAO, 2022), lo que representa un grado del suelo con un porcentaje mayor de arcillas que en el grado medio y, los porcentajes de arenas pueden comenzar a disminuir.

**Consistencia en saturado:** Horizontes 1, 3, 4 y 5 presentan una consistencia en saturado ligeramente plástico (LIG PL), en donde se forma un cordón, pero la masa se deforma fácilmente; además, esta propiedad del suelo es aquella que le permite ser deformado rápidamente sin romperse, sin rebote elástico y sin cambio de volumen. Según la teoría de Goldschmith (como se cita en Anónimo, 2010), la plasticidad se debe a la presencia de partículas muy delgadas con cargas electromagnéticas; en su superficie, el horizonte dos tiene una consistencia en saturado No plástico (NO PL).

**Clase textural:** el horizonte 1 presenta una clase textural a (Arenoso); es quizás, la textura más sencilla de identificar; al frotarla entre los dedos, la percepción es áspera y no se observa presencia de partículas finas (limo y arcilla). Respecto al color, las arenas en la región de Cuyo son más bien grises y más oscuras que otro tipo de suelo. Si se agrega agua hasta formar una pasta consistente (ni muy húmeda ni muy seca) y al tratar de formar una bola, se disgrega fácilmente, mientras en los horizontes 2, 3, 4, 5, una FA (Franco Arenoso) En seco se percibe la arena que predomina, pero en menor proporción que la anterior, generalmente, de un color marrón claro o gris.



**Consistencia en húmedo:** para este suelo, en los horizontes 1, 2, 3 y 5 se encontró consistencia en húmedo clasificada como friable, ya que el material se desmenuzaba bajo ligera presión; también se halló muy firme en el horizonte 4, porque el material se desmenuza bajo fuerte presión y es apenas desmenuzable entre pulgar e índice. Lo mencionado tiene una gran relación con la adhesividad del suelo; luego de la presión, el material de suelo se adhiere a los dedos, pero se desprende completamente de cualquiera de las partes, siendo ligeramente adhesivo, lo cual es una de las principales características de un suelo seco por el alto valor de cohesión que, a su vez, presenta poco grado de humedad.

**Color:** presenta un color amarillento debido a la presencia de Goethita (FeO-OH); esto significa que hay poca presencia de MO y que proviene de la oxidación e hidratación de los compuestos minerales de hierro del suelo, concluyendo que este suelo pertenece al grupo de los aridisoles, originarios de lugares donde hay poca precipitación y en climas áridos o semiáridos (Cock et al., 2010).

### Resultados medidos en el laboratorio

**Tabla 3**

*Propiedades del suelo antes de la aplicación del biochar, medidas en el laboratorio*

Propiedad	Valor inicial	Error estándar
pH	8,38	0,011
Conductividad eléctrica (s/sm)	78,87	3,4
% Humedad	0,64	1,03
Densidad real (g/ml)	2,57	0,04
% Materia Orgánica	3,93	0,12
% Porosidad	48,07	1,78
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	6,15	0,08
Densidad aparente	1,33	0,03
Textura	Arena: 87,97 % Arcilla: 5,68 % Limo: 6,35 %	

### **Analizar la influencia del biochar hacia algunas propiedades fisicoquímicas del suelo en proceso de desertificación a partir de un diseño de experimentos:**

Una vez la enmienda orgánica (biochar) se logró estabilizar y se efectuó las doce parcelas, como se muestra en el diseño experimental, se hizo su aplicación en las diferentes porciones planteadas (0 Kg, 1 Kg, 1.5 Kg 1 2 Kg). Después, se dejó actuar durante un periodo de tiempo determinado, con el fin de poder analizar el cambio de las propiedades fisicoquímicas del suelo, realizando cuatro muestreos: el



primero al mes 14 de agosto de 2022; el segundo a los dos meses 18 de septiembre de 2022; el tercero a los tres meses 23 de octubre de 2022; y, el cuarto a los cuatro meses 20 de noviembre de 2022.

**Tabla 4**

*Datos obtenidos en el laboratorio en el primer muestreo*

<b>Propiedad</b>	<b>T0</b>	<b>EE</b>	<b>T1</b>	<b>EE</b>	<b>T2</b>	<b>EE</b>	<b>T3</b>	<b>EE</b>
<b>pH</b>	8,29	0,018	8,25	0,006	8,35	0,036	8,36	0,007
<b>Conductividad Eléctrica (s/sm)</b>	120,13	3,00	200,7	8,68	183,4	4,38	168,25	3,2
<b>% Humedad</b>	1,07	0,012	0,86	0,007	1,58	0,043	1,70	0,001
<b>Densidad real (g/ml)</b>	2,54	1,32	2,51	0,13	2,45	0,004	2,65	1,22
<b>Densidad aparente</b>	1,38	0,014	1,35	0,021	1,26	0,018	1,27	0.032
<b>% Porosidad</b>	45,04	1,31	45,54	1,76	46,46	0,92	51,55	2,67
<b>Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)</b>	8,8	0,97	15,76	0,5	9,92	0,2	17,84	1,13
<b>% Materia orgánica</b>	5,62	0,92	4,64	0,002	4,80	1,31	6,91	0,012
<b>Textura</b>	Arena: 86,88 % Arcilla: 6,96 % Limo: 6,16 %	Arena: 86,5 % Arcilla: 7,44 % Limo: 6,05 %	Arena: 81,56 % Arcilla: 7,95 % Limo: 10,48 %	Arena: 83,81 % Arcilla: 5,28 % Limo: 10,90 %				

**Tabla 5***Datos obtenidos en el laboratorio en el segundo muestreo*

Propiedad	T0	EE	T1	EE	T2	EE	T3	EE
<b>pH</b>	8,36	0,018	8,40	0,021	8,53	0,009	8,38	0,003
<b>Conductividad Eléctrica (s/sm)</b>	116,42	3,32	177,8	16,43	178,47	8,12	177,95	4,57
<b>% Humedad</b>	2,34	0,084	2,29	0,18	2,62	0,16	2,16	0,142
<b>Densidad real (g/ml)</b>	2,98	0,095	2,94	0,081	2,73	0,1	2,96	0,09
<b>Densidad aparente</b>	1,18	0,05	1,14	0,034	1,1	0,06	1,12	0,034
<b>% Porosidad</b>	60,52	0,021	61,18	0,122	59,40	0,089	61,80	0,009
<b>Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)</b>	9,18	0,071	17,56	0,5	12,92	0,002	21,84	2,013
<b>% Materia orgánica</b>	4,88	0,185	6,29	0,21	6,59	0,002	7,8	0,012
<b>Textura</b>	Arena: 85,3 % Arcilla: 5,49 % Limo: 9,2 %	Arena: 86,64 % Arcilla: 6,77 % Limo: 6,58 %	Arena: 86,64 % Arcilla: 5,68 % Limo: 7,48 %	Arena: 83,41 % Arcilla: 6,35 % Limo: 10,24 %				

## **Análisis e interpretación de resultados**

### **Análisis del primer objetivo**

El primer objetivo hace referencia a la fabricación y estabilización del biochar, en el que fue necesaria la recolección de los residuos. De acuerdo con las 'Directrices estandarizadas para la definición y pruebas de productos para el biochar utilizado en el suelo' (como se cita en Palacios, 2019), el material usado para su producción debe tener ciertas características, dado que es el material de origen que determinará las propiedades que pueda adquirir el producto; en este caso, se utilizó residuos generados a partir de cultivos de frutas como mango, maracuyá, limón, entre otros, que abundan en la zona de estudio, por lo cual es una materia prima factible. Luego se realizó el proceso de pirólisis de estos residuos (secos) a descomposición térmica a temperaturas relativamente bajas (< 700 °C) y en una atmósfera ausente o pobre en oxígeno (pirólisis). Este proceso estabiliza el C de la MO, haciéndolo más resistente a la descomposición química y biológica, lo que generó un biocarbón.

El producto obtenido posteriormente fue colocado en una compostera para su estabilización, en la que se requirió una medición periódica de pH y temperatura hasta lograr los valores óptimos necesarios. Estudios de caracterización de biocarbones como los de Chang y Xu, 2009 y Srinivasa Rao et al., 2013 (como se cita



en Rebolledo et al., 2016) han consignado reacciones donde el pH varía de ácido a alcalino, con una media de pH 8.1 y un intervalo de pH entre 6.2. Cabe resaltar que el pH del biochar para el presente estudio se aplicó en el momento en el que este tomó un pH de 6,8, lo cual es una medida adecuada para la aplicación directa en el suelo. Los parámetros de pH de las enmiendas orgánicas deben estar entre 6,5 y 7,5 para poder ser aplicadas; esta estabilización es uno de los procedimientos en el que más tiempo se necesitó (de tres a cuatro meses).

### **Análisis del segundo y tercer objetivo**

Considerando la Tabla 5, es posible evidenciar que el suelo de la finca en Pinche presentó propiedades fisicoquímicas en condiciones inadecuadas, pero también es importante mencionar que se encontró parámetros en condiciones adecuadas por el tipo de suelo que presenta y el sitio donde está localizada, ya que el corregimiento de El Remolino se encuentra en el municipio de Taminango y según el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) (Alcaldía Municipal de Taminango, 2015), este presenta una región seca en proceso de desertificación; el 60,9 % del territorio tiene grado de aridez alto y este proceso natural se ve agravado por el efecto antrópico que ha tenido la mayor incidencia en el deterioro de los suelos, la extinción de muchas fuentes de agua y la eliminación del bosque, conllevando una baja productividad de la región.

Cabe mencionar que cuenta con una red hidrográfica no muy rica que, junto al desequilibrio de los ecosistemas aportantes de agua para los procesos productivos, hace que la oferta del recurso sea escasa y, en un futuro crítico, esta situación aumentará para el corregimiento de El Remolino y algunas veredas vecinas.

De acuerdo con el resultado del pH, es importante considerar que este parámetro es una propiedad química del suelo que permite analizar si este es ácido, neutro o alcalino. Dentro de la investigación se observa un valor entre 8.38, rango que hace referencia a un suelo alcalino en el cual no se puede desarrollar procesos de crecimiento de plantas, cultivos, entre otras actividades. En este tipo de suelo se da una baja disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo; por ende, incrementa el proceso de desertificación y el deterioro del suelo.

Continuando con el parámetro de 'Conductividad eléctrica', esta se encarga de medir la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo y su capacidad para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de corriente eléctrica (Intagri, 2001). Dentro de los resultados medidos en el laboratorio, se obtuvo un dato de 78.87 siemens/cm el cual hace referencia a un suelo con alta salinidad; es decir, las raíces de las plantas (si las hay) tardan demasiado tiempo en absorber los nutrientes o el agua que se encuentre en el suelo. Al presentarse un valor bajo de la conductividad eléctrica, los nutrientes presentes en el suelo se desgastan rápidamente y se da una falta y escasez de agua, por lo que las plantas se secan, el suelo se ve directamente afectado y se requiere de alternativas que permitan la conductividad de las sales y los nutrientes, porque sin ellos se afecta principalmente la fertilidad del suelo y la capacidad de conducir corriente eléctrica.



La textura del suelo representa las cantidades de partículas minerales inorgánicas (limo, arena y arcillas). Las partículas de arena pueden presentar un diámetro de 0,05 a 2 mm, generando un aumento del tamaño de los espacios de los poros, haciendo que el drenaje del agua y de los nutrientes sea más rápido (Fertilab, s.f.).

Según la FAO (2022), el suelo control en los dos muestreos arroja datos de un porcentaje de arena superior al 70 %, lo que representa que la retención de agua y nutrientes y los datos del porcentaje de arena en el suelo están en el rango de entre 70 a 80 % por lo que representan un suelo franco arenoso. Por otro lado, los porcentajes de arcilla son bajos (0-20 %), lo que significa que es un tipo de suelo francoarenoso con una textura medianamente gruesa. Cabe aclarar que las arcillas son muy pequeñas y, por escorrentía, son las partículas más fáciles de remover; este tipo de suelos hace que se pierdan más fácilmente, y finalmente los porcentajes de limo en todos los valores están por debajo del 20 %, por lo que sigue siendo escaso y genera una textura gruesa e impide la acumulación adecuada de agua y nutrientes, haciendo un proceso de salinización en el suelo.

El contenido de humedad del suelo es un valor que determina la cantidad de agua en cierta cantidad conocida de suelo. El potencial de humedad del suelo o la tensión de humedad muestra el grado de agua que se aferra a él. Los resultados obtenidos en el muestreo inicial de humedad dieron una variación entre % 0 y % 4 en el promedio, manteniéndose baja, ya que según el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN, 2013), para que un suelo sea estable y en su máxima capacidad de retención, debe encontrarse entre los rangos 5 a 50 %. Es importante resaltar que, en porcentajes de humedad altos va a haber afectaciones en el nivel productivo de los suelos, como también, afectaciones en el crecimiento de las plantas y en las distribuciones de las raíces.

Según Jaramillo (2002), “la densidad real es el peso de las partículas sólidas del suelo relacionado con el volumen que ocupan, sin tener en cuenta su organización en el suelo, el espacio ocupado por los poros, ni el tamaño de las partículas” (p. 183). El valor medio se sitúa en torno a 1.35 g/cm<sup>3</sup> (1.1 y 1.7 mg/m<sup>3</sup>), indicando un suelo con buena estructura y volumen de poros. En los resultados alcanzados se observa valores similares o inferiores a 2.65, los cuales son representativos de un suelo seco y, al tener un alto resultado de densidad real, el contenido de MO es baja de los suelos. La MO es un factor a considerar, dado que este tiene el poder amortiguador del humus que reduce los riesgos de variaciones bruscas del pH, protegiendo la vida microbiana y la disponibilidad de algunos elementos minerales (Orozco et al. 2012; Labrador et al., 2002; Primavesi, 1984; como se cita en Garro, 2016).

Con relación a lo anterior, Molina y Melendez (2002) proponen los siguientes valores de referencia para interpretar los porcentajes de MO: un suelo con un rango menor al 2 % es bajo; entre 2 % y 5 % es medio; en rangos que se encuentren entre 5 % y 10 % es óptimo y, mayor a 10 % es alto, por lo cual se puede afirmar que el suelo de la finca El Pinche en el corregimiento de El Remolino presenta un suelo con medio y bajo contenido de MO y, por lo tanto, precisa urgentemente una



enmienda orgánica que mejore sus condiciones y las propiedades físicas, químicas y microbiológicas que favorecen el crecimiento de las plantas y la vida microbiana.

La densidad aparente (D<sub>Ap</sub>) se define como el peso secado al horno de un volumen unitario de suelo, incluyendo espacios porosos, expresado frecuentemente en g·cm<sup>-3</sup> (Cavazos y Rodríguez, 1992). La D<sub>Ap</sub> es más importante que la densidad de partículas para comprender el comportamiento físico de los suelos. En general, los suelos con baja D<sub>Ap</sub> tienen condiciones físicas favorables, mientras que aquellos con D<sub>Ap</sub> elevada poseen malas condiciones físicas; esto es, mayor compactación.

Es posible afirmar que el suelo del presente estudio cuenta con una D<sub>Ap</sub> media, ya que los valores obtenidos se ubican entre el rango de 1.2 a 1.45. Dentro de esta clasificación hay rangos como: Bajo (1.0 – 1.2), Medio (1.2 – 1.45), Alto (1.45 – 1.60) y Muy alto (> 1.60).

Por otra parte, según la FAO (2022), el espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Dentro del espacio poroso se puede distinguir macroporos y microporos, donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o detenerse. Los macroporos no retienen agua contra la fuerza de la gravedad; son responsables del drenaje, aireación del suelo y, constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas.

Finalmente, el parámetro 'Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)' según la FAO (2022), es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, MO o sustancias húmicas) y, representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH<sub>4</sub> etc.).

Por otro lado, un tipo de suelo es franco arenoso (5-10 meq/100g de suelo), razón por la cual se puede afirmar que el suelo inicial que se tiene para la presente investigación pertenece al tipo de suelo mencionado; además, el nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial, entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, es arenoso o pobre en MO. La unidad de medición de CIC es en centímetros de carga por kg de suelo (FAO, 2009). Respecto a este parámetro, se puede decir que el suelo estudiado presenta bajos niveles de CIC, lo cual no es benéfico.

## Conclusiones

La adición de la MO biochar como remediador del suelo del municipio de Taminango, el cual presenta características de degradación ya que tiene un proceso de desertificación, generará resultados beneficiosos en cuanto a algunas propiedades fisicoquímicas, pues esta enmienda orgánica favorece este recurso no renovable.

Para la realización de este proyecto se tuvo en cuenta distintos aspectos; principalmente, la escogencia de la MO a utilizar, para evaluar los cambios



fisicoquímicos que pueda tener el suelo. Existen distintos tipos de enmiendas orgánicas para remediar suelos, pero para la elección adecuada se debe tener en cuenta algunos factores como: el lugar a remediar, las materias primas disponibles y el grado de degradación del recurso; así, se eligió el biochar, ya que es una solución muy factible en la zona.

La enmienda orgánica es favorable para las propiedades del suelo, pero es necesario determinar los tiempos de aplicación y actuación, con el fin de obtener mejores resultados. En el caso del pH, en los diferentes tratamientos se evidencia que los valores se reducen debido a que la aplicación del biochar genera cambios y su estabilización permite que el suelo tenga diferentes resultados; por otro lado, en propiedades como la textura, se logra evidenciar que es más difícil poder cambiarlas o modificarlas, dado que son un aspecto fundamental en el suelo.

### Referencias

- Agrología. (2018). Biochar (Biocarbón). <https://agrologia.wordpress.com/2018/08/12/biochar-biocarbon/>
- Aguirre, N. A. y Leal, L. J. (2019). *Propuesta de producción de bioabono a partir de estiércol bovino en la finca El Valle, Subachoque, Cundinamarca* [Tesis de Pregrado, Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7712>
- Alcaldía Municipal de Taminango. (2015). Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT - Municipio de Taminango – Nariño - 2006-2015. Documento Técnico de Soporte. <https://es.scribd.com/document/362121720/Taminango-Narino-Eot-06-15>
- Anónimo. (2010). La plasticidad del suelo – Límites de Atterberg. <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/plasticidad-del-suelo-limites-de.html>
- Bozkir, V. (2021). El suelo es la solución. <https://www.un.org/es/pgs/75/media/soil-is-the-solution>
- Cavazos, T. y Rodríguez, O. (1992). *Manual de prácticas de física de suelos*. Trillas.
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2013). *Agricultura orgánica nacional: bases técnicas y situación actual*. CIREN.
- Cock, J. H., Álvarez, D. M. y Estrada, M. (2010). *Guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno. Versión 2*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Corporación BIOTEC.
- Eguillor, P. M. (2014). Cultivos y superficie orgánica, hortalizas, frutales, cereales, hierbas medicinales, semillas, viveros, praderas, ovinos, bovinos, caprinos, uva vinífera, recolección silvestre. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2014/08/agriculturaOrganica2014.pdf>



- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E. y Etchevers, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- Fertilab. (s.f.). *Manual de muestreo* (4.ª ed.). Fertilidad de suelos S. de R.L.
- Garro, J. E. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Intagri. (2001). La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2003). Desertificación y sequía. Primera Jornada Nacional de Sensibilización. Memorias. [https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Zonas-Secas/5639\\_010610\\_memo\\_primer\\_taller\\_unccd.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Zonas-Secas/5639_010610_memo_primer_taller_unccd.pdf)
- Molina, E. y Meléndez, G. (2002). *Tabla de interpretación de análisis de suelos*. Centro de Investigación Agronómica de la Universidad de Costa Rica.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2009). Guía para la descripción de perfiles de suelos. <http://www.suelos2015.es/publicaciones/informe/guia-para-descripcion-de-perfiles-de-suelos>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2022). Textura del suelo. [https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s06.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm)
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s.f.). Ordenación de los ecosistemas frágiles: lucha contra la desertificación y la sequía. <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter12.htm#:~:text=La%20desertificaci%C3%B3n%20afecta%20a%20la,total%20de%20tierras%20del%20mundo>.
- Palacios, R. N. (2019). *Estabilidad y calidad de biochar de residuos agroforestales de la UNALM* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4380/palacios-hugo-rosario-natividad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>