



## Efectos de una enmienda orgánica sobre las propiedades fisicoquímicas de un Andisol, en Túquerres, Nariño, Colombia

### Effects of an organic amendment on the physicochemical properties of an Andisol, in Túquerres, Nariño, Colombia

Lagos, J.<sup>a\*</sup>, Huertas, J.<sup>a, b\*</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Mariana. Pasto, Nariño, Colombia.

<sup>b</sup> Grupo de Investigación Ambiental GIA. Pasto, Nariño, Colombia.



#### ARTICLE INFO

##### Keywords:

Soil quality  
Composting  
Cuyinaza  
Degradation  
Livestock use

Original Research Article,  
Sustainable Management of  
Volcanic Ash Soils

##### \*Corresponding author:

Johanna Lagos Riascos  
E-mail address:  
[jolagos@umariana.edu.co](mailto:jolagos@umariana.edu.co);  
[jlhuertas@umariana.edu.co](mailto:jlhuertas@umariana.edu.co)

#### ABSTRACT

The municipality of Túquerres (Nariño, Colombia) has been traditionally characterised by having the livestock and agricultural sectors as the cornerstone of its economy, however, livestock exploitation and mainly the production of cattle has caused alterations in the physicochemical properties of the soil, intensifying the degradation of this resource. This study aimed to evaluate the effect of an organic amendment on the physicochemical properties of land for livestock use. To do this, a randomised block design with four treatments and three repetitions was used in an experimental area of 135 m<sup>2</sup>. In each subplot, different doses of organic amendment obtained from the composting of guinea pig (*Cavia porcellus*) manure (1, 1.5 and 2 kg m<sup>-2</sup>) were incorporated into the soil. Properties such as B<sub>d</sub>, porosity, texture, humidity, MO, CIC, pH and CE were determined. The results showed differences ( $p \leq 0.05$ ) between some of the treatments with respect to control (T0), especially T2 (1.5 kg m<sup>-2</sup>) which had positive effects on parameters such as MO, CIC and pH due to a superior mineralization process when compared to other treatments, showing a high potential to improve soils with MO deficiency. On the other hand, T3 (2 kg m<sup>-2</sup>) presented the best effects on Da, porosity and moisture, mainly due to the interaction between the sampling time (210 days) and the amount of organic amendment incorporated in the soil.

#### RESUMEN

Tradicionalmente, el municipio de Túquerres (Nariño, Colombia), se ha caracterizado por el predominio del sector pecuario y agrícola como base de su economía, sin embargo, la explotación pecuaria, principalmente, la producción de ganado vacuno ha causado alteraciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo, intensificando la degradación de este recurso. Por esta razón, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de una enmienda orgánica sobre las propiedades fisicoquímicas de un suelo de uso pecuario. Para ello, se llevó a cabo la implementación de un diseño de bloques al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones, en donde el área experimental fue de 135 m<sup>2</sup>. En cada subparcela, se incorporó al suelo diferentes dosis de enmienda orgánica obtenida a partir del compostaje del estiércol del cuy (*Cavia porcellus*) (1, 1,5 y 2 kg m<sup>-2</sup>). A partir de ello, se determinaron propiedades como Da, porosidad, textura, humedad, MO, CIC, pH y CE. Los resultados muestran diferencias ( $p \leq 0,05$ ) entre algunos de los tratamientos respecto al control (T0), principalmente, el T2 (1,5 kg m<sup>-2</sup>), el cual, sobresalió por sus efectos positivos sobre los parámetros como MO, CIC y pH evidenciándose un proceso de mineralización superior a los demás tratamientos y con ello, un alto potencial para aplicarse a suelos con déficit de MO. Así mismo, el T3 (2 kg m<sup>-2</sup>), presentó los mejores efectos sobre la Da, porosidad y humedad, relacionado especialmente, con la interacción existente entre el tiempo de muestreo (210 días) y la cantidad de enmienda orgánica incorporada en el suelo.

*Palabras clave:* calidad del suelo, compostaje, cuyinaza, degradación, uso pecuario.

#### INTRODUCCIÓN

En Colombia, los sistemas de producción agropecuarios, se basan en la explotación indiscriminada de los recursos naturales, a través de la implementación de monocultivos y de ganadería intensiva, ocasionando

un sobreuso y manejo inadecuado del suelo, una degradación y abandono de la tierra. Al respecto, CORPONARIÑO (2002: pág. 5), afirma que "el departamento de Nariño se ha caracterizado por la explotación ganadera, con la implementación de sistemas de pastoreo, con predominio de pasto Kikuyo (*Pennisetum longistylum*

(Hochst.)", lo cual, ha ido ocasionando a través del tiempo, efectos negativos como la compactación y la erosión, modificando y alterando algunas propiedades fisicoquímicas del suelo, que conllevan a la degradación ambiental debido al pisoteo que realizan los animales sobre su capa superficial (Aguirre *et al.*, 2010).

En Colombia el 9,1% del territorio tiene vocación agrícola, el 9,0% es de vocación ganadera, mientras un 19,0% tiene vocación agroforestal, y el 62,5% restante es de vocación forestal, de conservación y recuperación, por ello, se estima que se presenta una sobre utilización de tierras en 37,2%, donde, alrededor del 80,0% de la zona andina está siendo afectada por la erosión y compactación, de modo que, uno de los mayores causantes del fenómeno es el uso del suelo por actividades agropecuarias, con tecnologías inadecuadas y sin considerar la aptitud de uso, donde, el proceso de degradación de suelos en la región, avanza cerca de 2000 ha anuales (IGAC, 2004; CORPONARIÑO, 2007; CORPONARIÑO, 2012).

En Nariño, principalmente el municipio de Túquerres tradicionalmente se ha dedicado a la producción ganadera como base de su economía, por lo cual se ha intensificado la problemática sobre este recurso, puesto que, su uso y manejo inadecuado ha conllevado a una afectación en la estabilidad estructural y por ende una modificación de la relación existente entre agua – suelo – aire (Castillo *et al.*, 2008). En relación a lo anterior, es de vital importancia considerar algunas alternativas de remediación de suelos que permitan obtener un comportamiento positivo en sus propiedades, para disminuir los problemas de degradación ocasionados por el pisoteo de animales.

Es por esto, que a nivel regional se han realizado algunas investigaciones referentes a la incorporación de enmiendas orgánicas en el suelo, como es el caso de Montes *et al.* (2015), quienes encontraron que la aplicación de gallinaza, presentó efectos positivos en relación a algunas propiedades químicas como la MO, puesto que obtuvieron un valor del 11%, el cual fue considerado alto.

Adicionalmente, Flores y Méndez (2009), evidenciaron que la incorporación de un compost elaborado a base de estiércol, aumentó el contenido de MO partiendo de una condición inicial de 1,9% hasta un valor final de 4,7% considerado como un nivel medio, que posiblemente contribuye al mejoramiento de sus características físicas como estructura, facilitando la formación de agregados más estables, la retención de humedad, y el intercambio de nutrientes para obtener un mejor rendimiento en el crecimiento de las plantas. Lo anterior debido posiblemente al efecto positivo que presenta la enmienda orgánica sobre las fracciones húmicas (humus joven (lábil) y humus estable (húmina, ácidos húmicos y fúlvicos)) de la materia orgánica, dado que, durante su proceso de descomposición una

cierta parte del carbono es asimilado por los microorganismos y otra es convertido en humus, el cual, representa del 60% al 90% de la MO del suelo y permite llevar a cabo una acción inmediata en la estructura del suelo y por ende en la actividad microbiana (Gallardo, 1980; Intagri, 2001; Meléndez, 2003; Julca *et al.*, 2006).

De igual forma, en la investigación de Tarapues (2016), sobre la aplicación de diferentes dosis de compost a base de residuos sólidos (estiércol de cuy y vísceras) de la cadena productiva del cuy sobre un suelo en la zona altoandina, fue posible evidenciar que, la MO tuvo una variación positiva después de la incorporación de este compost, puesto que, su valor en la etapa inicial fue de 4,5% y aumentó a 7,4%, lo cual, significa que se encuentra en un nivel medio.

En consideración a ello, en la presente investigación se evaluó el efecto de la incorporación de la cuyinaza sobre las propiedades fisicoquímicas de un Andisol bajo pradera en el municipio de Túquerres, Nariño.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

La vereda la Jardinera se encuentra ubicada en el corregimiento de Tutachag, al sur-occidente del municipio de Túquerres, departamento de Nariño. Se sitúa a una altura de 2980 m. s. n. m., su temperatura fluctúa entre los 5 y 15 °C, por lo cual presenta un clima frío húmedo según la clasificación climática de Caldas – Lang, y la precipitación total anual es de 1001,4 mm (Eslava *et al.*, 1986; Bolaños, 2002). El estudio se desarrolló en un suelo de uso pecuario donde predomina el pasto kikuyo (*P. longistylum*), en una finca ubicada en las coordenadas: Latitud 1°4'27.85"N y Longitud 77°37'27.42"O. El suelo es de orden Andisol, derivado de cenizas volcánicas depositadas sobre tobas de ceniza, lapilli o sobre andesitas, su clasificación taxonómica corresponde Pachic Melanudands, es considerado de alta fertilidad, muy profundo, bien drenado, presenta una textura franco arenosa (55,5% de arena, 11,7% de arcilla, 32,8% de limo), un pH moderadamente ácido y alta MO (IGAC, 2004; Romero, 2012).

### Recolección de muestras de suelo

Se empleó un método de muestreo en zigzag, el cual, permitió obtener mayor representatividad, puesto que, garantizó una mayor cobertura del área a muestrear, donde se tomó una muestra de suelo compuesta (3 repeticiones) de cada uno de los tratamientos a lo largo y ancho en la parcela de uso pecuario a una profundidad de 20 cm, para llevar a cabo su análisis fisicoquímico (IGAC, 1996; Ramírez, 2005); el procedimiento se repitió a los 120 días (muestreo 1) y a los 210 días (muestreo 2) después de la aplicación de la cuyinaza (López

*et al.*, 2001).

### Análisis en laboratorio

Dichas muestras fueron analizadas en la sección de laboratorios de la sede Alvernia de la Universidad Mariana, las cuales fueron secadas a temperatura ambiente (17 °C), con el fin de evaluar las características físicas y químicas del suelo de uso pecuario al inicio y final del ciclo. En el Cuadro 1, se mencionan las metodologías utilizadas para la determinación cuantitativa de cada una de los parámetros físicos y químicos del suelo.

### Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Para ello, se utilizó tres bloques al azar, cada uno de ellos tuvo un área de 30 m<sup>2</sup> (15 m x 2 m), la distancia entre bloques fue de 1,5 m y de 1 m entre tratamiento, para un total de 135 m<sup>2</sup> (15 m x 9 m). Dentro de cada bloque se dispuso los 4 tratamientos, los cuales tuvieron un área de 6 m<sup>2</sup> (3 m x 2 m). Así mismo, se manipuló compostaje de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*), el cual se lo mantuvo húmedo durante 3 semanas a temperatura ambiente, con un volteo del material tres veces por semana según lo recomendado por Valdiviezo *et al.* (2012). Las dosis utilizadas fueron: el tratamiento testigo de 0 kg m<sup>-2</sup>; el tratamiento 1 de 1 kg m<sup>-2</sup>; el tratamiento 2 de 1,5 kg m<sup>-2</sup> y el tratamiento 3 de 2 kg m<sup>-2</sup>, a partir de lo cual se obtuvo 12 unidades experimentales. Cabe resaltar, que estas dosis son las recomendadas para suelos en estado de degradación, erosionados o muy pobres y no debe de excederse de estas dosis al

año (entre 1 y 2 kg por m<sup>2</sup> año<sup>-1</sup>), puesto que el uso de estas, en forma excesiva puede impactar negativamente el suelo (SAG, 2014).

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza, esto con el fin de observar el efecto del factor A (tiempo de muestreo) y el factor B (dosis incorporada de la enmienda orgánica) y su interacción sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y cuando se presentaron diferencias estadísticamente significativas, se procedió a efectuar la prueba de comparación de medias de Duncan, la cual, presenta una mayor facilidad para encontrar diferencias entre las medias en comparación al Test de Tukey. Dicho análisis estadístico se ejecutó con el programa InfoStat Statistical Package (Pulido y Salazar, 2008; Di Rienzo *et al.*, 2009).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de los efectos de la aplicación de diferentes dosis de cuyinaza sobre las propiedades químicas de un suelo de uso pecuario.

#### Materia orgánica y capacidad de intercambio

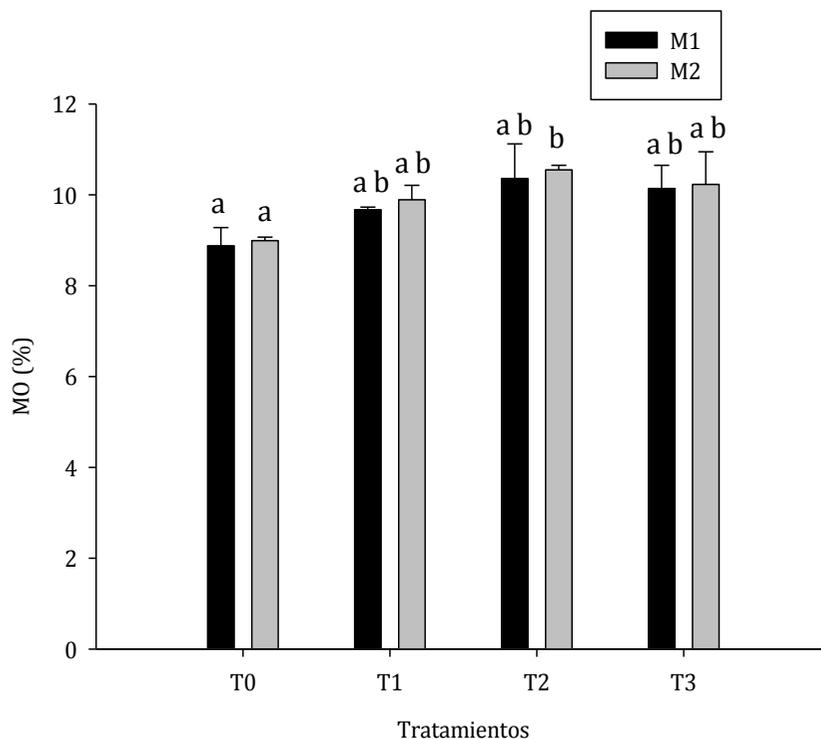
En la Figura 1, es posible visualizar que en todos los tratamientos donde se aplicaron dosis de cuyinaza (T1, T2 y T3) se eleva el contenido de MO, encontrándose que el mayor incremento se registró en el T2-M1 (10,36%) y T2-M2 (10,54%), los cuales se encuentran en un nivel de contenido alto (>10%) (Jaramillo, 2002), que a su vez presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) respecto al T0-M1 (8,88%) y

**Cuadro 1.** Parámetros fisicoquímicos del suelo evaluados.

**Table 1.** Physicochemical parameters of the soil evaluated.

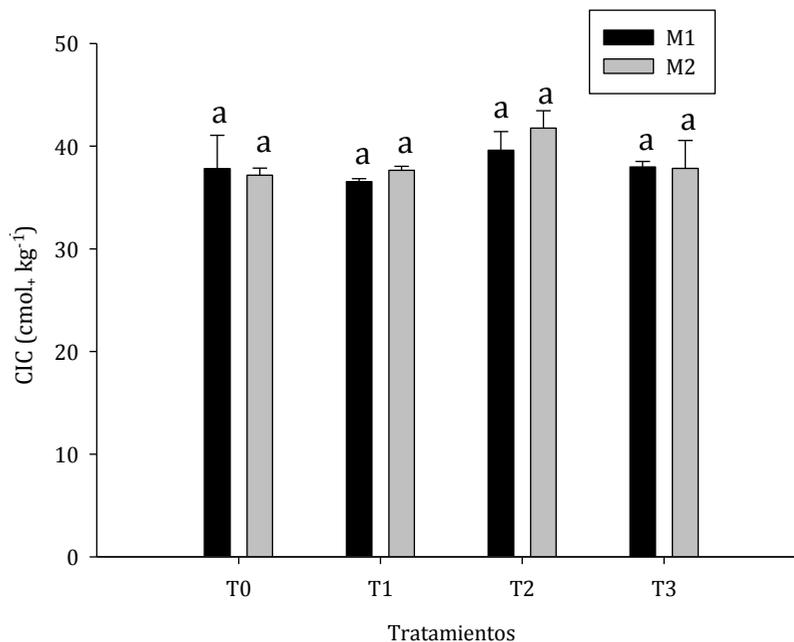
PARÁMETROS	MÉTODO
pH	Potenciómetro, relación suelo-agua 1:1-NTC 5264
Materia orgánica	Walkley-Black (Colorímetro) NTC 5403
Densidad aparente	Cilindro graduado
Densidad de partículas	Picnómetro
Textura	Bouyoucos
Contenido de humedad	Gravimétrico secado a 105 °C peso constante
Porosidad Total	Calculada a partir de la densidad de partículas y densidad aparente
Conductividad eléctrica	Conductivímetro
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio 1N pH 7,0-Titulométrico

Fuente: Sadzawka *et al.* (2006).



**Figura 1.** Contenido de materia orgánica en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). Barras indican  $\pm$  error estándar (T0, T1, T2 y T3 para M1 y M2;  $n = 3$ ).

**Figure 1.** Organic matter content in the different treatments. Different letters indicate statistically significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). Bars indicate  $\pm$  standard error (T0, T1, T2 y T3 for M1 and M2;  $n = 3$ ).



**Figura 2.** Capacidad de Intercambio Catiónico en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). Barras indican  $\pm$  error estándar (T0, T1, T2 y T3 para M1 y M2;  $n = 3$ ).

**Figure 2.** Cationic Exchange Capacity in the different treatments. Different letters indicate statistically significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). Bars indicate  $\pm$  standard error (T0, T1, T2 y T3 for M1 and M2;  $n = 3$ ).

T0-M2 (8,99%). Lo que influyó de una manera positiva sobre la CIC ( $41,77 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) (Figura 2), motivo por el cual existió una alta correlación entre estas dos variables ( $r = 0,98$ ) (Restrepo, 1996), puesto que, la adición de abonos orgánicos al suelo afecta positivamente la MO y otros elementos, presentando un aumento en su mineralización y por ende en la capacidad para intercambiar cationes (Kapland y Estes, 1985; Castellanos, 1986; López *et al.*, 2001; Ccapa, 2014).

Este comportamiento se debe a que, el T2 ostentó una dosis que generó efectos positivos en la MO, la cual fue fácilmente atacable por los microorganismos (Pascual y Venegas, 2014), debido a que, posee materiales carbonados que contienen azúcares, almidón, celulosa y grandes cantidades de nutrientes (1,40% de N; 1,20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 3,37% de  $\text{K}_2\text{O}$ ; 3,70% de CaO; 1,56% de MgO), que son vitales para la obtención de energía, para su crecimiento y multiplicación (Dommergues y Manganot, 1970; Mollinedo, 2006; Tarapues, 2016). Lo anterior, se relaciona con Sadeghian (2008), quien indica que esta cantidad de abono orgánico aplicado al suelo ( $1,5 \text{ kg m}^{-2}$ ), se utiliza con el fin de corregir la acidez, permitiendo llevar a cabo un mejoramiento de la capacidad buffer del suelo (Wong *et al.*, 1998; Naramabuye y Haynes, 2006) y remediar otro tipo de problemas como una alta Da ( $1,46 \text{ g cm}^{-3}$ ) y baja retención de humedad (1%, 2% y 3%) en suelos compactados (Llique y Guerrero, 2014), así mismo, mejora las condiciones fisicoquímicas y biológicas, dado que, las enmiendas orgánicas son una principal fuente de nitrógeno y carbono que al ser mineralizada por parte de los microorganismos, como ocurrió en este tratamiento, ostentan mejores cambios en relación con otras propiedades (CIC, pH y MO) (Salamanca y Sadeghian, 2005; Smith y Smith, 2007).

Lo anterior, se relaciona con lo planteado por de Montes *et al.* (2015), quienes encontraron que durante el proceso de descomposición de una enmienda orgánica (gallinaza), los ácidos húmicos y fúlvicos, suministraron una fuente de carbono, energía y nutrientes (Ca, Mg, K) necesarios para favorecer la disponibilidad y absorción por parte de las plantas (Restrepo, 1996; Romero, 2013; Soto *et al.*, 2014); los cuales presentaron efectos positivos sobre la MO, la CIC, la actividad de los microorganismos, la estructura (formación de agregados), la porosidad, la Da, la humedad y la aireación (Moreno *et al.*, 2014; Orozco *et al.*, 2016). Adicionalmente, Flores y Méndez (2009), descubrieron que la incorporación de un compost, aumentó el contenido de MO desde 1,88% hasta 4,74%, considerado como un nivel medio, que posiblemente contribuyó al mejoramiento de sus características físicas (Jaramillo, 2002).

De igual manera, la mineralización de la enmienda orgánica depende, primeramente de su relación C/N, del tiempo de incorporación de dicha enmienda y de ciertos factores como la composición de los organis-

mos del suelo, la textura (franco arenosa), el pH (6,5), la calidad y contenido de MO incorporada ( $1,5 \text{ kg m}^{-2}$ ), la accesibilidad al sustrato y el ambiente físico (condiciones de aireación y humedad (6,82%), los cuales poseen una influencia directa sobre el desarrollo y la actividad de los microorganismos (Jhonstom, 1991; Jenkinson, 1992; Strahm y Harrison, 2008; Sadeghian, 2008; Cardona *et al.*, 2017) y sobre los parámetros evaluados, presentando cambios más significativos en el T2. Respecto a ello, Castellanos *et al.* (1996), señalaron que existen cambios en las propiedades (MO, pH, Da, porosidad), que son ocasionadas por los aportes orgánicos, de las cuales el 70% se mineraliza rápidamente en uno o dos años y el resto se transforma en humus, se incorpora al suelo y produce un efecto benéfico en la estructura a partir del primer año de aplicación.

Por otra parte, el T3 en el M1 (10,14%) y en el M2 (10,23%), presentaron valores inferiores al T2, a pesar de contener mayor dosis de enmienda orgánica ( $2 \text{ kg m}^{-2}$ ), debido a que, posiblemente ostentó una baja mineralización por influencia de los compuestos lignocelulosicos (pasto kikuyo y aserrín), que se encontraban en mayor proporción en relación a los demás tratamientos, puesto que, la descomposición microbiana de la lignina, es mucho más lenta debido a que este compuesto posee una estructura compleja a nivel estructural, que la protegen de una manera eficaz del ataque interno de enzimas, lo que convierte a la lignina en una fuente de energía de baja calidad (menor contenido de N y C), y que solo es degradada por un grupo de hongos, que la desintegran muy lentamente (Smith y Smith, 2007).

Lo anteriormente mencionado, se relaciona con el estudio realizado por Mollinedo (2006), el cual incorporó a un suelo una cantidad de  $4 \text{ kg m}^{-2}$  de compost de estiércol de cuy, donde, fue posible apreciar que esta dosis no modificó significativamente las propiedades químicas como el contenido de materia orgánica en el T4 (18,3%) respecto al control (15,3%). Debido a la influencia de los complejos lignocelulosicos y en menor medida a los bajos contenidos de nutrientes (N, P, K) de la fuente, los cuales originaron una menor velocidad de descomposición por parte de los microorganismos y por ende permitieron su acumulación en la capa superficial del suelo.

Así mismo, este proceso posiblemente puede ser afectado por ciertos factores climáticos como la temperatura de la zona de estudio ( $13 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y humedad, dado que, esta condición permite que exista una mayor acumulación de la enmienda orgánica en la capa superficial del suelo y por ende una disminución de la tasa de descomposición, debido a que, las bajas temperaturas reducen o inhiben la actividad microbiana así como también lo hacen las condiciones de baja humedad (Smith y Smith, 2007).

En cuanto al T1 al ostentar una menor cantidad de

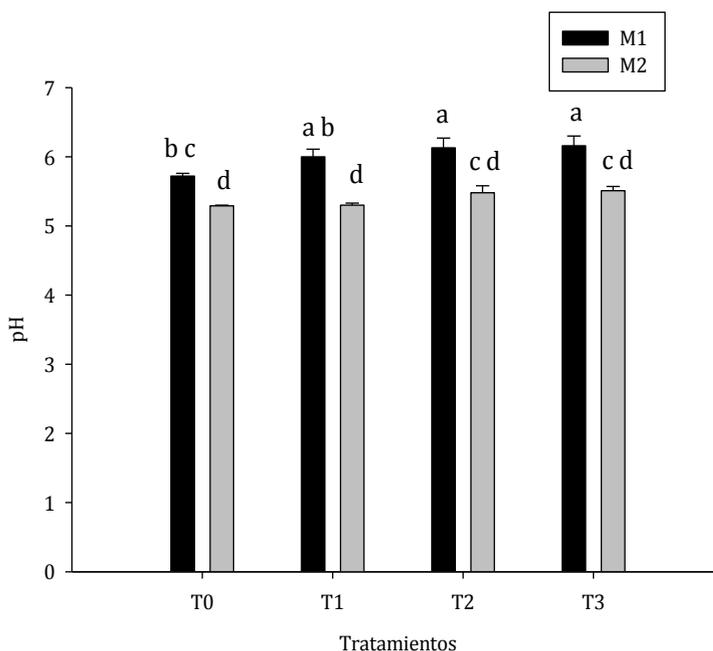
enmienda orgánica ( $1 \text{ kg m}^{-2}$ ), al presentar una baja concentración de residuos (pasto Kikuyo y aserrín) y una relación C/N de 12,85 (Barreros, 2017), su proceso de mineralización fue más rápido durante las primeras semanas, dado que, los microorganismos posiblemente presentaron mayor accesibilidad a este sustrato, es decir que, al contener menor lignina, los microorganismos la descomponen en mayor proporción y actúan sobre otros compuestos carbonados (Rodríguez y Matus, 1989; Levi *et al.*, 1990; FAO, 2002; Meléndez, 2003; Abril *et al.*, 2014). Permitiendo llevar a cabo un agotamiento de la enmienda orgánica y por ende un decaimiento de la población microbiana (Fuentes y Gonzáles, 2007). Por lo cual, no generó cambios significativos en las propiedades. Lo anterior es corroborado por Tarapues (2016), quien encontró que los microorganismos descomponen carbohidratos, proteínas y monosacáridos existentes en el compostaje elaborado a base de los residuos sólidos de la cadena productiva del cuy, el cual, presentó efectos positivos sobre el contenido de MO.

### pH

Por otra parte, se presentó un incremento del pH ( $p < 0,05$ ) en el M1 (Figura 3), en cada uno de los tratamientos T1 (6), T2 (6,13), T3 (6,16), en comparación al T0 (5,72). Esto debido posiblemente a que la dosis de la enmienda orgánica presentó un efecto positivo

sobre este parámetro, principalmente en la capacidad buffer del suelo, dado que, en el estudio realizado por Naramabuye y Haynes (2006), corroboraron que los abonos orgánicos permitieron llevar a cabo una disminución de la acidez del suelo y por ende un aumento en el pH (Babou *et al.*, 2007). Lo anterior, se atribuye al proceso de descomposición microbiana de los estiércoles de animales, que contienen muchos compuestos orgánicos como los ácidos carboxílicos, asociados con el material húmico, donde los aniones presentes en estos se descarboxilan, dado que, pueden consumir protones y a su vez controlar las características de amortiguación y en gran medida, la capacidad para neutralizar la acidez cuando se añaden al suelo (Wong *et al.*, 1998; Naramabuye y Haynes, 2006).

Por otra parte, al llevarse a cabo el proceso mineralización de la enmienda orgánica, esta aportó al suelo cationes básicas ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^{+}$ ) (Tarapues, 2016), que permitieron mejorar los niveles de fertilidad del suelo. Lo anterior, es corroborado por Del Pino *et al.* (2008), quienes encontraron que los suelos incorporados con abonos orgánicos (estiércol de aves), aportaron bases cambiables ( $100,3 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca;  $9,7 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg;  $11,3 \text{ g kg}^{-1}$  de K y  $3 \text{ g kg}^{-1}$  de Na) (Tester, 1990; Lungu *et al.*, 1993; Jiménez *et al.*, 2004), que promueve un ambiente favorable (suelo con pH neutro) al desarrollo de los microorganismos como bacterias (nitrosomonas y nitrobacter), hongos, algas, actinomicetos y detritívoros (Curtin *et al.*, 1998; Smith y Smith, 2007; Calvo *et al.*,



**Figura 3.** pH en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). Barras indican  $\pm$  error estándar (T0, T1, T2 y T3 para M1 y M2;  $n = 3$ ).

**Figure 3.** pH in the different treatments. Different letters indicate statistically significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). Bars indicate  $\pm$  standard error (T0, T1, T2 y T3 for M1 and M2;  $n = 3$ ).

2008), dado que, en el estudio realizado por Ramos y Zúñiga (2008), encontraron que el pH a medida que se acercaba a la neutralidad, influye positivamente en la actividad de la microbiota. Los cuales, posiblemente se pueden adaptar también en ambientes ácidos (Calvo *et al.*, 2008; Delgado, 2019).

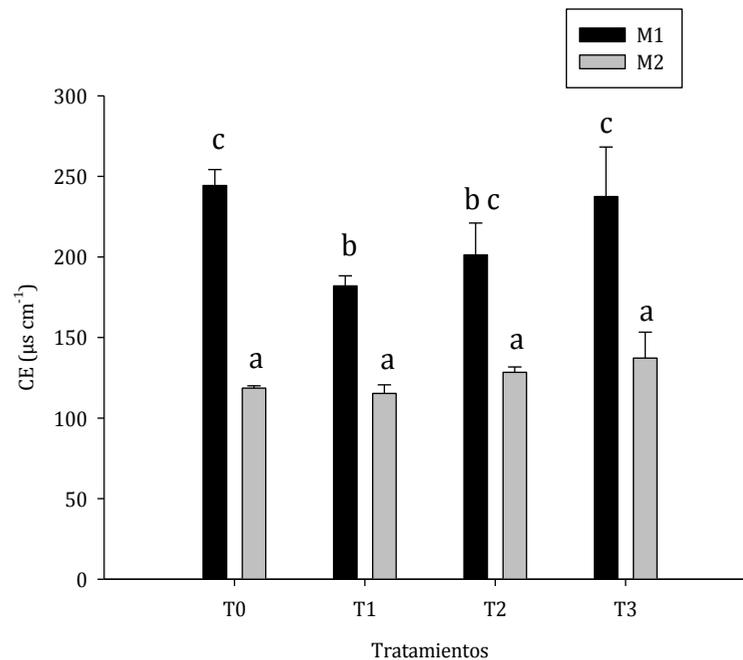
Por el contrario, en el M2 (210 días), los valores de pH en el T1 (5,3), T2 (5,48) y T3 (5,51), disminuyeron respecto al M1 (120 días) ( $p \leq 0,05$ ) e incrementaron en relación al T0 (5,29), lo cual indica que no presentaron diferencias significativas respecto al T0 ( $p > 0,05$ ). Esta variación se debe principalmente al efecto que presentó tanto el tiempo de muestreo como la dosis aplicada de enmienda orgánica al suelo, puesto que, al llevarse a cabo el proceso de mineralización hasta el segundo muestreo, en la primera etapa los microorganismos autótrofos transforman los componentes de N orgánico en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (amonificación) y en la segunda etapa, ciertos microorganismos (Nitrosomas) oxidan al amonio para convertirlo en nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y posteriormente los nitritos transformarlos a nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) (Nitrobacter) (nitrificación), produciendo una liberación de iones ( $\text{H}^+$ ) y por lo tanto una concentración de estos en la solución del suelo, lo que permite un desplazamiento de los demás cationes como el  $\text{Ca}^{+2}$ , de los sitios de intercambio y por ende una acidificación y reducción del pH (Cabrera, 2007; Smith y Smith, 2007; Huang y Chen, 2009; Cardona *et al.*, 2017). Lo anterior concuerda con Del Pino *et al.* (2008), quienes encon-

traron que el tratamiento aplicado con compost (cama de pollo), presentó un pH de 5,74, superior al testigo (M1), y 5,36 (M2). Lo cual permite inferir que, las bases que posiblemente presentó la enmienda orgánica son desplazadas por los iones ( $\text{H}^+$ ) y captadas por las raíces del pasto Kikuyo.

### Conductividad eléctrica

En lo que se refiere a la CE, es posible inferir que en el M1, en cada uno de los tratamientos sus valores aumentaron respecto al M2 ( $p \leq 0,05$ ) (Figura 4).

Lo anterior se debe al efecto del tiempo de muestreo, puesto que, al llevar a cabo el proceso de mineralización de la enmienda orgánica durante el M1 (120 días), los microorganismos transformaron los compuestos orgánicos a inorgánicos, por lo cual, posiblemente liberó altas cantidades de cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ) asociados con aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ ), lo que ocasionó un incremento en la concentración de las sales solubles (minerales) en la solución del suelo (Hernández *et al.*, 2009). Razón por la cual, el T3-M1 aumentó su valor ( $237,43 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) respecto al T3-M2 ( $137,23 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). Sin embargo esta CE se considera baja, dado que, se encuentra por debajo del valor establecido por Jones (1997) ( $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), lo cual quiere decir que, es una cantidad no tóxica para las plantas. En referencia a lo anterior, Trejo *et al.* (2013), encontraron que la aplicación de purines (bovino), incrementó la CE



**Figura 4.** Conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). Barras indican  $\pm$  error estándar (T0, T1, T2 y T3 para M1 y M2;  $n = 3$ ).

**Figure 4.** Electrical conductivity in the different treatments. Different letters indicate statistically significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). Bars indicate  $\pm$  standard error (T0, T1, T2 y T3 for M1 and M2;  $n = 3$ ).

(8000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) en el tratamiento con mayor dosis, dado que, contiene altas concentraciones de sales solubles, principalmente cloruro de sodio, que puede incrementar la salinidad del suelo (Lehrsch y Kincaid, 2007). Cabe resaltar que, por cada tonelada de estiércol aplicado al suelo, éste recibe una cantidad de 15 a 50 kg de sales (Castellanos, 1986), que por lo general puede variar su concentración dependiendo de la calidad del estiércol (desechos orgánicos sólidos) (Tarapues, 2016). Por el contrario, Flores y Méndez (2009), encontraron que la incorporación de un compost, disminuyó el valor de CE pasando de 8200  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (muy salino), hasta 1390  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (no salino), lo que permite inferir que, el T1, T2 y T3 en el M2, al incorporarse con una enmienda orgánica y al ubicarse en un suelo ácido, disminuyó el valor de CE (Jiménez *et al.*, 2004).

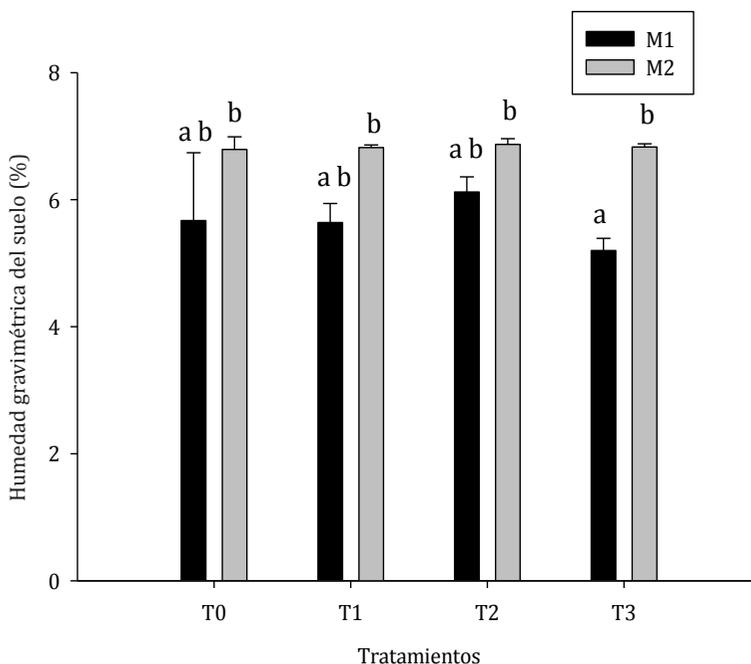
Efecto de la cuyinaza sobre las propiedades físicas en los diferentes tratamientos

### Contenido de humedad gravimétrica

En la Figura 5, es posible visualizar que el mayor incremento en el porcentaje de humedad gravimétrica de agua en el suelo después de la aplicación de la enmienda orgánica, se encontró en el T3-M2 (6,87%) y el menor contenido se presentó en el T3-M1 (5,19%) ( $p \leq 0,05$ ). Lo anterior, permite inferir que el tiempo de muestreo fue el factor que provocó un efecto positivo

sobre este parámetro, dado que, durante el segundo muestreo (210 días) posiblemente existió una mayor mineralización de la enmienda orgánica, por lo cual, los materiales orgánicos (aserrín y residuos de pasto kikuyo) y la formación de humus, probablemente influyeron en la retención de humedad, sobre todo en época de lluvias (Salazar *et al.*, 2003; Huang, 2004).

Lo anterior concuerda con el estudio realizado por Orozco *et al.* (2016), los cuales, descubrieron que la aplicación de abonos orgánicos, influyeron en el contenido de MO y por lo tanto en la capacidad de almacenamiento del agua, obteniendo un valor de 5,31% (M1) y 5,86% (M2). Esto, debido a el enlace mutuo que existe entre las partículas del suelo (minerales de arcilla como el alofán), por acción de diferentes materiales cementantes relevantes en suelos de origen volcánico como humus, coloides inorgánicos y óxidos (Al, Fe) (complejos órgano-minerales) (Liebig *et al.*, 2004; Lizcano *et al.*, 2006), los cuales, permitieron establecer una mayor superficie de contacto y como resultado de ello, una mayor estabilidad de dichas partículas, una mayor actividad coloidal, un mayor desarrollo de los microorganismos, debido a la deposición de polisacáridos y la formación de materiales húmicos degradados que influyen fuertemente en la estabilidad estructural y permiten que la microfauna que los producen tengan más alimento para ejercer su actividad metabólica de manera continua (Baver *et al.*, 1972; Carter *et al.*, 1986;



**Figura 5.** Contenido de humedad en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). Barras indican  $\pm$  error estándar (T0, T1, T2 y T3 para M1 y M2;  $n = 3$ ).

**Figure 5.** Moisture content in the different treatments. Different letters indicate statistically significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). Bars indicate  $\pm$  standard error (T0, T1, T2 y T3 for M1 and M2;  $n = 3$ ).

Calderón, 1996; Gravito, 1998; Brady y Weil, 1999; López *et al.*, 2001; Aslantas *et al.*, 2007; Ibáñez, 2016), para incrementar la tasa de descomposición del sustrato (Arguello, 1991). Lo anterior, se relaciona con el estudio realizado por Ramos y Zúñiga (2008), los cuales encontraron que, las bacterias ascienden en porcentajes de humedad de 5 a 18%, dado que, favoreció la actividad de los microorganismos en un suelo agrícola y su capacidad para almacenar y retener agua para el crecimiento de las plantas (Cole, 1993; Huang, 2004).

Cabe destacar que, del total de las aportaciones orgánicas, solo el 70% se mineraliza rápidamente, mientras que a largo plazo el resto se transforma en humus, el cual, es incorporado al suelo (Castellanos *et al.*, 1996), y permite retener entre 4 y 6 veces más agua que su propio peso (Salcedo *et al.*, 2007), debido a la producción de una superficie acolchada que reduce las pérdidas directas de humedad por evaporación (Castellanos, 1982; López *et al.*, 2000). Es por ello que, existen suelos Vertisoles y Andisoles, que presentan una buena capacidad de retención de humedad (13%), la cual es determinada con el potencial matricial, que permite que exista una fuerza de atracción entre la fase sólida del suelo y la líquida (Bustamante, 1986), que a su vez se relaciona con una mayor interacción entre los materiales orgánicos y la matriz arcillosa (alofan o imogolita), que promueve una mejor estructura (Hillel, 1998; Bonilla y Cancino, 2001; Yariv y Michaelian, 2002).

Por otra parte, el T3-M1, a pesar de contener una mayor dosis de enmienda orgánica, mostró una menor humedad en relación a los demás tratamientos, lo anterior, posiblemente se encuentre relacionado con el lento proceso de mineralización de la enmienda llevado a cabo en los 120 días (Yariv y Michaelian, 2002; Lado *et al.*, 2004) y la capacidad hidrofóbica (repelencia del agua) que presenta la superficie del suelo, puesto que, los materiales orgánicos provenientes de la enmienda probablemente liberaron y acumularon compuestos hidrofóbicos, los cuales, originaron un recubrimiento sobre las partículas minerales y generaron una menor adhesión del agua hacia los sólidos (Bachmann, 1998; Doerr, 2000; Bachmann y Van der Ploeg, 2002; Ellerbrock *et al.*, 2005; Cuevas, 2006; Hallett, 2008), permitiendo que exista una reducción de la infiltración, una baja humectación y por ende, un incremento de la escorrentía y la susceptibilidad a la erosión (Hallett y Young, 1999; Cuevas, 2006; Schaumann *et al.*, 2007).

Caso contrario ocurrió en el estudio realizado por Carrasco (2017), el cual, encontró que la adición de una enmienda orgánica (caprinaza) mostró una mejora en la repelencia del suelo, como consecuencia del incremento de la MO, puesto que, presenta un efecto positivo a largo plazo sobre la estabilidad estructural, la cual, le otorga un aumento de la hidrofobicidad al agregado, lo que limita su humedecimiento rápido y previene la ruptura por escape de aire y por humectación (Chenu

*et al.*, 2000; Abiven *et al.*, 2009).

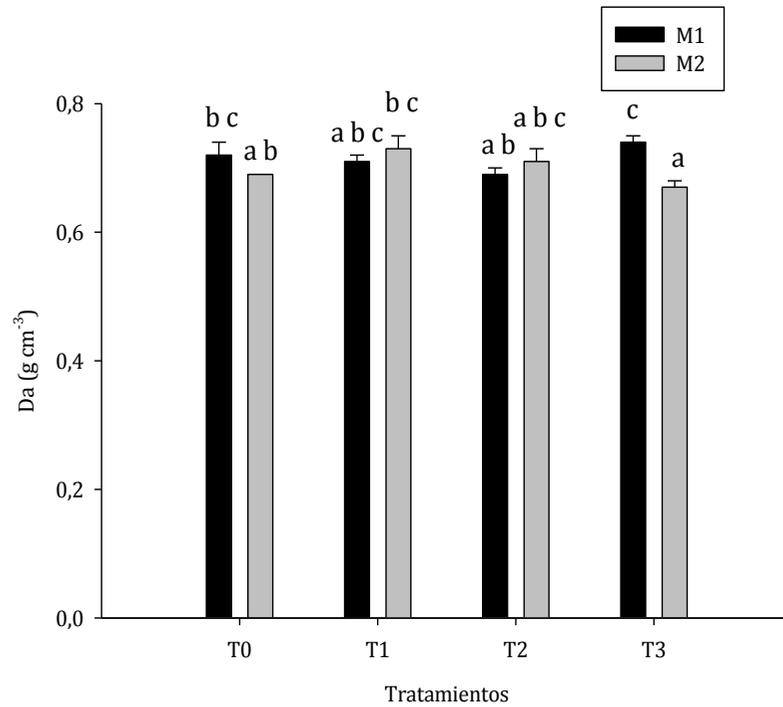
### **Densidad aparente y porosidad**

En la Figura 6, es posible observar que el menor valor de  $D_a$  se presentó en el T3-M2 (0,67 g cm<sup>-3</sup>), por consiguiente, en la Figura 7, fue este tratamiento el que ostentó una mayor porosidad (70,41%). En cuanto a la mayor  $D_a$ , esta correspondió al T3-M1 (0,73 g cm<sup>-3</sup>), presentando la menor porosidad de esta investigación con un valor de 65,47%. Cabe destacar que, la densidad en el T1-M1 (0,71 g cm<sup>-3</sup>) y M2 (0,73 g cm<sup>-3</sup>); T2-M1 (0,69 g cm<sup>-3</sup>) y M2 (0,71 g cm<sup>-3</sup>); T3-M1 (0,74 g cm<sup>-3</sup>) y porosidad en el T1-M1 (67,19%) y M2 (67,17%); T2-M1 (68,36%) y M2 (66,71%); T3-M1 (65,47%) no presentaron diferencias estadísticas respecto a la  $D_a$  del T0-M1 (0,72 g cm<sup>-3</sup>) y M2 (0,69 g cm<sup>-3</sup>) y a la porosidad del T0-M1 (66,49%) y M2 (67,71%) respectivamente ( $p > 0,05$ ). A excepción del T3-M2, donde la variación de la  $D_a$  (0,67 g cm<sup>-3</sup>) y porosidad (70,41%) estadísticamente mostraron efectos positivos en este tratamiento a través de la interacción existente entre el tiempo de muestreo (210 días) y la dosis de la enmienda orgánica incorporada al suelo (2 kg m<sup>-2</sup>), razón por la cual, fue significativamente superior al T0 (M1 y M2) y al T3-M1 ( $p < 0,05$ ).

Este comportamiento se debe principalmente al proceso de mineralización llevado a cabo durante el transcurso de este tiempo, dado que, posiblemente permitió un mayor aporte de polisacáridos, como resultado de la descomposición de los materiales orgánicos, los cuales actúan como verdaderos materiales cementantes que favorecen eficientemente la unión de partículas (arcillas), permitiendo mejorar la estabilidad de los agregados (Havlin *et al.*, 1999; Casas, 2007).

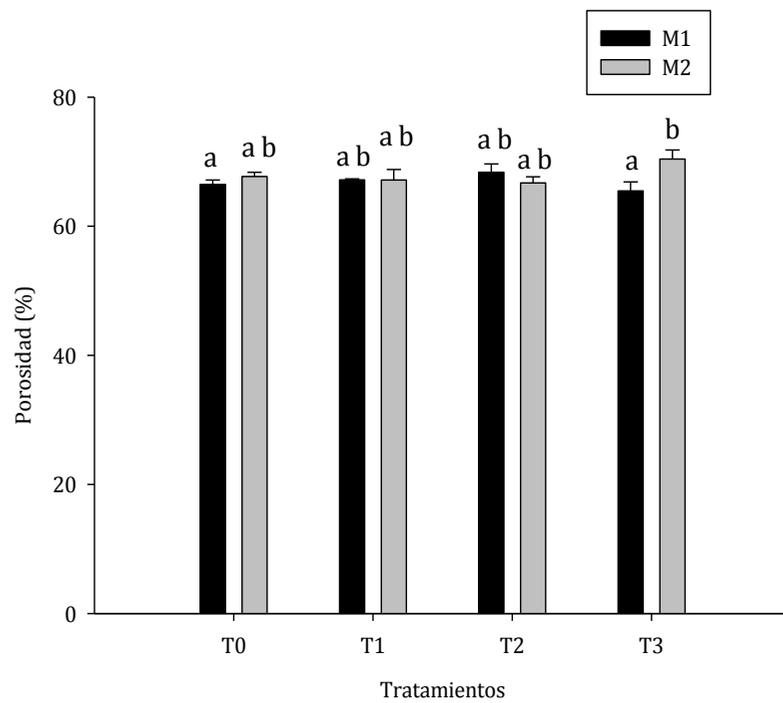
Respecto a ello, Carrasco (2017), encontró que la adición de una enmienda orgánica (caprinaza), aumentó el contenido de MO, y por ende mejoró a largo plazo las características físicas del suelo (porosidad y  $D_a$ ), repercutiendo de una manera positiva en el aumento en la estabilidad de los microagregados y en la funcionalidad del sistema poroso. Razón por la cual, los resultados son más evidentes a nivel de macroagregados, debido a que requieren de un mayor tiempo de residencia de la enmienda para lograr efectos significativos (Six *et al.*, 2004). Lo anterior concuerda con el presente estudio, dado que, el T3-M2 requirió mayor tiempo de descomposición de la enmienda para presentar un efecto positivo en la  $D_a$  y porosidad (Abiven *et al.*, 2009).

De igual manera, la incorporación de una enmienda orgánica en grandes volúmenes posiblemente provoca en el largo plazo una disminución de la  $D_a$  y consecuentemente el aumento en la porosidad (Seguel *et al.*, 2013), permitiendo mejorar la estabilidad estructural, la aireación e infiltración del agua (Bruce *et al.*, 1992; Le Bissonnais y Arrouays, 1997), y por ende el conte-



**Figura 6.** Densidad aparente en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). Barras indican  $\pm$  error estándar (T0, T1, T2 y T3 para M1 y M2;  $n = 3$ ).

**Figure 6.** Bulk density in the different treatments. Different letters indicate statistically significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). Bars indicate  $\pm$  standard error (T0, T1, T2 y T3 for M1 and M2;  $n = 3$ ).



**Figura 7.** Porosidad total en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). Barras indican  $\pm$  error estándar (T0, T1, T2 y T3 para M1 y M2;  $n = 3$ ).

**Figure 7.** Total porosity in the different treatments. Different letters indicate statistically significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). Bars indicate  $\pm$  standard error (T0, T1, T2 y T3 for M1 and M2;  $n = 3$ ).

nido de agua para las plantas (Kehr, 1983; Novoa *et al.*, 1991; Hudson, 1994; Kay *et al.*, 1997).

Contrario a lo anterior, en la investigación realizada por Sarasty *et al.* (2017), encontraron que la incorporación de una enmienda orgánica (bovinaza) a largo plazo (1 año) presentó efectos negativos en el suelo, dado que, a través del tiempo ha conllevado a un deterioro en la estabilidad estructural, una disminución en la porosidad y por ende ha permitido ser más susceptible a procesos degradativos como la erosión (Malagón, 1998; Murray *et al.*, 2014).

Por otra parte, la disminución de la porosidad y el incremento de la Da en el T3-M1, se encuentran influenciados por el tiempo de muestreo y la cantidad de enmienda orgánica incorporada (dosis), en vista que, se aplicó una mayor cantidad de residuos como aserrín y pasto kikuyo, los cuales no se descompusieron en su totalidad en el primer muestreo (120 días) y por lo tanto permanecieron intactos, llevando a cabo una acumulación de estos materiales en la superficie del suelo (García *et al.*, 2012).

Por el contrario, en el estudio realizado por Cairo y Álvarez (2017), quienes encontraron que la incorporación de una enmienda orgánica (bovinaza), la cual fue descompuesta durante un periodo de un año, presentó un efecto positivo sobre la formación y estabilidad de los agregados (mejor estructura, mayor porosidad y disminución de la Da) en un periodo de corto tiempo (cuatro meses), que se determinó en la calidad de las sustancias húmicas formadas y en la contribución de la porosidad fina por parte de los materiales orgánicos (Kay y Angers, 2000; Cairo *et al.*, 2012; Seguel *et al.*, 2013). Razón por la cual, los residuos frescos cuya descomposición se lleva a cabo a los 40 y 180 días, generan polisacáridos que poseen un efecto mayor sobre las propiedades fisicoquímicas en el largo plazo (Bohn *et al.*, 1993; Larney y Angers, 2012).

En relación a las porosidades en el T0-M1 y en el T0-M2, fueron consideradas como excelentes (Jaramillo, 2002), puesto que, posiblemente influyó la gran concentración de raicillas y tallos gruesos del pasto kikuyo, que al descomponerse permitieron obtener una buena red de canales (Vicuña, 1985), que influyeron positivamente en el incremento de la porosidad y en la disminución de la Da, la cual presenta una relación inversamente proporcional al contenido de MO (Shaxson y Barber, 2005).

Por otra parte, Mollinedo (2006), descubrió que la aplicación de enmiendas, no modificaron las propiedades físicas (Da, porosidad y humedad) de un suelo aluvial reciente, puesto que, la Da en los tratamientos mantuvo valores comprendidos entre 1,57 g cm<sup>-3</sup> y 1,47 g cm<sup>-3</sup>. Lo anterior, se relaciona con la presente investigación, dado que, la Da en el T1-M1 (0,71 g cm<sup>-3</sup>), T2-M1 (0,69 g cm<sup>-3</sup>) como en el T1-M2 (0,73 g cm<sup>-3</sup>), y T2-M2 (0,71 g cm<sup>-3</sup>), no presentaron diferencias ( $p >$

0,05), en un periodo de corto tiempo (4 meses), por lo cual, este suelo al ser derivado de cenizas volcánicas, y al estar sometido al pisoteo de ganado vacuno, tiende a recuperar sus funciones a través del tiempo (Ivelic-Sáez *et al.*, 2015).

En otro orden de ideas, es de vital importancia tener en cuenta la interacción entre el tiempo de muestreo y la dosis de aplicación de las enmiendas orgánicas, principalmente en las propiedades físicas (Da y porosidad), puesto que, si se excede de estas dosis (entre 1 y 2 kg m<sup>-2</sup>) al año, según el SAG (2014), puede impactar negativamente el suelo y disminuir su calidad. En vista que, su acumulación en la superficie, posiblemente puede afectar la porosidad, disminuyendo el porcentaje de macroporos por taponamiento, provocando una menor tasa de difusión del oxígeno, afectando la estructura (estabilidad de los agregados) y la capacidad de retención de agua (degradación física) (García *et al.*, 2012; Alcaraz, 2018). De modo que, las causas principales de las complicaciones tanto en las propiedades físicas como en las químicas son las inadecuadas prácticas de labranza y de aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo que se realizan por varios años, así como también, el proceso de compostaje y la calidad de la enmienda orgánica incorporada.

## CONCLUSIONES

Se resalta el efecto positivo que presenta la cuyinaza, principalmente el tratamiento 2 con una dosis de 1,5 kg m<sup>-2</sup>, que elevó el contenido de MO en el suelo. Así mismo, el tratamiento 3 en el M2 (210 días), que sobresalió con sus mejores resultados sobre las propiedades físicas como Da, porosidad y humedad con una dosis de 2 kg m<sup>-2</sup>.

La incorporación a largo plazo de una enmienda orgánica (2 kg m<sup>-2</sup>), ostenta cambios más significativos en las propiedades químicas (>MO, pH, >CIC), y en las propiedades físicas (<Da, >porosidad y humedad), las cuales son responsables de mejorar la estructura y la calidad del suelo.

## REFERENCIAS

- Abiven, S., Menasseri, S., Chenu, C., 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability-A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 41 (1), 1-12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071708003234>.
- Abril, A., Noe, L., Filippini, M., 2014. Manejo de enmiendas para restaurar la materia orgánica del suelo en Oasis de regadío de Mendoza, Argentina. *Investigaciones agropecuarias* 40 (1), 83-91. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/544>.
- Aguirre, D., Navia, J., Ordoñez, Y., 2010. Evaluación de algunas propiedades físicas en suelos con diferentes usos en sistemas productivos del Altiplano de Pasto, Departam-

- mento de Nariño. XII congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad de Nariño, pp. 1–13. <https://bit.ly/2Y3gJZk>.
- Alcaraz, R., 2018. Materia orgánica. Consecuencias de su acumulación. <https://www.tiloom.com/materia-organica-ii-consecuencias-de-su-acumulacion/> (acceso, 05.10.19).
- Arguello, H., 1991. La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y micro climáticos. *Agronomía Colombiana* 8 (2), 384–388. <http://www.bdigital.unal.edu.co/24027/1/21129-71663-1-PB.pdf>.
- Aslantas, R., Cakmakci, R., Sahin, F., 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae* 111, 371–377. <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S0304423806005012>.
- Babou, O., Shiow, T., Zeng, Y., 2007. Relationship between compost pH buffer capacity and P content on P availability in a virgin Ultisol. *Soil Science* 172, 56–68. [https://journals.iww.com/soilsci/Abstract/2007/01000/RELATIONSHIP\\_BETWEEN\\_COMPOST\\_PH\\_BUFFER\\_CAPACITY.7.aspx](https://journals.iww.com/soilsci/Abstract/2007/01000/RELATIONSHIP_BETWEEN_COMPOST_PH_BUFFER_CAPACITY.7.aspx).
- Bachmann, J., 1998. Messung und simulation der anisothermen feuchtebewegung in benetzungsgehemmten mineralböden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161, 147–155. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.1998.3581610210>.
- Bachmann, J., Van der Ploeg, R., 2002. A review on recent developments in soil water retention theory: interfacial tension and temperature effects. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165 (4), 468–478. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1522-2624\(200208\)165:4%3C468::AID-JPLN468%3E3.0.CO;2-G](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1522-2624(200208)165:4%3C468::AID-JPLN468%3E3.0.CO;2-G).
- Barreros, E., 2017. Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de cuy (*Cavia porcellus*), enriquecido. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. 79 p.
- Baver, L.D., Garden, W., Garden, R., 1972. *Soil Physics*. 4<sup>th</sup> ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Bohn, H.L., Mcneal, B.L., O'connor, G.A., Orozco, M.S., 1993. *Química del suelo*. Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, Balderas, México.
- Bolaños, G., 2002. Revisión y ajuste ordinario Plan Básico de Ordenamiento Territorial. (2002-2015). Diagnostico general, municipio de Túquerres, departamento de Nariño. <https://vdocuments.mx/diagnostico-rural-tuquerres.html> (acceso, 10.10.2019).
- Bonilla, C., Cancino, J., 2001. Estimación del contenido de humedad del suelo mediante el empleo de funciones de pedotransferencia. *Agricultura Técnica* 61 (3), 326–338. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072001000300008](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072001000300008).
- Brady, N.C., Weil, R.R., 1999. *The nature and properties of soils*. 12<sup>th</sup> ed., Prentice Hall, New York.
- Bruce, R.R., Langdale, G.W., West, L.T., Miller, W.P., 1992. Soil surface modification by biomass inputs affecting rainfall infiltration. *Soil Science Society of American Journal* 56, 1614–1620. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/56/5/SS0560051614>.
- Bustamante, H., 1986. Potencial del agua del suelo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 39(2), 1–12. <http://www.bdigital.unal.edu.co/29716/1/28345-101390-1-PB.pdf>.
- Cabrera, M., 2007. Mineralización y nitrificación: Procesos claves en el ciclo del nitrógeno. Simposio Fertilidad, 1–18. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/0a4bde5a32364e1d032579050074666e/\\$FILE/Cabrera-%20Simposio%202007.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/0a4bde5a32364e1d032579050074666e/$FILE/Cabrera-%20Simposio%202007.pdf).
- Cairo, P., Álvarez, U., 2017. Efecto del estiércol en el suelo y en el cultivo de la soya (*Glycine max* (L.) Merr). *Pastos y Forrajes*. 40 (1), 37–42. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942017000100005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000100005).
- Cairo, P., Dávila, A., Colás, A., Reyes, A., Díaz, B., 2012. Uso alternativo de mejoradores de suelo, con énfasis en la materia orgánica y evaluación de indicadores de sostenibilidad (calidad de suelo). Informe Final de Proyecto Ramal del MINAGRI. Código, 68.
- Calderón, F., 1996. Estabilidad estructural del suelo. <http://www.drcalderonlabs.com/Labnews/LabnewsPDF/Labnews2.pdf> (acceso, 04.11.2109).
- Calvo, P., Meneses, L., Zuñiga, D., 2008. Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas Altoandinas. *Ecología Aplicada* 7 (1,2), 141–148. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a17v7n1-2.pdf>.
- Cardona, W., Gutiérrez, J., Monsalve, O., 2017. Factores que intervienen en el proceso de mineralización del nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11 (1), 1–10. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>.
- Carrasco, C., 2017. Evaluación de las propiedades físicas e hidráulicas de suelo en líneas de piedras con aplicación de estiércol de caprino. Tesis de pregrado Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile. 35 p.
- Carter, D.L., Mortland, M.M., Kemper, W.D., 1986. Specific surface area, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 413–423.
- Casas, R., 2007. Principales efectos de la intensificación y expansión de la agricultura sobre la salud de los suelos. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27741/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27741/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (acceso, 07.11.2019).
- Castellanos, R., 1986. Evaluación del estiércol de bovino y gallinaza como fuente de fósforo en el cultivo de alfalfa. *Agricultura Técnica en México* 12, 247–258. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=6313752&pid=S2007-0934201300050000600002&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6313752&pid=S2007-0934201300050000600002&lng=es).
- Castellanos, R., Etchevers, J., Aguilar, A., Salinas, R., 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades de un suelo en una región irrigada del norte de México. *Terra Latinoamericana* 14, 151–158.
- Castellanos, R., 1982. La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplica-

- ción de estiércoles. Seminarios Técnicos 7(8), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México, pp. 1–32. [https://www.researchgate.net/publication/41208406\\_Fertilizacion\\_organica\\_y\\_practicas\\_de\\_conservacion\\_sobre\\_el\\_rendimiento\\_de\\_sorgo\\_de\\_temporal](https://www.researchgate.net/publication/41208406_Fertilizacion_organica_y_practicas_de_conservacion_sobre_el_rendimiento_de_sorgo_de_temporal).
- Castillo, J.A., Navia, J.F., Menjivar, J.C., 2008. Estimación de la estabilidad estructural de dos suelos al sur de Colombia con diferentes tipos de manejo. *Acta Agronómica* 57 (1), 31–34.
- Ccapa, B., 2014. Criterios de estudio de suelos para zonas Altoandinas. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 57 p.
- Chenu, C., Le Bissonais, Y., Arrouays, D., 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 64 (4), 1479–1486. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/64/4/1479>.
- Cole, M., 1993. Soil quality as a component of environmental quality. Environmental statistic, assessment, and forecasting. Lewis. Boca Raton.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional. 2002–2012. <https://www.corpamag.gov.co/index.php/es/planeacion/111-pgar-2002-2012> (acceso, 09.08.19).
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), 2007. Plan de acción trienal (PAT) 2007 - 2009. <https://bit.ly/2zmPdI4> (acceso 09.08.19).
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), 2012. Plan de gestión ambiental regional. 2002 - 2012. <https://bit.ly/2GDJH7c> (acceso 09.08.19).
- Cuevas, J., 2006. Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de suelos volcánicos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 6 (2), 13–27. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912006000200002](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912006000200002)
- Curtin, D., Campbell, C., Jalil, A., 1998. Effects of acidity on mineralization: pH dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 57–64. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071797000941>
- Del Pino, A., Repetto, C., Mori, C., Perdomo, C., 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26 (1), 43–52. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792008000100006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000100006).
- Delgado, M., 2019. Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal. [https://www.oriusbiochem.com/escrito?nom=Los\\_microorganismos\\_del\\_suelo\\_en\\_la\\_nutricion\\_vegetal](https://www.oriusbiochem.com/escrito?nom=Los_microorganismos_del_suelo_en_la_nutricion_vegetal) (acceso 04.11.2019).
- Di Rienzo, J.A., 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Dommergues, Y., Manguot, F., 1970. *Écologie microbienne du sol*. Masson et Cie., édit. Paris.
- Ellerbrock, R., Gerke, H., Bachmann, J., Goebel M., 2005. Composition of organic matter fractions for explaining wettability of three forest soils. *Soil Science Society of America Journal* 69, 57–66. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/69/1/0057>.
- Eslava, J., López, V., Olaya, G., 1986. Los climas de Colombia (Sistema Caldas Lang). *Atmósfera* 7, 41–77. [http://documentacion.ideam.gov.co/cgibin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=28884&shelfbrowse\\_itemnumber=30177](http://documentacion.ideam.gov.co/cgibin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=28884&shelfbrowse_itemnumber=30177).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. *Los Fertilizantes y su uso*. 4ta ed. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, Paris.
- Flores, M., Méndez, M., 2009. Propuesta para el manejo sustentable de suelo mediante el uso de tres abonos orgánicos elaborados con materias primas vegetales en la Playa de Ambuquí, provincia de Imbabura. Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte. Ibarra. 90 p.
- Fuentes, W., Gonzáles, J., 2007. Estimación de la mineralización neta de nitrógeno del suelo en sistemas agroforestales y a pleno sol en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.), en el Pacífico de Nicaragua, Departamento de Carazo. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria. 98 p.
- Gallardo, J.F., 1980. El Humus. *Investigación y Ciencia* 46, 8–16.
- García, Y., Ramírez, W., Sánchez, S., 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35 (2), 125–138. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n2/pyf01212.pdf>
- Gravito, F., 1998. El humus y la fertilidad de los suelos. *El Tiempo*. <https://bit.ly/2vp727M> (acceso 10.07.19).
- Hallet, P., Young, L., 1999. Changes to water repellency of soil aggregates caused by substrate induced microbial activity. *European Journal of Soil Science* 35 (40), 518–524. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2389.1999.00214.x>.
- Hallett, P.D., 2008. A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency - An overview. *Soil and Water Resources* 3 (1), S21–S29. <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/01654.pdf>.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., 1999. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management*. 6th Ed. Prentice Hall, New York.
- Hernández, M., Leos, J., Preciado, P., Orona, I., García, J., García, J., Orozco, J., 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana* 27 (4), 329–336. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n4/v27n4a7.pdf>
- Hillel, D., 1998. *Environmental soil physics*. Academic Press, San Diego.
- Huang, C., Chen, Z., 2009. Carbon and nitrogen mineralization of sewage sludge compost in soils with a different initial pH. *Soil Science and Plant Nutrition* 55, 715–724. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1111/j.1747-0765.2009.00410.x>.
- Huang, P., 2004. Soil mineral - organic matter - microorganism interactions: fundamentals and impacts. *Advances in Agronomy* 82, 391–472. [https://www.researchgate.net/publication/222522489\\_Soil\\_mineral-organic\\_matter-microbe\\_interactions\\_Impacts\\_on\\_biogeochemical\\_processes\\_and\\_biodiversity\\_in\\_soils](https://www.researchgate.net/publication/222522489_Soil_mineral-organic_matter-microbe_interactions_Impacts_on_biogeochemical_processes_and_biodiversity_in_soils).
- Hudson, B., 1994. Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation* 49, 189–194. <http://www.jswconline.org/content/49/2/189>.

short.

- Ibáñez, J., 2016. Microorganismos y la Estabilidad de los Agregados del Suelo. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2016/03/14/146893> (acceso, 04.11.2019).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño. <https://bit.ly/2P3bDsg> (acceso 10.07.19).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 1996. Guía de muestreo. Bogotá, DC. <https://igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guademuestreo.pdf#overlay-context=es/contenido/tramites-y-servicios/informacion-de-clases-agrologicas> (acceso 09.07.19).
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (Intagri), 2001. Importancia del humus en la fertilidad de los suelos. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/importancia-de-humus-en-la-fertilidad-de-los-suelos> (acceso, 28.10.2019).
- Ivelic-Sáez, J., Zúñiga, F., Valle, S., López, I., Dec, D., Dörner, J., 2015. Functional resistance and resilience of the pore system of an andisol exposed to different strategies of pasture improvement under sheep grazing. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15 (3), 1-17. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-95162015000300010](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162015000300010).
- Jaramillo, D., 2002. Introducción a ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Jenkinson, D., 1992. La Materia Orgánica del Suelo: Evolución. Wild A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Mundi-Prensa, Madrid.
- Johnston, A.E., 1991. Soil fertility and soil organic matter, in: Wilson, W.S. (Ed.), *Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment* Royal Society of Chemistry (RSC), Cambridge, pp. 299-314.
- Jiménez, L., Larreal, M., Noguera, N., 2004. Efectos del estiércol bovino sobre las propiedades químicas de un ultisol degradado en el área de la Machiques Colon, estado Zulia. Caracas, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía* 21 (4), 1-10. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182004000400001](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182004000400001).
- Jones, J.B., 1997. *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower*. St. Lucie Press. Boca Raton.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., Bello, S., 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia* 24 (1), 49-61. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v24n1/art09.pdf>
- Kapland, D., Estes, G., 1985. Organic matter relationship to soil nutrient status and aluminum toxicity in alfalfa. *Agronomy Journal* 77, 735-738. <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/1474260>.
- Kay, B., Angers, D., 2000. Soil structure, in: Sumner, M. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton.
- Kay, B., Da Silva, A., Baldock, J., 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic C content: predictions using pedotransfer functions. *Canadian Journal of Soil Science* 77, 655-667. <https://www.nrcresearchpress.com/doi/10.4141/S96-094>
- Kehr, E., 1983. Efecto de diferentes enmiendas sobre la evolución de las propiedades físico-hídricas de un suelo arcilloso. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile. 67 p.
- Lado, M., Paz, A., Ben, M., 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, soil formation, and soil loss. *Soil Science Society of American Journal* 68, 935-942.
- Larney, F., Angers, D., 2012. The role of organic amendments in soil reclamation: A review. *Canadian Journal of Soil Science* 92, 19-38. <https://www.nrcresearchpress.com/doi/full/10.4141/cjss2010-064>.
- Le Bissonnais, Y., Arrouays, D., 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science* 48, 39-48. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB9718593>.
- Lehrsch, G., Kincaid, D., 2007. Compost and manure effects on fertilized corn silage yield and nitrogen uptake under irrigation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38, 2131-2147. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103620701548977>.
- Levi, R., Riffaldi, R., Saiozzi, A., 1990. Carbon mineralization in soil amended with different organic materials. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 31, 325-335. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167880990902312>.
- Liebig, M., Tanaka, D., Wienhold, B., 2004. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in northern Great Plains. *Soil & Tillage Research* 78, 131-141. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198704000364>.
- Lizcano, A., Herrera, M., Santamarina, J., 2006. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil* 6 (2), 167-198. [https://egel.kaust.edu.sa/Documents/Papers/Lizcano\\_2006a.pdf](https://egel.kaust.edu.sa/Documents/Papers/Lizcano_2006a.pdf).
- Llique, R., Guerrero, A., 2014. Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos. *Ciencia y Tecnología* 10 (4), 9-21. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNI-TRU/8212>
- López, J., Díaz, A., Martínez, E., Valdez, R., 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana* 10 (4), 292-299. <https://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art293-299.pdf>
- López, J., Gutiérrez, G., Berumen, S., 2000. Labranza de conservación usando coberturas de abono orgánico en alfalfa. *Terra Latinoamericana* 18 (2), 161-171. <https://www.chapingo.mx/terra/contenido/18/2/art161-171.pdf>.
- Lungu, O., Temba, B., Lungu, C., 1993. Effects of lime and farmyard manure on soil acidity and maize growth on acid Alfisol from Zambia Tropical agriculture-london then trinidad 4, 309-314. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TT9600094>.
- Malagón, D., 1998. El Recurso Suelo en Colombia. *Inventario y Problemática*. *Revista Académica Colombiana de la Ciencia de los Suelos* 22 (82), 13-52. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-de-la-academia-colombiana-de-ciencias-exactas-fisicas-y-naturales/articulo/el-recurso-suelo-en-colombia-inventario-y-problematica>.
- Meléndez, G., 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica

- del suelo. <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>.
- Mollinedo, D., 2006. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la materia orgánica en el cultivo de Lechuga cv. Dark Green Boston y las propiedades del suelo en Nievería, Lima. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 15 p.
- Montes, C., Muñoz, J., Muñoz, J., 2015. Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 13 (1), 73–82. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-35612015000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612015000100009).
- Moreno, A., García, G., Gutiérrez, P., Cano, R., Martínez, C., Márquez, H., Rodríguez, D., 2014. Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. Ecosistemas y Recursos 1 (2), 163–173. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-90282014000200007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200007).
- Murray, R., Orozco, M., Hernández, A., Lemus, C., Nájera, O., 2014. El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. Avances en Investigación Agropecuaria 18 (1), 23–31. <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2014/enero/2.pdf>.
- Naramabuye, F., Haynes, R., 2006. Effect of organic amendments on soil pH and Al solubility and use of laboratory indices to predict their liming effect. Soil Science, 171 (10), 754–763. [https://www.researchgate.net/publication/43471526\\_Effect\\_of\\_organic\\_amendments\\_on\\_soil\\_pH\\_and\\_Al\\_solubility\\_and\\_use\\_of\\_laboratory\\_indices\\_to\\_predict\\_their\\_liming\\_effect](https://www.researchgate.net/publication/43471526_Effect_of_organic_amendments_on_soil_pH_and_Al_solubility_and_use_of_laboratory_indices_to_predict_their_liming_effect).
- Novoa, R., Martínez, M., Letelier, E., 1991. Comparación de un sistema de fertilización mineral con uno de fertilización orgánica, en una rotación trigo-fréjol. Agricultura Técnica 51, 1–8. <http://www.chileanjar.cl/files/V5111A01-es.pdf>
- Orozco, A., Valverde, M., Martínez, R., Chávez, C., Benavides, R., 2016. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con manzano biofertilizado. Terra Latinoamericana 34 (4), 441–456. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000400441](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441).
- Pascual, R., Venegas, S., 2014. La materia orgánica del suelo. Papel de los microorganismos. Ciencias Ambientales 2, 1–11. <https://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf>.
- Pulido, H.G., Salazar, R.D., 2008. Análisis y diseño de experimentos, 2<sup>da</sup> ed. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería Universidad de Guadalajara, México.
- Ramírez, F., 2005. El muestreo de suelos. [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/muestreo\\_suelos.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/muestreo_suelos.pdf) (acceso, 1.10.2019).
- Ramos, E., Zúñiga, D., 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Ecología Aplicada 7 (1,2), 123–130. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a15v7n1-2.pdf>.
- Restrepo, J., 1996. Abonos orgánicos fermentados. Experiencias de agricultores en Centro América y Brasil. CEDECO-OIT. San José de Costa Rica.
- Rodríguez, J., Matus, F., 1989. Modelo simple para estimar el suministro de nitrógeno en el suelo. Ciencia e Investigación Agraria 16, 33–46. <http://www.rcia.uc.cl/index.php/rcia/article/view/1006/863>.
- Romero, F., 2013. Relación carbono nitrógeno en el proceso de lombricompostaje y su potencial nutrimental en jitomate. Tesis de magister, Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, Texcoco (México). 160 p.
- Romero, J., 2012. El bosque Alto-Andino: una oportunidad para llevar al educando al aprendizaje significativo a las estrategias de conservación. Tesis de magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 207 p.
- Sadeghian, K.S., 2008. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. Guía práctica. Boletín Técnico No 32. CENIFAFÉ. Chinchiná, Caldas, Colombia.
- Sadzawka, A., Carrasco, M.A., Grez, R., Mora, M., Flores, H., Neaman, A., 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N° 34, Santiago, Chile.
- Salamanca, A., Sadeghian, S., 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona Cafetera Colombiana. Cenicafé 56 (4), 381–397. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>
- Salazar, E., Beltrán, A., Fortis, M., Leos, J., Cueto, J., Vázquez, C., 2003. Mineralización de nitrógeno y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. Terra Latinoamericana 21 (4), 561–567. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321412.pdf>
- Salcedo, E., Galvis, A., Hernández, T., Rodríguez, R., Zamora, F., Bugarin, R., Carrillo, R., 2007. La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. Terra Latinoamericana 25 (4), 419–425. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57315558010.pdf>
- Sarasty, J., Ortega, J., Castillo, J., Chaves, G., 2017. Diagnóstico de problemas de manejo del suelo con abonos orgánicos utilizando un minisimulador de lluvia. Revista de Ciencias Agrícolas 34 (2), 46–61. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.71>
- Schaumann, G., Braun, B., Kirchner, D., Szewzyk, U., Grohmann, E., 2007. Influence of biofilms on the water repellency of urban soil samples. Hydrological Processes 21 (17), 2276–2284. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.6746>
- Seguel, O., García de Cortázar, V., Casanova, M., 2013. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. Agricultura Técnica 63 (2), 287–297. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072003000300008&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072003000300008&script=sci_arttext)
- Servicio Agrícola y Ganadero de Chile (SAG), 2014. Agricultura Orgánica Nacional. Bases Técnicas y situación actual. División de protección de recursos naturales renovables. Ministerio de Agricultura de Chile.
- Shaxson, F., Barber, R., 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, el significado de la porosidad del suelo. Boletín de suelo de la FAO 79. Roma.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, H., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil & Tillage Research 79 (1), 7–31. <https://www.sciencedirect.com>

- [com/science/article/pii/S0167198704000881](https://doi.org/10.1016/j.agro.2019.03.001)
- Skopp, J.M., 2000. Physical properties of primary particles, in: Sumner, M. (Ed.), Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Ratón.
- Smith, T.M., Smith, R.L., 2007. Ecología, 6<sup>ta</sup> ed. Pearson Educación. S.A. Madrid.
- Soto, G., Ramos, D., Terry, A., 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales 35 (4), 52–59. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362014000400007&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362014000400007&script=sci_arttext&tlng=pt).
- Strahm, B., Harrison, R., 2008. Controls on the sorption, desorption and mineralization of low-molecular-weight organic acids in variable-change soils. Soil Science Society of American Journal 72 (6), 1653–1664. <https://doi.org/10.1002/SSAJ1120070061653>
- Tarapues, A., 2016. Aprovechamiento de los residuos sólidos de la cadena productiva del cuy mediante compostaje, para su uso como bioabono en cultivos de forraje (alfalfa (*Medicago sativa*)) en la zona altoandina del departamento de Nariño. Tesis de postgrado en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales. 103 p.
- Tester, C., 1990. Organic amendments effects on physical and chemical properties of a sandy Soil. Soil Science Society of American Journal 54, 827–831. <https://doi.org/10.1002/SSAJ1120070061653>
- Trejo, H., Salazar, E., López, J., Vázquez, C., 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. Ciencias Agrícolas 4 (5), 727–738. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000500006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000500006&script=sci_arttext)
- Valdiviezo, W., Obregón, R., Bravo, M., 2012. Efecto del estiércol de cuy en el cultivo stevia (*Stevia rebaudiana*) bertoni en suelos degradados de Tingo María. Investigación y Amazonia 7 (2), 1–21. <http://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/viewFile/140/123>
- Vicuña, P., 1985. Pastos y forrajes de clima frío. SENA, Bogotá. <https://bit.ly/2ZEf8az> (acceso 04.06.19).
- Wong, M., Nortcliff, S., Swift, R., 1998. Method for determining the acid ameliorating capacity of plant residue compost, farmyard manure and peat applied to tropical soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 29, 2927–2937. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103629809370166>.
- Yariv, S., Michaelian, K., 2002. Structure and surface acidity of clay minerals. Organo-clay complexes and interactions. Marcel Dekker, New York.