

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y SU ASOCIACIÓN CON
LA MATERIA ORGÁNICA EN DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS,
NARIÑO**

**KELLY TATIANA BASTIDAS BURBANO
ANGIE JIMENA BOTINA ORTEGA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO - COLOMBIA
2018**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y SU ASOCIACIÓN CON
LA MATERIA ORGÁNICA EN DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS,
NARIÑO**

**KELLY TATIANA BASTIDAS BURBANO
ANGIE JIMENA BOTINA ORTEGA**

**Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar el título
INGENIERO AGROFORESTAL**

Presidente

JESÚS ANTONIO CASTILLO FRANCO, Ph.D

Jurados

JAIRO HERNÁN MOSQUERA, I.A, M.Sc.

JAIRO SARASTY BRAVO, I.AF.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO - COLOMBIA
2018**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de grado son de responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1 del acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1996, emanado del Honorable Consejo Académico de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

**JESÚS ANTONIO CASTILLO FRANCO
PRESIDENTE**

**JAIRO HERNÁN MOSQUERA
JURADO**

**JAIRO SARASTY BRAVO
JURADO**

San Juan de Pasto, noviembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios por permitirnos iniciar y culminar esta etapa de nuestras vidas y darnos las fuerzas para seguir adelante.

Jesús Castillo Franco nuestro presidente de Tesis por la dirección, apoyo y orientación en el desarrollo de este trabajo.

Jairo Sarasty Bravo jurado de tesis por su disposición, apoyo, colaboración y asesoramiento durante la ejecución de esta investigación.

Jairo Mosquera jurado de tesis por el asesoramiento y recomendaciones realizadas durante el desarrollo del trabajo.

German Chaves por su colaboración y apoyo para la realización de las pruebas físicas y químicas de suelo en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

Jorge Vélez Lozano por el tiempo, colaboración, asesoramiento y atención prestada

Laboratorios especializados por su colaboración y orientación en la realización de las pruebas físicas y químicas de suelos.

La Facultad de Ciencias Agrícolas, al Programa de Ingeniería Agroforestal y sus docentes los cuales permitieron realizar nuestra formación como profesionales.

A nuestros padres y demás familiares por todo su apoyo incondicional

Amigos y compañeros por todo su apoyo y colaboración en el desarrollo del trabajo de grado.

Todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron con la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

A Dios por guiarnos en este proceso y permitirnos avanzar un cada día

A nuestra familia por su inmenso amor, paciencia, consejos, acompañamiento y apoyo en todo momento.

A nuestros amigos por brindarnos su valiosa amistad y momentos compartidos.

A la Universidad de Nariño, a la Facultad de ciencias agrícolas, al Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales, a los docentes que contribuyeron a nuestra formación académica y humana.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	
1. MATERIALES Y MÉTODOS	14
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
2.1. Grupos	18
2.1.1. G1 (BOSQUE) ,.....	18
2.1.2. G2 (PASTURA Y SSP) ,.....	23
2.1.3. G3 (PAPA) ,.....	25
2.1.4. G4 (SSA) ,.....	27
2.2. Curvas de humedad	30
2.3. Materia orgánica a diferentes profundidades	31
3. CONCLUSIONES	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metodología de variables evaluadas en laboratorio.	15
Tabla 2. Coeficientes de correlación entre variables cuantitativas seleccionadas.	18
Tabla 3. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 1 (PASTURA)	31
Tabla 4. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 2 (SSP).....	31
Tabla 5. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 3 (PAPA).	32
Tabla 6. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 4 (SSA).	32
Tabla 7. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 5 (BOSQUE).	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conformación de grupos basados en un análisis clasificadorio de las variables cuantitativas en cinco tratamientos.....	18
Figura 2. Gráfica Porcentaje de Humedad Volumétrica.	30

GLOSARIO

Suelo: Recurso natural base para realizar las actividades agrícolas y sistemas de producción.

Andisol: Suelos de origen volcánico.

Sistema silvoagrícola: Sistema agroforestal integrado por árboles y cultivos agrícolas.

Sistema silvopastoril: Tipo de sistema agroforestal integrado por árboles y animales que interactúan en una misma área.

Características fisicoquímicas del suelo y su asociación con la materia orgánica en diferentes sistemas productivos, Nariño

Physicochemical characteristics of the soil and its association with the organic matter in different productive systems, Nariño

Kelly Bastidas Burbano¹, Angie Botina Ortega², Jesús Castillo Franco³

1. Ingeniera Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, kelly231195@hotmail.com
2. Ingeniera Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, angiejimena15@hotmail.com
3. Ingeniero Agrónomo. Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, jacf1995@gmail.com

RESUMEN

El estudio se realizó en un suelo Andisol, ubicado en el la vereda Botanilla, municipio de Pasto, departamento de Nariño. El objetivo consistió en evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo y su asociación con la materia orgánica en cuatro sistemas productivos; 1) pastura (PAS) de *P. clandestinum*; 2) sistema silvopastoril (SSP) de aliso con kikuyo (*Alnus acuminata* H.B.K con *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov); 3) monocultivo de papa (PAPA - *Solanum tuberosum* L); 4) sistema silvoagrícola (SSA) en arreglo de cultivo en callejones con aliso y como referencia un bosque secundario (BOS). A los resultados obtenidos se les calculó el coeficiente de variación (CV), las variables resultantes fueron sometidas a un Análisis de Componentes Principales (ACP) y finalmente se aplicó el Método de Clasificación Jerárquico. Como resultado se obtuvo que el 71,43% de la variabilidad total fue explicado por las variables N, MOS, C, CIC, Da, pH, P, Zn, Ca, Mg, K, infiltración y distribución de agregados, las cuales permitieron asociar los tratamientos en 4 grupos; 1 (BOS), 2 (PAS y SSP), 3 (PAPA) y 4 (SSA); además se evaluó el contenido de MOS (a 4 profundidades) y la humedad del suelo. Esta investigación permitió concluir que la materia orgánica influye directamente en las variables C, N,

Infiltración y CIC e inversamente en las propiedades distribución de agregados en seco, P, Zn, Ca, K, pH, Mg y Da.

Palabras clave: andisol, monocultivo, sistemas agroforestales.

ABSTRACT

The study was conducted in an Andisol soil, located in the Botanilla village, municipality of Pasto, department of Nariño. The objective was to evaluate the physicochemical properties of the soil and its association with organic matter in four production systems; 1) pasture (PAS) of *P. clandestinum*; 2) silvopastoral system (SSP) of alder with kikuyo (*Alnus acuminata* H.B.K with *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov); 3) potato monoculture (PAPA - *Solanum tuberosum* L); 4) silvoagrícola system (SSA) in alley cropping arrangement with alder and as a secondary forest reference (BOS). The coefficient of variation (CV) was calculated for the results obtained, the resulting variables were subjected to a Principal Component Analysis (PCA) and finally the Hierarchical Classification Method was applied. As a result, it was obtained that 71.43% of the total variability was explained by the variables N, MOS, C, CEC, Da, pH, P, Zn, Ca, Mg, K, infiltration and distribution of aggregates, which allowed associating the treatments in 4 groups; 1 (BOS), 2 (PAS and SSP), 3 (PAPA) and 4 (SSA); In addition, the OM content (4 depths) and soil moisture were evaluated. This investigation allowed to conclude that the organic matter directly influences the variables C, N, Infiltration and CIC and inversely in the distribution properties of dry aggregates, P, Zn, Ca, K, pH, Mg and Da.

Keywords: andisol, monoculture, agroforestry systems.

INTRODUCCIÓN

La presión progresiva del hombre sobre el suelo ha promovido el uso intensivo e inadecuado del mismo, provocando el deterioro y la degradación edáfica (López y Estrada, 2015). Según el IGAC (2012), actualmente un 15% de los suelos del país están sobreutilizados y un 13% subutilizados, ocasionando procesos de degradación como la erosión, el sellamiento de suelos, la contaminación, la salinización, la compactación, la desertificación y la pérdida de la materia orgánica; encontrando aproximadamente pérdidas de C que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial después de 20 a 30 años de cultivo (Reicosky, 2002).

Alrededor del 80% de la zona Andina está afectada por la erosión a causa de las actividades agropecuarias, bajo el uso de tecnologías inadecuadas e insostenibles y sin considerar la aptitud del uso del suelo, generando pérdidas progresivas de este recurso y una reducción considerable de la capacidad productiva, debido a la alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo; reflejado esto en menores rendimientos por unidad de área, pérdida de materia orgánica, acidificación de suelos y en algunos casos salinización por uso indiscriminado de fertilizantes, conllevando a la degradación ambiental, crisis de las unidades agropecuarias familiares y por ende a la baja calidad de vida de las comunidades (CORPONARIÑO, 2007; CORPONARIÑO, 2012).

A nivel local se han realizado algunas investigaciones referentes a las propiedades fisicoquímicas del suelo en relación a los diferentes usos del mismo, como es el caso de Arteaga *et al.* (2016), quienes evaluaron propiedades químicas en diferentes usos del suelo (monocultivos, sistemas agroforestales (SAF's), plantación forestal y bosque nativo) en el Municipio de Pasto, encontrando que los sistemas convencionales presentaban disminución en el porcentaje de carbono orgánico del suelo (COS), materia orgánica del suelo (MOS), nitrógeno total (Nt) y bases intercambiables, además que los SAF's en especial los que poseen especies arbóreas fijadoras de nitrógeno, presentaron las mejores condiciones del suelo en respuesta a la MOS.

De igual manera, Jurado y Romero (2011), en el Municipio de Pasto, evaluaron la incidencia del componente arbóreo sobre la producción de fítomasa, materia orgánica y las propiedades físicas del suelo, en dos SSP en comparación con un sistema tradicional de pradera, tomando como referencia un bosque primario; encontrando que el bosque y el SSP de aliso presentaron mayor porcentaje de materia orgánica en comparación con el SSP de motilón y la pradera, además la capacidad de campo fue una variable que no presentó diferencias significativas entre los tratamientos y la conductividad hidráulica fue superior en los SSP y el bosque.

Una disminución de las reservas orgánicas del suelo, las cuales están relacionadas directamente con la cobertura y uso del mismo, trae como consecuencia a corto plazo la reducción del rendimiento potencial de los cultivos, debido a los impactos negativos que se pueden presentar en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como también en las biológicas (Macas, 2017). Es por esto que en la actualidad se recomienda en lo posible utilizar prácticas agroecológicas y al mismo tiempo realizar el monitoreo de las propiedades del suelo para prevenir su degradación y así tener una producción sostenible (López y Estrada, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo y su asociación con la materia orgánica en diferentes sistemas productivos en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, municipio de Pasto.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental Botana, ubicada en la vereda Botanilla, municipio de Pasto, localizada al oriente del meridiano de Greenwich a $77^{\circ} 18'58''$ longitud oeste y $1^{\circ}10'11,4''$ latitud norte, a una altura de 2820 msnm, temperatura promedio de 12°C , precipitación media anual de 800 a 1000 mm, humedad relativa de 70 a 80%, con 900 horas sol promedio al año, perteneciente a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB) (IDEAM, 2000; Holdridge, 1978).

El **diseño experimental** utilizado fue bloques completos al azar en cinco tratamientos (4 sistemas productivos y como referencia el bosque secundario) con 6 repeticiones para un total de 30 unidades experimentales. El área de cada tratamiento se dividió en tercios, en cada uno se tomaron dos muestras de suelo (proveniente de 20 submuestras) para un total de seis por tratamiento, a una profundidad entre 0 - 20 cm, además, en cada tercio se realizó una calicata para tomar muestras de suelo a diferentes profundidades (5, 10, 15 y 20 cm) con el fin de analizar el contenido de materia orgánica en cada profundidad. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

Tratamiento 1 (PAS). Pasturas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.), hace aproximadamente 12 años no ha tenido ningún manejo rotativo.

Tratamiento 2 (SSP). Sistema Silvopastoril, arreglo de árboles dispersos en pasturas (*Alnus acuminata* Kunth y *P. clandestinum*), implementado hace aproximadamente 18 años.

Tratamiento 3 (PAPA). Monocultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), implementado hace aproximadamente 10 años, bajo manejo intensivo con altas aplicaciones de fertilizantes químicos y uso de agroquímicos para el control del plagas y enfermedades.

Tratamiento 4 (SSA). Sistema Silvoagrícola, cultivo en callejones con Aliso (*A. acuminata*), implementado hace 15 años.

Tratamiento 5 (BOS). Bosque Secundario de la Granja Experimental Botana (testigo), caracterizado por la regeneración natural y la no intervención humana.

En la Tabla 1 se presenta las variables evaluadas con su respectiva metodología.

Tabla 1. Metodología de variables evaluadas en laboratorio.

Variables	Metodología
Materia orgánica (MOS) y % Carbono orgánico (C)	Walkley y Black (Colorimétrico) NTC 5403 (ICONTEC, 2006).
Ph	Potenciómetro suelo:agua (1:1) NTC 5264 (ICONTEC, 2008).
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Acetato de amonio 1N, pH 7.0- Titulométrico NTC 5268 (ICONTEC, 2014).
Nitrógeno total (N)	Cálculo de la materia orgánica del suelo NTC 5403 (ICONTEC, 2006).

Fósforo disponible (P)	Bray II NTC 5350 (ICONTEC, 2005).
Potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg)	Acetato de amonio 1N, pH 7.0-E.A.A. NTC 5349 (ICONTEC, 2008).
Zinc (Zn)	Extracción con DTPA NTC 5526 (ICONTEC, 2007)
Textura	Bouyoucos (IGAC, 2006)
Densidad aparente (Da)	Cilindro graduado Blake & Hartge, 1986; Campbell y Henshall, 1991
Densidad real (Dr)	Picnómetro (IGAC, 2006)
Porosidad total (Pt)	$P = 1 - [Da/Dr] * 100$ (IGAC, 2006).
Curva de retención de humedad	Mesa de tensión y membrana de presión (IGAC, 2006).
Estabilidad de agregados en húmedo (EAH)	Yoder (IGAC, 2006).
Distribución de agregados en seco	Shacker (IGAC, 2006).
Infiltración	Infiltrómetro de doble anillo (Bouwer, 1961).
Conductividad hidráulica (K)	Infiltrómetro de minidisco (Decagon Devices, 2016.).

Análisis estadístico. Inicialmente se eliminaron todas aquellas variables que mostraron bajos índices de variabilidad tomando como criterio el coeficiente de variación (CV), posteriormente las variables con un alto CV se sometieron a un Análisis Multivariado (Análisis de Componentes principales - ACP), con el fin de detectar las correlaciones entre caracteres de una población y estructurar la variabilidad existente (Bautista y Ramos, 1988); seguidamente, se aplicó el método de clasificación jerárquico utilizando el método de las distancias de Ward, el cual permitió agrupar los diferentes tratamientos en grupos homogéneos, de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas; estos dos análisis se procesaron mediante el software estadístico SPAD 5.6. Finalmente, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) con prueba de Duncan para determinar la variabilidad del contenido de materia orgánica en las cuatro profundidades entre los diferentes tratamientos mediante el software Infostat 2008.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ACP permitió establecer con base en el porcentaje acumulado de los valores propios un total de 2 factores o componentes, los cuales permiten explicar el 71,43% de la variabilidad total de las variables cuantitativas.

El primer factor permite explicar el 54,31% de la variabilidad, está conformado por las variables N con una correlación variable-factor de -0,95, MOS y C (-0,94), CIC (-0,89), Da (0,87), pH (0,81), Zn (0,80), Ca (0,75), Infiltración (-0,67), DAS (0,56) y P (0,49).

El segundo factor permitió explicar el 17,12% de la variabilidad total y estuvo conformado principalmente por las variables Mg y K, con una correlación variable-factor de -0,68 y -0,57 respectivamente.

A fin de agrupar los tratamientos de acuerdo a las variables fisicoquímicas, se realizó el análisis clasificatorio formando 4 grupos, caracterizados por su afinidad y diferencia intergrupala (Figura 1); Grupo 1(G1)= bosque, Grupo 2 (G2) = pastura y sistema silvopastoril, Grupo 3 (G3) = papa y Grupo 4 (G4) = sistema silvoagrícola.

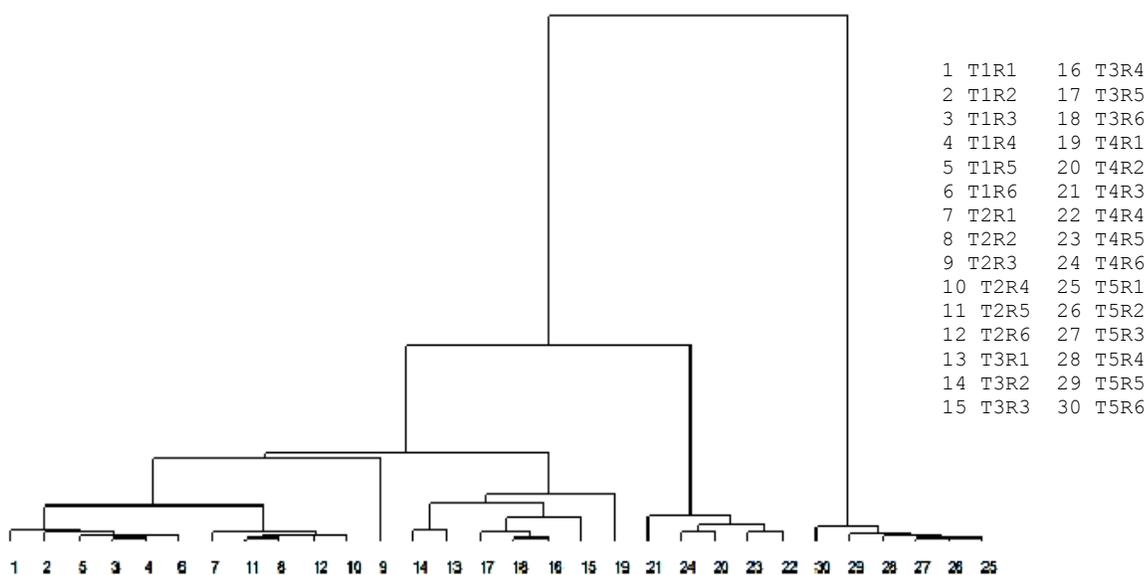


Figura 1. Conformación de grupos basados en un análisis clasificatorio de las variables cuantitativas en cinco tratamientos.

2.1. Grupos

2.1.1. G1 (BOSQUE), las variables que permitieron su agrupación fueron; MOS, COS, N, CIC, Infiltración, Zn, pH y Da.

2.1.1.1. MOS, C y N

Este grupo presentó mayores contenidos de **MOS, COS** y **N** (23,86%, 13,84%, 0,69%, respectivamente) en comparación con el G2 (MOS 4,83%, C 2,80% y N 0,18%), conformado por los tratamientos PAST (MOS 3,84%, C 2,22 % y N 0,14%) y SSP (MOS 5,82%, C3,37% y N 0,22%), G3 - PAPA (MOS 3,76%, COS 2,18% y N 0,14%) y por último el G4 –SSA (MOS 2,69%, COS 1,56% y N 0,10%).

Además, se encontraron correlaciones significativas entre las variables (C y N) con la MOS (1,0 cada uno) (Tabla 2), corroborando esto Martínez *et al.* (2008), quienes afirman que el **C** es el principal elemento que forma parte de la MOS, la cual depende del aporte de materiales orgánicos (de origen animal y/o vegetal) que se haga a dicho suelo y de la velocidad de descomposición (Jaramillo, 2002; FAO, 2009a). De acuerdo con Orozco (1999) y Jaramillo (2002), la MOS es la principal fuente de N en el suelo gracias al proceso de mineralización, en el cual el N orgánico se transforma a inorgánico (NH_4^+ y NO_3^-), siendo este la única forma de ser absorbido por las plantas.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre variables cuantitativas seleccionadas.

	Da	DAS	Infil	Cond	pH	CIC	C	MOS	N	P	K	Ca	Mg	Zn
Da	1,00													
DAS	0,35	1,00												
Infil	-0,51	-0,12	1,00											
K(Cond)	0,14	-0,27	-0,12	1,00										
pH	0,58	0,48	-0,43	-0,13	1,00									
CIC	-0,88	-0,34	0,71	-0,07	-0,57	1,00								
C	-0,89	-0,35	0,73	-0,15	-0,67	0,95	1,00							
MOS	-0,89	-0,35	0,73	-0,15	-0,67	0,95	1,00	1,00						
N	-0,90	-0,40	0,72	-0,13	-0,70	0,95	1,00	1,00	1,00					
P	0,60	0,15	-0,28	0,25	0,20	-0,49	-0,44	-0,44	-0,44	1,00				
K	0,03	0,31	-0,01	0,29	0,52	0,04	-0,11	-0,11	-0,14	0,06	1,00			
Ca	0,49	0,62	-0,39	-0,09	0,71	-0,46	-0,57	-0,57	-0,60	0,14	0,41	1,00		
Mg	0,36	0,68	-0,26	-0,17	0,72	-0,30	-0,42	-0,42	-0,46	0,07	0,53	0,96	1,00	
Zn	0,66	0,67	-0,32	-0,20	0,71	-0,65	-0,61	-0,61	-0,65	0,52	0,39	0,60	0,61	1,00

En la investigación realizada por Cantú y Yáñez (2017), en un vertisol en México, al analizar los contenidos de MOS, C y N en diferentes usos del suelo, encontraron que el N es proporcional al contenido de MOS, es decir que a mayor MOS mayor N y viceversa.

Según SA, los Andisoles de pisos climáticos fríos son los que tienen los más altos contenidos de materia orgánica; encontrando contenidos que van de 7,9% a 44,7% y en promedio 21,89% (Jaramillo, 1995), lo cual concuerda con lo encontrado en el presente estudio para el tratamiento de bosque, siendo este el que presenta un mayor contenido de MOS al compararlo con los otros tratamientos y por ende mayor % de N; coincidiendo con lo reportado en el estudio realizado en el municipio de Tangua - Nariño por Martínez y Meneses (2012), quienes encontraron que en el bosque hay mayores contenidos de MOS y N al compararlos con los agroecosistemas.

Las diferencias encontradas en los contenidos de **MOS**, **C** y **N** entre el bosque y los demás tratamientos, se debe al cambio de coberturas originarias de bosque a cultivos o praderas (Jaramillo 2002), debido a que hay una reducción en los aportes de MOS, donde los cultivos aportan menor cantidad que la vegetación nativa (Tan y Lai, 2005 y SoCo, 2009). Cantú y Yáñez (2017), encontraron que el cambio en el uso del suelo, de un matorral espinoso (vegetación nativa) a sistemas agrícolas, presenta una disminución significativa de MOS, C y N, además, según Vásquez y Macías (2017), se pueden generar pérdidas del 26% C.

El G2 (PAS y SSP) es el que seguidamente del G1 (BOSQUE) tiene mayor contenido de MOS, C y N, al compararlos con los otros sistemas productivos, concordando estos resultados con la investigación realizada por Martínez y Meneses (2012), quienes también encontraron que el SSP después del bosque tiene mayores contenidos de MOS y N y seguido de este se encuentra la pastura.

De acuerdo con Ramírez (1998), el encontrar mayores contenidos de **MOS** en los SSP que en los monocultivos de gramíneas, se debe a la presencia del componente arbóreo, el cual incrementa el contenido de MOS en el suelo a través del ciclaje de nutrientes, siendo la descomposición de las hojas lo que aporta al suelo la mayor parte de la MOS; mientras que

en las pasturas, la mayoría de los residuos son producidos por las raíces que se descomponen dentro del suelo (Navas, 2016 y SoCo, 2009).

El alto % de N encontrado en el SSP, se debe al alto contenido de MOS y de acuerdo con Muñoz *et al.* (2011), a la presencia de *A. acuminata*, (especie fijadora de nitrógeno atmosférico) como consecuencia de la simbiosis con el actinomiceto de la especie *Frankia,alni*, ya que en su estudio encontró mayores niveles de nitrato y amonio en el arreglo aliso y kikuyo que en el monocultivo de kikuyo. También se debe a las heces y orina del ganado, las cuales bajo condiciones adecuadas de manejo, se convierten en una vía importante en el reciclaje de nutrientes como N y P al suelo (Gaviria *et al.*, 2015).

En el estudio realizado por Arteaga *et al.* (2016), llevado a cabo en el corregimiento de Obonuco, Municipio de Pasto, encontraron que el monocultivo de papa y la pradera de pastos tienen los más bajos contenidos de MOS, C y N al compararlos con sistemas agroforestales, plantación forestal y bosque protector; siendo la pradera la que contiene mayor contenido de estos que el cultivo de papa, concordando con lo encontrado en el presente estudio, lo cual se debe al manejo intensivo que implica una menor incorporación de residuos de origen orgánico al sistema, ocasionando la reducción paulatina de los mismos.

El mayor contenido de N lo presentó el G3 (PAPA) al compararlo con el G4 (SSA), a pesar que este último tiene implementado en su sistema especies arbóreas fijadoras de nitrógeno; esto posiblemente se debe al manejo que se le da al monocultivo de papa, al cual se le aplica gran cantidad de fertilizaciones químicas.

El menor contenido de MOS, C y N lo presentó el G4 (SSA), a pesar de tener implementado en el sistema especies arbóreas fijadoras de N, lo cual de acuerdo con Ospina (2006), no es válido encontrar bajos porcentajes de MOS y N en arreglos de cultivo en callejones, ya que la función principal de este, es restaurar/mejorar los nutrientes del suelo y aumentar la materia orgánica mediante la incorporación orgánica de abono verde y hojarasca por medio de las podas de los árboles.

El bajo porcentaje de MOS se debe posiblemente, a que el sistema no tiene el manejo pertinente de acuerdo con su finalidad, ya que no se le realizan podas periódicas al componente arbóreo con el fin de incorporar la biomasa a los cultivos, lo que permite concluir, que el N encontrado en este grupo se debe en mayor medida a los arboles fijadores de N (*A. acuminata*) que a los aportes de la MO.

2.1.1.2.CIC

El G1 (BOSQUE) presentó una mayor **CIC** (53,08 cmol^+/Kg) en comparación con el G4 (SSA), el G2 (PASTURA Y SSP) y G3 (PAPA), con valores de 24,36 cmol^+/Kg , 22,63 cmol^+/Kg y 20,23 cmol^+/Kg , respectivamente. Además, se encontró una alta correlación (0,95) entre esta variable y la MOS; lo cual es corroborado por Krull *et al.* (2004), quien afirma que la CIC, es una propiedad química del suelo estrechamente vinculada a su fertilidad, la cual depende de los coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio) y del contenido de MOS.

En los cinco tratamientos se encontraron alto valores de CIC, lo cual de acuerdo con Fassbender y Bornemizsa (1994) y Jaramillo (2002), se debe al tipo de suelo Andisol, el cual responde a la mineralogía de influencia volcánica, donde se destaca la alta presencia del coloide Alofono, material que influye en los procesos de absorción y alto contenido de MOS.

De acuerdo con Fassbender (1983) y Bourg y Sposito (2011), la **CIC permanente** proviene de la fracción arcilla, en donde los coloides inorgánicos prácticamente no varían en un suelo en particular, con valores de CIC que fluctúan entre 2 y 150 cmol^+/kg de suelo, mientras que la **CIC variable** depende de las sustancias húmicas (contenido de MOS) por la disociación de los grupos carboxílicos y fenólicos, siendo altamente dependientes del manejo y pueden llegar a tener una CIC que superan los 150 cmol^+/Kg ; por lo cual se puede afirmar, que el G1 (BOSQUE) presenta la más alta CIC gracias a su alto contenido de MOS (23,86%) y en menor proporción a su contenido de arcillas (3,45%); mientras que la CIC encontrada en los grupos 2, 3 y 4 se atribuye sobre todo a su alto contenido de arcillas

(18,78, 24,15 y 28,28%, respectivamente) y en menor proporción a la MOS (4,83, 3,76 y 2,69% respectivamente).

Similares resultados fueron reportados por Baldemar *et al.* (2017), quienes encontraron que al aumentar los aportes de MO al suelo mediante compostas, la CIC aumentó de 40,08 a 44,8 cmol^+/kg en un Luvisol crómico de ladera en México.

2.1.1.3.Da

El G1 (BOSQUE) presentó una **Da** de $0,58 \text{ Mg}/\text{m}^3$ seguido en orden ascendente por el G2 (PASTURA Y SSP), G4 y G3 con valores de $1,04 \text{ Mg}/\text{m}^3$, $1,09 \text{ Mg}/\text{m}^3$ y $1,22 \text{ Mg}/\text{m}^3$, respectivamente, lo cual coincide con la investigación realizada por Salamanca y Sadeghian (2005), donde las menores densidades se observaron en aquellas muestras que fueron tomadas en relictos de bosque, lo cual indica que la conservación de estos sistemas ejerce un efecto benéfico sobre el suelo y la sostenibilidad del mismo; en dicho estudio la menor Da promedio encontrada fue de $0,5 \text{ Mg}/\text{m}^3$, debido a la presencia de una capa superficial orgánica de aproximadamente 20 cm de espesor, lo anterior permite afirmar que el aporte continuo de residuos orgánicos a través del tiempo, reduce la Da en los primeros niveles de profundidad del suelo.

La Da tuvo una correlación negativa (-0,89) con la MOS, concordando con Salamanca y Sadeghian (2005), quienes afirman que a medida que aumenta la MOS disminuye la Da y viceversa, lo cual es evidente en el G1 (BOSQUE) el cual tuvo mayor contenido de MOS (23,86%) y a su vez menor Da ($0,58 \text{ Mg}/\text{m}^3$), mientras que el G3 (PAPA) con un valor mayor de Da ($1,22 \text{ Mg}/\text{m}^3$) presentó menor contenido de MOS (3,76%) en comparación con el G1. Según Burbano (2001) y Primavesi (1984), este efecto benéfico de la MOS se debe a que la agregación del suelo facilita el flujo de aire, retiene humedad, disminuye la resistencia a la penetración y por ende mejoran las condiciones físicas para el crecimiento de las raíces. Cabe resaltar que cuando la Da del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando el crecimiento de las raíces. La Da es afectada por las partículas sólidas y por el espacio poroso, el cual está determinado principalmente por la MOS (Romero *et al.*, 2016).

2.1.2. G2 (PASTURA Y SSP), las variables que permitieron su agrupación fueron Infiltración y DAS.

2.1.2.1. Infiltración

Este grupo presentó menor **Infiltración** (2,61 cm/hora) en comparación con el G4 (SSA), G3 (PAPA), y G1 (BOSQUE) con valores de 3,63 – 6,49 y 13,49 cm/hora, respectivamente, además, la infiltración tuvo una correlación positiva de 0,73 con la MOS (Tabla 2).

La correlación directamente proporcional de Infiltración con MOS (0,73), concuerda con Martínez *et al.* (2008), quienes afirman que la MOS tiende a aumentar la tasa de infiltración de agua en el suelo, lo cual coincide con los datos del G1 (BOSQUE) que presentó una mayor tasa de infiltración (13,49 cm/hora) y un mayor contenido de MOS (23,86%) en comparación con el resto de grupos, esto debido a que según Alegre y Rao (1996) y Hartanto *et al.* (2003), el suelo se encuentra protegido del impacto de la lluvia amortiguando la misma, disminuyendo escurrimientos superficiales e induciendo la infiltración (Zavaleta *et al.* 2012). En general, el contenido de MOS presenta una correlación positiva con la capacidad de infiltración del suelo, ya que determina la mayor o menor estabilidad de agregados así como la distribución de tamaño de poros y consecuentemente su influencia sobre la infiltración (Del Barrio, 1984).

El G2 (PASTURA Y SSP) presentó menor infiltración (2,61 cm/hora) posiblemente por la presencia de ganado vacuno, puesto que, una de las actividades que reduce la capacidad de infiltración del suelo es el pastoreo intensivo (FAOb, 2009), siendo esta una práctica que se realiza en este grupo, sin embargo, a pesar de tener la menor velocidad de infiltración presentó el mayor contenido de MOS (4,83%), posiblemente por el estiércol del ganado presente, ya que según Trejo *et al.* (2013), la aplicación de estiércol de ganado vacuno aumenta el contenido de MOS.

Respecto al G3 (PAPA) y G4 (SSA) presentaron menor infiltración que el G1 (BOSQUE) quizá por la labranza que se realiza en ambos grupos, puesto que esta rompe agregados y deteriora la estructura del suelo causando compactación, encostramiento superficial y pérdida de poros continuos conectados con la superficie; los suelos compactados poseen menos espacio poroso, lo que determina menores velocidades de infiltración (USDA, 2000). Sin embargo, estos dos grupos (G3 y G4) presentaron menor contenido de MOS (3,76 y 2,69%) pero mayor velocidad de infiltración (6,49 y 3,63 cm/hora) en comparación con el G2-PASTURA Y SSP (4,83% y 2,61 cm/hora), comportamiento que puede deberse a otros factores diferentes de la MOS, ya que la velocidad de infiltración no depende únicamente de ésta sino de otros como; contenido de humedad, porosidad, condiciones superficiales del suelo, entre otros, (Flores y Alcalá, 2010). Además, según Del Barrio (1984), es indudable que el factor que más incide sobre las tasas de infiltración obtenidas es el uso y manejo cultural de los lotes.

2.1.2.2. Distribución de agregados en seco

El G2 (PASTURA Y SSP) presentó un valor de diámetro medio ponderado (DMP) de 2,38 mm, siendo menor en comparación al G1 (BOSQUE), G3 (PAPA) y G4 (SSA) con valores de 2,52 - 3,86 y 4,60 mm, respectivamente. Además, la DAS tuvo una correlación negativa de -0,35 con respecto a la MOS.

Según el IGAC (2006), un DMP de 1,5 a 3 es moderadamente estable y valores comprendidos entre 3 y 5 son estables; presentando de tal manera, el G2 y G1 un DMP moderadamente estable, mientras que el G3 y G4 un DMP estable. Los resultados obtenidos fueron buenos al ser moderadamente estables y estables lo cual pudo deberse a que los suelos de origen volcánico o Andisoles, presentan características físicas que favorecen una buena estabilidad estructural y una apreciable resistencia a la desagregación (Shoji *et al.*, 1993). Las formas amorfas de Al y Fe (alófano, imogolita, ferrihidrita) fomentan el desarrollo de una microestructura resistente en la estabilidad de agregados en Andisoles (Shepherd *et al.*, 2001). El DMP estable posiblemente se deba a que la labranza en el cultivo de papa y SSA se realiza con azadón y la utilización de maquinaria pesada es nula (Ruiz, 2014).

Según Álvarez y Steinbach (2006), a mayor nivel de MOS mayor estabilidad de agregados, lo cual es contradictorio con lo obtenido en la presente investigación donde la DAS tuvo una correlación negativa (-0,35) con la MOS, siendo inversamente proporcional, lo cual pudo deberse a que el contenido de MOS no siempre tiene correlación o esta es baja con la estabilidad de agregados, es decir que la cantidad de MOS no es directamente responsable de la estabilidad estructural del suelo (Fortun y Fortun, 1989; Holeplass *et al.*, 2004, citados por Pulido *et al.*, 2009). Además, Roberson *et al.* (1991), hallaron que la estabilidad de agregados no era explicada por el carbono orgánico total sino por una fracción de este, los carbohidratos pesados. Jastrow (1996), relaciona la estabilidad de agregados a la fracción liviana de la materia orgánica particulada; Bronick y Lal (2005) mencionan además otros componentes de la materia orgánica que inciden en la agregación como lignina, fenoles, lípidos, polisacáridos entre otros.

Según Salamanca y Sadeghian (2005), a medida que aumenta el tamaño de las partículas del suelo se reduce la agregación y estabilidad del mismo ya que las partículas de menor tamaño y agentes agregantes son arrastrados con mayor facilidad por el agua, lo cual puede explicar el comportamiento del G1 (BOSQUE) que tuvo menor agregación en comparación con el G3 (PAPA) y G4 (SSA) posiblemente por su textura arenosa.

2.1.3. G3 (PAPA), las variables que permitieron su agrupación fueron: Da, P y Zn.

2.1.3.1.P

Este grupo presentó mayor contenido de **P** (17,87 mg/kg) al compararlo con el G2 (PASTURA y SSP), G4 (SSA) y con el G1 (BOSQUE) con valores de 8,15 mg/kg, 7,14 mg/kg y 3,18 mg/kg, respectivamente, además este elemento presentó una correlación negativa con la MOS (-0,44) (Tabla 2), debido a que, el bosque el cual presenta > % de MOS tiene la menor cantidad de P, mientras que el grupo 4 tiene < % MOS y mayor Pd.

Según Shoji y Takahashi, 2002, lo encontrado se debe a que en suelos andisoles el P es muy bajo, ya que es fuertemente retenido por los materiales no cristalinos de aluminio y de hierro, encontrando valores de hasta 100% de capacidad de fijación de fosfatos a estos suelos; razón por la cual, el G1 (BOSQUE) presentó los más bajos contenidos de P.

Teniendo en cuenta lo anterior, los cambios tan abruptos de P encontrados en el tratamiento de papa son causados posiblemente por el manejo agroquímico que se le da al mismo.

En cuanto al G3 (PAPA) y G2 (PASTURA y SSP) presentaron mayor P en comparación con el G4 (SSA), debido a que estos tienen un pH de 5,5 y 5,7 respectivamente y según Guerrero (1991), en andisoles hay mayor P en suelos con valores de pH entre 5,5 y 6,0.

2.1.3.2.Zn

El G3 (PAPA) presentó una mayor cantidad de **Zn** (1,13 mg/kg), en comparación con el G1 14.(BOSQUE) y G2 (PASTURA Y SSP) con valores de 0,19 mg/kg y 0,63 mg/kg, respectivamente y menor que el G4 (SSA) que tuvo 1,44 mg/kg, además, el Zn tuvo una correlación negativa de -0,61 con la MOS siendo así inversamente proporcional, puesto que el G1 presentó los más altos contenidos de MOS (23,86%) y el más bajo contenido de Zn, mientras que el G4 (SSA) presentó los más bajos contenidos de MOS (2,69%) y el más alto contenido de Zn. De acuerdo con Igue y Bornemizza (1967), esta correlación inversa se debe a que la MOS retiene fuertemente el Zn, formándose complejos órgano-minerales que inmovilizan este elemento, haciéndose inasequible para las plantas.

De acuerdo con la División de Agricultura (2011), un valor < a 1,6 mg/kg de Zn es considerado muy bajo, por lo tanto, todos los grupos presentaron un muy bajo contenido de Zn, lo cual según Taylor (1964), es debido a que estos suelos son provenientes de material ígneo ácido, característicos por presentar deficiencias de este elemento; además, Igue y Bornemizza (1967), afirman que esto se debe al tipo de suelo, puesto que en sus estudios realizados en suelos tropicales y subtropicales han encontrado carencia de este elemento, residiendo principalmente no tanto en las bajas concentraciones de este, sino más bien en la baja disponibilidad del Zn presente, causado por el tipo de arcilla, la concentración de fósforo, la materia orgánica, entre otros., inhibiendo su disponibilidad de Zn y permaneciendo este microelemento en 80% como parte de un residuo órgano-metálico.

Lo encontrado en la presente investigación coincide con lo reportado por Chamorro *et al.* (1972), quienes evaluaron la disponibilidad de los principales micronutrientes en suelos volcánicos de la Sabana de Tuquerres, departamento de Nariño; encontrando deficiencias

de Zn en estos suelos, lo cual le otorgan posiblemente al elevado contenido de materia orgánica.

2.1.4. G4 (SSA), las variables que permitieron su agrupación fueron; Mg, Ca, K, pH, Zn y Distribución de agregados en seco.

2.1.4.1. Ca y Mg

Respecto al **Ca y Mg**, el G4 presentó mayor contenido de estos elementos (16,84 – 6,11 cmol/kg, en su orden), seguido por el G3 (PAPA), G2 (PASTURA y SSP) y G1 (BOSQUE) con valores de Ca y Mg de 7,73 – 2,17, 6,60 – 1,54 y 2,38 – 1,0 cmol/kg, respetivamente. Además, el Ca tuvo una correlación negativa (-0.57) con la MOS al igual que el Mg (-0,42.), siendo así inversamente proporcional; lo cual pudo deberse a la relación directamente proporcional de estos nutrientes con el pH (0,71 y 0,72, respectivamente), el cual a su vez depende de la MOS.

El G4 presentó mayores contenidos de Ca y Mg en comparación con el G3 (PAPA) y G2 (PASTURA y SSP) y estos mayores que el G1 (BOSQUE) debido a su pH (6,1, 5,7, 5,5 y 5,3, respectivamente), puesto que Zapata (2004), afirma que estos elementos están relacionados directamente con el pH, es decir que a mayor pH, mayor disponibilidad de Ca y Mg y viceversa.

De acuerdo con Havlin *et al.* (1999), los 4 grupos presentan deficiencias de Mg, puesto que afirma que aquellos suelos que contienen menos de 25 a 50 mg/kg de Mg²⁺ intercambiable son probablemente deficientes en este nutriente; dicha deficiencia puede otorgarse de igual manera al pH, puesto que según Guerrero (1991), hay mayores contenidos de Mg en pH > a 6,5.

2.1.4.2. pH

Este grupo presentó mayor **pH** (6,1) al compararlo el G2 (PASTURA y SSP), G3 (PAPA) y G1 (BOSQUE), con valores de pH de 5,7, 5,5 y 5,3, respectivamente. Según SSDS (1993), el G4 de acuerdo a su pH, se clasifica como ligeramente ácido (pH 6,1 – 6,5), el G2, moderadamente ácido (pH 5,6 – 6,0), mientras que el G3 y G1 como fuertemente ácidos (pH 5,1 – 5,5).

Además, se encontró una correlación negativa (-0,67), es decir, una relación inversamente proporcional de esta variable con la MOS (Tabla 2), confirmando esto Aguilera (2000), quien manifiesta que la MOS afecta el pH del suelo, a causa de los diversos grupos activos que aportan grados de acidez a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo.

El G3 (PAPA) y G1 (BOSQUE) son fuertemente ácidos, debido a sus contenidos de MOS (3,76 y 23,86% respectivamente), puesto que, según Carrasco (1992) y Fassbender (1982), el pH del suelo tiende a disminuir, gracias a que la MO tiene grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles, siendo estos fuente de protones al disociarse, ocasionando así la disminución del mismo. De igual manera, de acuerdo con Jaramillo (2002), estos grupos son fuertemente ácidos, por la presencia de aluminio intercambiable, puesto que en suelos con $\text{pH} < 5,5$ empieza a aumentar la solubilidad de este elemento en forma exponencial; encontrando de tal manera en los dos grupos, aluminio intercambiable (0,52 y 2,27 cmol^+/kg , respectivamente).

Los valores más altos de pH encontrados en este estudio, corresponden al grupo 4 (SSA) y al grupo 2 (SSP y pasto), esto no se les atribuye a sus contenidos de MOS (2,69, 5,81 y 3,83%), sino a la presencia de *A. acuminata* en los SAF's, el cual tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, gracias a la simbiosis con el actinomiceto del genero *Frankia* (Molina *et al.* 2006), ya que, de acuerdo con Pocknee y Sumner (1997), el N contenido en los materiales vegetales originales provoca un aumento inicial de pH, asociado a la formación de NH_4^+ que consume protones.

2.1.4.3.K

El G4 (SSA) presentó el contenido más alto de **K** (0,67 cmol^+/kg), al compararlo con G1 (BOSQUE), G3 (PAPA) y G2 (PASTURA y SSP), con valores de 0,38 cmol^+/kg , 0,30 cmol^+/kg y 0,29 cmol^+/kg , respectivamente. Además, presentó una correlación negativa (-0,11) con la MOS (Tabla 2) posiblemente porque el K en el suelo depende principalmente del material parental y su meteorización, así como del contenido y de la naturaleza de los coloides del suelo (arcillas) (Wang *et al.*, 2004); encontrándose este elemento en el suelo en

forma de catión intercambiable, es decir, absorbido a las arcillas y a la MOS en sus sedes de intercambio (Garrido, 1993).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que los valores de K encontrados en el G4 (SSA), G3 (PAPA) y G2 (PASTURA y SSP) de 30,85, 24,15 y 18,78%, respectivamente se debe a los altos contenidos de arcillas y en menor medida a los de MOS (2,69, 3,76 y 4,83%, en su orden), observándose que a mayor % de arcillas, mayor K disponible; en cuanto al G1, se le atribuye el alto contenido de K a su alto porcentaje de MOS (23.86%) y no a las arcillas (3,45%), ya que estas son muy bajas. Borges *et al.* (2005), en suelos de Yucatán, México, reportaron que a mayor cantidad de arcillas, mayor cantidad de K, coincidiendo con lo encontrado en este estudio.

De acuerdo con Jaramillo (1995), los contenidos de K en Andisoles se encuentran en un rango que va de 0,04 – 0,72 cmol^+/kg y en promedio 0,23 cmol^+/kg ; coincidiendo con lo encontrado en los 4 grupos. Cabe resaltar que de acuerdo con Shoji y Takahashi (2002), el K en este tipo de suelo es muy bajo porque las arcillas alofánicas no presentan retención preferencial por el potasio, por lo que se lava y decrece a medida que avanza la meteorización.

2.2. Curvas de humedad

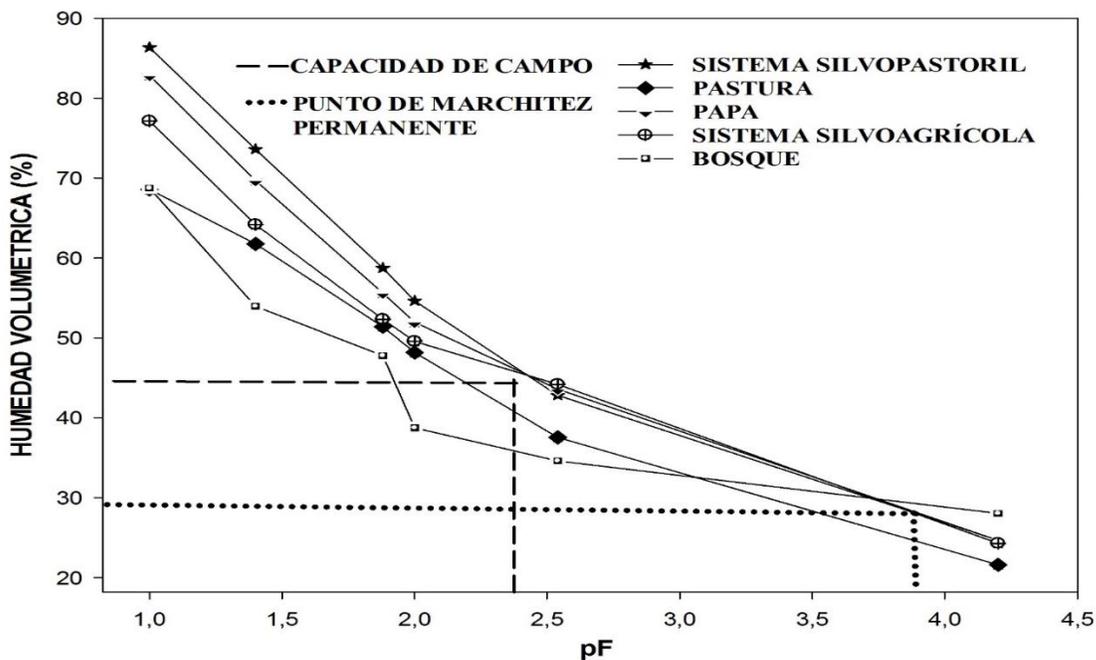


Figura 2. Gráfica Porcentaje de Humedad Volumétrica.

Para la variable de **Contenido de Humedad**, el tratamiento que presentó un mayor porcentaje de capacidad de campo (CC) fue el 4 (SSA) (44,18%), seguido por los tratamientos 3(PAPA), 2 (SSP), 1 (PASTURA) y 5 (BOSQUE) con valores de 43,58 – 42,82 – 37,55 y 34,60%, respectivamente. El alto porcentaje de CC en los tratamientos 4 y 3 puede deberse a que en dichas áreas se aplican enmiendas orgánicas, lo cual de acuerdo con López *et al.* (2001), encontraron que la CC y el punto de marchitez permite (PMP) aumentaron en un 10% después de la aplicación de abonos orgánicos. Lo anterior es corroborado por Castellanos (1980, 1982), quien observó que el contenido de humedad aumenta debido a la aplicación de abonos orgánicos, ya que disminuye la densidad aparente; se incrementa la porosidad y se modifica la estructura al mejorar la formación de agregados, todo ello influye en un aumento en la retención de humedad.

El tratamiento 5 (BOSQUE) fue el que presentó menor agua aprovechable, posiblemente por su textura arenosa ya que según Martínez y Sosa (2010), las variables que mayor influencia tienen en la humedad del suelo son la textura y la pendiente.

En esta investigación el tratamiento cinco presentó el mayor contenido de materia orgánica (23,86%) y a su vez fue el que presentó mayor punto de marchitez permanente (28,05%) seguido por los tratamientos 2 (24,67%), 3 (24,66%), 4 (24,29%) y 1 (21,60), dicho comportamiento puede explicarse a que según Salamanca y Sadeghian (2005), el punto de marchitez permanente depende de los contenidos de MOS.

2.3.Materia orgánica a diferentes profundidades

Al aplicar el análisis de varianza a los contenido de MOS en las 4 profundidades (5, 10, 15 y 20 cm) de los 5 tratamientos, se encontró que únicamente el tratamiento 3 (PAPA) presentó diferencias estadísticas significativas (Tabla 5); mientras que los tratamientos 1 (PASTURA), 2 (SSP), 4 (SSA) y 5 (BOSQUE) no presentaron efectos significativos ($p < 0,05$) (Tablas 3, 4, 6 y 7, respectivamente), lo que permite afirmar que la MOS en estos tratamientos es más estable.

Tabla 3. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 1 (PASTURA)

Profundidad (cm)	Medias	N	E.E
5	4,20	3	0,45 a
10	3,92	3	0,45 a
15	3,60	3	0,45 a
20	2,97	3	0,45 a

Medias con la letra común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,005$); Test: Duncan Alfa=0,05; Error: 0,5991 gl: 8

Tabla 4. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 2 (SSP)

Profundidad (cm)	Medias	N	E.E
5	7,28	3	1,30 a
10	6,22	3	1,30 a
15	6,11	3	1,30 a
20	6,04	3	1,30 a

Medias con la letra común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,005$); Test: Duncan Alfa=0,05; Error: 0,0986 gl: 8

Tabla 5. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 3 (PAPA).

Profundidad (cm)	Medias	N	E.E
5	4,63	3	0,25 a
10	4,50	3	0,25 a
15	3,98	3	0,25 a b
20	3,53	3	0,25 b

Medias con la letra común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,005$); Test: Duncan Alfa=0,05; Error: 0,1947 gl: 8

Tabla 6. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 4 (SSA).

Profundidad (cm)	Medias	N	E.E
5	4,45	3	0,80 a
10	3,72	3	0,80 a
15	3,65	3	0,80 a
20	3,61	3	0,80 a

Medias con la letra común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,005$); Test: Duncan Alfa=0,05; Error: 1,9217 gl: 8

Tabla 7. Análisis de varianza de materia orgánica a 4 profundidades del tratamiento 5 (BOSQUE).

Profundidad (cm)	Medias	N	E.E
5	21,14	3	2,30 a
10	19,16	3	2,30 a
15	16,93	3	2,30 a
20	14,74	3	2,30 a

Medias con la letra común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,005$); Test: Duncan Alfa=0,05; Error: 15,9374 gl: 8

Se puede observar que el tratamiento de papa no presentó diferencias significativas a las profundidades entre 5 y 10 cm, así como tampoco entre 15 y 20 cm; entendiéndose que de 0 – 10 cm y de 15 – 20 cm se van a encontrar contenidos de MOS uniformes en cada rango, sin embargo, estos contenidos ya cambian significativamente entre 10 a 15 cm, observándose una dinámica de disminución del contenido de MOS a mayor profundidad; estos resultados son acordes con lo reportado por Aguilera *et al.* (1998), quienes encontraron que en un andisol (Typic Dystrandept) el C en los diferentes usos del suelo tienden a disminuir a diferentes profundidades (0-5, 5-10 y 10-30 cm).

De acuerdo con Jaramillo (2002), el contenido de MOS en los suelos normalmente decrece en forma regular al aumentar la profundidad en el perfil; donde el contenido de MOS es mayor en el horizonte A, con valores algunas veces muy superiores a los que presentan los otros horizontes, posiblemente porque los primeros cm del suelo son fuente de residuos de plantas, animales (macrofauna, mesofauna y microfauna) y raíces, lo cual se manifiesta en un alto grado de actividad biológica (Martínez y Meneses, 2012).

Galantini *et al.* (2006), analizaron los cambios a largo plazo (18 años) de la cantidad, distribución y calidad de las fracciones orgánicas del suelo en un sistema de labranza convencional (LC) y siembra directa (SD), encontrando diferencias significativas del contenido de MOS a diferentes profundidades (0-1, 0-5, 5-10 y 10-20 cm) en la LC y no significativas para la SD; además, se encontró en la LC un incremento adicional en la pérdida anual de suelo por erosión (11,7 Mg/ha) y pérdida de MOS por oxidación (600 kg/ha), comprometiendo de tal manera el potencial productivo a largo plazo por la disminución de los nutrientes disponibles y por ende la sustentabilidad del sistema.

Balesdent *et al.*, (2000) y Franzluebbers (2002), afirman que la frecuencia e intensidad de la labranza altera las propiedades del suelo, la distribución de la MOS y de los nutrientes de la profundidad laboreada, lo que permite entender la diferencia en el comportamiento de la MOS a diferentes profundidades del tratamiento PAPA, con respecto a los otros tratamientos.

3. CONCLUSIONES

La MOS influye directamente en la Infiltración, C, N, CIC e indirectamente en la distribución de agregados en seco, P, Zn, Ca, K, pH, Mg y Da, presentando una correlación positiva (directamente proporcional) y negativa (inversamente proporcional) con estos.

Los tratamientos PASTURA y SSP se agruparon de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas del suelo evidenciando la importancia del manejo en los sistemas agroforestales

El monocultivo de papa presentó diferencias significativas en las diferentes profundidades debido a la labranza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, S. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. p. 77–85.
- Aguilera, S., Borie, G., Rouanet, J. & Peirano, P. (1998). Evaluación de carbono orgánico y bioactividad en un andisol sometido a distintos manejos agronómicos. *Agricultura técnica* (Chile). 58 (1):32 – 46.
- Alegre, J.C. And M.R. Rao. (1996). Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 57(1): 17-25.
- Álvarez, R.; Steinbach, H. (2006). Efectos del sistema de labranza sobre la materia orgánica. En: Álvarez R, (Eds.) *Materia orgánica: valor agronómico y dinámica en los suelos pampeanos*. Argentina: Editorial Facultad de Agronomía (UBA). Cap. VI p. 69 – 79.
- Arteaga, J.; Navia, J. & Castillo, J. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 33 (2):62-75
- Baldemar, O., Sánchez, R., Ordaz, V., López, U., Estrada, M. & Pérez, M. (2017). Uso de compostas para mejorar la fertilidad de un suelo Luvisol de ladera. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*. 8(6):1273 – 1285.
- Balesdent, J.; Chenu, C. & Balabane, M. (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53: 215-230.
- Bautista, L. & Ramos, J. (1988). Análisis de datos de encuestas y de tabulados. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 85 p.
- Blake, G & Hartge, K. (1986). Bulk Density. In: A Klute (ed). *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. pp. 363-375. Madison, Wisconsin, USA: Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am.
- Borges, L., Escamilla, A., Soria, M. & Casanova, V. (2005). Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamérica*. 23(4):437 – 445.
- Bourg, I. & Sposito, G. (2011). Molecular dynamics simulations of the electrical double layer on smectite surfaces contacting concentrated mixed electrolyte (NaCl-CaCl₂) solutions. *J. Colloid Interface Sci.* 360(2):701-715.
- Bouwer, H. (1961). A double tube method for measuring hydraulic conductivity of soil in situ above a water table. *Soil Sci. Soc. Proc.* 25:334-339.

Bronick, Cj & R Lal. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.

Burbano, H. (2001). Lo biorgánico en el manejo productivo del suelo. In: MANEJO productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. Palmira: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 109-128 p.

Campbel, D & Henshall J. (1991). Bulk Density. In: KA Smith & CE Mullins (eds). Soil Analysis. Pp. 329-366. Marcel Decker Inc., New York, USA.

Cantú, I. & Yáñez, M. (2017). Efecto del cambio de uso del suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(45):122 – 151.

Carrasco, M. (1992). El suelo como sistema químico. En Vera W.: Suelos, una visión actualizada del recurso. Publicaciones Miscelaneas Agrícolas N° 38, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 345 p.

Castellanos R., J.Z. (1980). El estiércol como fuente de nitrógeno. Seminarios Técnicos 5(13). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.

Castellanos R., J.Z. (1982). La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Seminarios Técnicos 7(8): 32. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.

Chamorro, B. Echeverría, C. Guerrero & R. Gamboa, J. (1972). Aluminio, Boro, Cobre, Cobalto, Hierro, Manganeso y Zinc disponibles en suelos volcánicos de la sabana de Tuquerres, departamento de Nariño, Colombia *Revista de ciencias agrícolas*. Nariño. Vol 4 No 1. 23-35 p.

Combatt, E., Jarma, A. & Maza, L. (2008). Crecimiento de *Brachiaria decumbens* Stapf y *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst en suelos sulfatados ácidos de Córdoba. *Revista MVZ Córdoba* 13(2): 1380-1392

Combatt, E., Mercado, T. & Palencia, G. (2009). Alteración Química de la solución de un suelo sulfatado acido, con enclamiento y lavado en columna disturbadas. *Revista U.D.C.A. Actualidad ε Divulgación Científica*. 12(1): 101-111.

Corponariño. Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2007). Plan de acción trienal (PAT) 2007 - 2009. Recuperado de: CORPONARIÑO, http://corponarino.gov.co/expedientes/planeacion/informe_gestion2008/informegestion-final2008.pdf; consulta: Enero 2017.

Corponariño. Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2012). Plan de gestión ambiental regional. 2002 - 2012. Recuperado de: CORPONARIÑO, <http://corponarino.gov.co/expedientes/planeacion/pgar20152032/diagnosticoP-GAR20152032-parte1.pdf>; consulta: Enero, 2017.

De Las Salas, G. (1987). Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. Instituto interamericano de cooperación para la Agricultura. IICA, San José de Costa Rica. 447p.

Decagon Devices. (2016). Mini Disk Infiltrometer. Recuperado de http://manuals.decagon.com/Manuals/10564_Mini%20Disk%20Infiltrometer_Web.pdf; consulta: octubre, 2016.

Del Barrio, R. (1984). Infiltración del agua en suelos de la región Pampeana. Argentina. 5(3) 183-191

División de agricultura. (2011). Como interpretar los resultados de los analisis de suelos. Recuperado de: <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf> Fecha de consulta: 20 de Junio de 2018

Division Of Agriculture Research & Extension University of Arkansas System. (2011). Agricultura y recursos naturales. Recuperado de <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf> Fecha de consulta: 13 de Febrero de 2018.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009a). Guía para la descripción de Suelos. Cuarta edición, FAO, Roma, Italia. 111 p

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009b). Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Los bosques y el agua. Roma, Italia. 86 p.

Fassbender H. (1983). Suelos y sistemas de producción agroforestales. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 250 p.

Fassbender, H. (1982). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 398 p.

Fassbender, H. & Bornemisza, E. (1994). Química de suelos con énfasis en suelos de América Tropical. Costa Rica: IICA. 418 p.

Flores, L. & Alcalá, J. (2010). Manual de procedimientos analíticos - física de suelos. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

Fortun, C., & A. Fortun. (1989). Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Edafol. Agrobiol.* 48: 185–204.

Franzuebbers, A. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66: 95-106.

Galantini, J., Iglesias, J., Meneiro, C, Santiago, L. & Kleine, C. (2006). Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *Ria, INTA, Argentina.* 35 (1):15 – 30.

Garrido, S. (1993). Interpretación de análisis de suelos. Recuperado de Hojas de divulgación, http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf. 40 p.; consulta: Enero 2018.

Gaviria, X. Naranjo, J. Bolívar, D. & Barahona, R. (2015). Consumo y digestibilidad en novillas cebuínas en un sistema silvopastoril intensivo. *Archivos de zootecnia* 64(245):21 – 27

Guerrero, R. (1991). La acidez del suelo: Su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. Recuperado de: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: SCCS.. pp 141-163.

Hartanto, H., R. Prabhu, A. Widayat & C. Asdak. (2003). Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest Ecology and Management* 180(1-3): 361-374.

Havlin, J. L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. (1999). Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.

Holdridge, L. (1978). Ecología Basada en Zonas de Vida. San José de Costa Rica: IICA. p.110.

Holeplass, H., B. R. Singh, & R. Lal. (2004). Carbon sequestration in soil aggregates under different crop rotation and nitrogen fertilization in an inceptisol in southeastern Norway. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 70: 167–177.

Icontec. (2004). NTC 5263 calidad de suelo. Determinación de la acidez intercambiable. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5264.pdf>; consulta: junio, 2017.

Icontec. (2005). NTC 5350 calidad de suelo. Determinación de fósforo disponible. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5350.pdf>; consulta: junio, 2017.

Icontec. (2007). NTC 5526 calidad de suelo. Determinación de micronutrientes disponibles: Cu, Zn, Fe y Mn. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5526.pdf>; consulta: junio, 2017.

Icontec. (2008). NTC 5349 calidad de suelo. Determinación de las bases intercambiables: los cationes Ca, Mg, Na y K. Método de extracción con acetato de amonio 1 N Y pH 7. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <http://www.cenicana.org/investigacion/seica/Compiladolibros2016/NTC5349.pdf>; consulta: junio, 2017.

Icontec. (2014). NTC 5268 calidad de suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5268.pdf>; consulta: junio, 2017.

Icontec. Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación. (2006). NTC 5403 calidad de suelo. Determinación del carbono orgánico. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5403.pdf>; consulta: junio, 2017.

IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. Bogotá D.C. Republica de Colombia. 407 - 410p.

IGAC- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2012). Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano escala .1:100.000. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

Igue, K. & Bornemisza, E. (1967). El problema del zinc en suelos y plantas de regiones tropicales y de zona templadas. *Fitotecnia Latinoamericana* 4(1):29-44.

IDEAM - Instituto De Hidrología Y Meteorología Y Estudios Ambientales. (2000). Reporte técnico estación meteorológica de Botana. Pasto, Nariño. 1 p.

IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento de Nariño. Bogotá: IGAC. CDR.

Jaramillo, D. (1995). Andisoles del Oriente Antioqueño: Caracterización química y fertilidad. Ecográficas Ltda. Medellín. 35 p.

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Primera edición, Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia,. 619 p

Jaramillo, D.; Parra, L. & González, L. (1994). El recurso suelo en Colombia: Distribución y Evaluación. Primera edición, Medellín: Universidad Nacional de Colombia.. 88 p.

Jastrow, Jd. (1996). Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 665-676.

Jurado, G. Y Romero, G. (2011). Efecto del componente arbóreo sobre la producción de fitomasa, materia orgánica y algunas propiedades físicas del suelo en dos sistemas silvopastoriles en el centro ambiental Chimayoy en el municipio de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Nariño, Pasto. 28 p.

Kamprath, E. (1967). Acidez del suelo y su respuesta al encalado. *International Soil Testing*. Raleigh, North Carolina. p15-24.

Krull, E., Skjemstad, J. & Baldock, J. (2004). Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Grains Research & Development Corporation report Proyect No CSO 00029.

López, J. Diaz, A. Martínez, E. & Valdez, R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*. 19 (4): 293 – 299 p.

López, M. & Estrada, H. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Recuperado de: <http://www.ccba.uady.mx/bioagro/V8N1/BC%208.1%20Propiedades%20del%20suelo.pdf>. Fecha de consulta: febrero de 2018

Macas, R. (2017). Evaluación del estado actual de degradación del suelo en agroecosistemas de cacao y pasto en la granja Santa Inés. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo, Unidad académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala. Machala. 88 p.

Martínez, E., Fuentes, J. & Acevedo, E., (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. R.C. *Suelo Nutrición y Vegetación*. 8(1):68-96

Martinez, F. Sosa, F. (2010). Comportamiento de la humedad del suelo con cobertura vegetal. Guanajuato, Mexico. Vol 1 N 4 p 89 - 103

Martínez, M. & Meneses, C. (2012). Fraccionamiento físico de la materia orgánica bajo diferentes usos del suelo en un Typic Fulvudand. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Nariño, Pasto. 43 p.

Molina, M., Medina, M. & Orozco, H. (2006). El efecto de la interacción Frankia – micorrizas – micronutrientes en el establecimiento de árboles de Aliso (*Alnus acuminata*) en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarías*. 19 (1)

Munera, G. & Meza, D. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Pereira. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5248/el%20fosforo%20elemento.pdf>. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2018

Muñoz, E., Pupiales, S. & Navia, J. (2011). Evaluación del estado actual del Nitrógeno en el arreglo silvopastoril Aliso (*Alnus jurullensis* H B & K) Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 28(1):161 – 175.

Navarro, S. & Navarro, G. (2003). Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Mundi-Prensa, Madrid. 487p.

Navas, A. (2016). Sistemas silvopastoriles. Primera edición. Machete, Bogotá D. C. 63 p.

Orozco, F. (1999). Biología del nitrógeno. conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Tomo I. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. 231 p.

Osorio, N. (2012). Manejo integral del suelo y nutrición vegetal. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Ospina, A. (2006). Agroforestería. Aporte conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal. Primera edición, Cali-Colombia: El Bando Creativo. 238 p.

Pascual, R. & Venegas, S. (2008). La materia orgánica del suelo- papel de los microorganismos. Recuperado de: <http://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf> Fecha de consulta: 11 de febrero de 2018

Pocknee, S. & Sumner, M. (1997). Carbon and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 86-92.

Primavesi, A. (1984). Manejo ecológico del suelo; la agricultura en regiones tropicales. 5. Ed. Buenos Aires: El Ateneo. 499 p.

Pulido, M. Lobo, D. & Lozano, Z. (2009). Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia.* 43 (3): 221-230.

Ramírez, H. (1998). Evaluación agronómica de dos sistemas silvopastoriles integrados por pasto estrella, Leucaena y Algarrobo forrajero. Tesis de Grado Universidad Nacional Bogotá.

Reicosky, D. C. (2002). Tillage and gas exchange. En: R. Lal (ed.). *Encyclopedia of soil science*. Boca Raton, Fla.: Taylor & Francis. p. 1333-1335.

Roberson, Eb; Mk Firestone & S Sarig. (1991). Cover Crop Management of Polysaccharide-Mediated Aggregation in an Orchard Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 734-739.

Roca, N. Pazos, M. & Bech, J. (2007). Disponibilidad de Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc en suelos del no argentino. *Ciencia del suelo.* 25(1) 31-42,

Romero, C. García, E. & Hernández, A. (2016). Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. *Ciencias Ambientales, Facultad de Agrobiología.* ISSN 2334-2501.

Ruiz, H. (2014). Evaluación de algunas propiedades físicas y químicas de un Aeric Tropic Fluvaquents sometido a diferentes tiempos de usos en el sistema de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris*) con relevo de maíz (*Zea mays*). Trabajo de tesis. Énfasis en producción de cultivos. Universidad de Nariño. 86p.

Salamanca, A. & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé. Chinchina. Caldas.* 56(4). 381-397.

Shepherd, T. G., S. Saggar, R. H. Newman, C. W. Ross & J. L. Dando. (2001). Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. *Aust. J. Soil Res.* 39: 465-489.

Shoji, S. & Takahashi, T. (2002). Environmental and Agricultural Significance of Volcanic Ash Soils. In Japan. *Global Environmental Research*, pp. 133-135.

Shoji, S.; Nanzyo, M. & Dahlgren, R. (1993). Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization. *Developments in Soil Science* 21. Elsevier. 288 p.

Soco. Sustainable Agriculture and Soil Conservation. (2009). Procesos de degradación del suelo. Pérdida de materia orgánica. Recuperado de: <http://agrillife.jrc.ec.europa.eu/documents/ESFactSheet-03.pdf>. 4 p.; Consulta: enero 2018.

Soil Survey Division Staff (SSDS). (1993). Soil survey manual. Handbook N°. 18. USDA. Washington D. C. 437 p.

Tan, Z. & Lai, R. (2005). Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 111, 140-152.

Taylor, S. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 28:1273-1286.

Trejo, H. Salazar, E. López, J. & Vázquez, C. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas*, 4 (5):727-738.

USDA-United States Department of Agriculture. (2000). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Recuperado de: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2018

Vásquez P. & Macías V. (2017). Fraccionamiento químico del carbono en suelos con diferentes usos en el departamento de Magdalena, Colombia. *Terra Latinoamericana* 35: 7-17.

Wang, J. Harrel, D. & Bell, P, (2004). Potassium buffering characteristics of three soils low in exchangeable potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 654-661.

Zapata, R. (2004). Química de la acidez del suelo. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/1735/>. 193 p.; consulta: Agosto, 2018.

Zavaleta, E. Cruz, H. & Marquéz, J. (2012). Potencial de infiltración de agua de lluvia a partir de la retención de una plantación forestal. *Redayc* vol. 14, núm. 1, pp. 23-28

Zetina, R., Trinidad, A., Opereza, J., Volke, V. & Landois, L. (2005). Relación bases intercambiables - rendimiento de maíz en un cambisol dístrico con labranza, encalado y abono verde. *Terra Latinoamericana.* 23 (3): 389-397.