

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS EN DIFERENTES USOS Y MANEJOS DE SUELO, REGIÓN ALTOANDINA DE PASTO

PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES EVALUATION IN DIFFERENT SOIL USES AND MANAGEMENT, ALTOANDINA REGION PASTO.

Daniel Alejandro Molina C.¹; Angélica Sofía Moreno M.²; Jorge Fernando Navia E³.

¹Estudiante Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, danimc94@hotmail.com.

²Estudiante Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, sofia94057@hotmail.com

³Ingeniero Agrónomo. Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, jornavia@gmail.com; jornavia@yahoo.com.

RESUMEN

Este estudio se realizó en Pasto, coordenadas geográficas 77°18'58"LO y 1°10'11,4"LN, con el objetivo de evaluar propiedades físicas y químicas en seis usos y manejos del suelo. Donde se realizaron análisis físico-químicos y en los sistemas agroforestales, se tuvieron en cuenta dos distancias respecto al árbol. Los tratamientos evaluados fueron, arreglo de cultivo en callejones con *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur, arreglo de árboles dispersos con *Alnus acuminata* H.B.K., arreglo de cultivo en callejones con *A. acuminata*, monocultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), pradera con kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov) y bosque secundario. Los resultados fueron sometidos a ACP, análisis cluster, análisis de varianza, prueba de Tukey y análisis de varianza anidado. Los resultados indicaron que el 58,83% de la varianza fue explicado por materia orgánica, nitrógeno, carbono, capacidad de intercambio catiónico, manganeso, contenidos de humedad, Da, porosidad e infiltración, formándose tres grupos por el análisis cluster: bosque>cultivo en callejones con *M. pubescens*, árboles dispersos con *A. acuminata*>cultivo en callejones con *A. acuminata*, monocultivo, pradera. Las mejores condiciones de suelo estuvieron en el bosque, el cual presentó una media de 16,4% en MOS, que influyó en otras propiedades (Da, porosidad, infiltración, contenidos de humedad, CIC). Por otro lado, el efecto de las distancias del árbol en los sistemas agroforestales evaluados se reflejó en la velocidad de infiltración y el pH del suelo. Los

resultados sugieren que la MOS influye en diversas propiedades tanto físicas como químicas, siendo un indicador clave al momento de estudiar los suelos.

Palabras clave: materia orgánica del suelo, sistemas agroforestales, monocultivo, pradera, bosque.

ABSTRACT

This studio was carried out at municipality of Pasto, geographical coordinates 77° 18' 58'' W y 1° 10' 11,4''N, in order to evaluate some physical and chemical properties in six different land management. Land management effect was determined by physical and chemical analysis and for agroforestry systems, two distances from the tree were taken into account for sampling. Treatments evaluated were, alley cropping with *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur, scattered trees with *Alnus acuminata* H.B.K., alley cropping with *A. acuminata*, potato monoculture (*Solanum tuberosum* L.), grassland with *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov, second-growth forest. Results were submitted to principal component analysis (PCA), cluster analysis, ANOVA, Tukey test and Nested ANOVA. Results showed that 58,83% variance was due to soil organic matter, nitrogen, carbon, cation exchange capacity, manganese, moisture content, bulk density, porosity, infiltration, moisture content, CEC. On the other hand, effect of tree in the agroforestry systems evaluated was reflected just in the infiltration velocity and soil pH Results suggest that SOM contents affect in several soil properties both physical and chemical, being SOM a key indicator when soil is studied.

Key words: organic matter, agroforestry systems, monoculture, grassland, second-growth forest.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales consecuencias al nivel local y global del cambio en el uso del suelo es la degradación de los suelos y se ha demostrado que el efecto del uso puede producir cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, incluso a corto plazo (Islam y Weil, 2000). La degradación de los suelos, puede definirse como los cambios adversos en las propiedades y procesos del suelo, lo cual lleva a una reducción de los

servicios ecosistémicos (Palm *et al.*, 2007). Los efectos sobre las propiedades físicas incluyen aumento de la densidad en relación a los sistemas no perturbados, cambios en la proporción de macro-agregados y disminución en la estabilidad de los mismos (Celik, 2005).

En una investigación de Yadav *et al.* (2011), llevada a cabo en Rajasthan, India, suelos sin árboles presentaron concentraciones de C, N y P de 186, 23,2 y 8,4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente, y después de estar bajo sistemas agroforestales las concentraciones aumentaron a 262–320, 32,1–42,4 y 11,6–15,6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para C, N y P respectivamente; de igual manera, Staley *et al.* (2008), en una investigación realizada en Estados Unidos reportó reducciones en las pérdidas de suelo por la protección conferida por los árboles contra la erosión hídrica y eólica, así como una atenuación de los efectos a causa del pisoteo de los animales, evidenciada en una menor compactación y ausencia de deterioro en la estructura edáfica (menor densidad aparente y resistencia a la penetración, mayor porosidad y estabilidad de agregados), asociada con la rotación e introducción de árboles y arbustos en los sistemas donde se encontró que hay un mayor porcentaje de humedad en el suelo en un sistema silvopastoril con un 36,3% de humedad a comparación de un potrero con tan solo el 27,3%, así mismo, se encontraron diferencias en cuanto a densidad aparente entre un sistema silvopastoril con 0,82 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ frente a un potrero con 1,01 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Reis *et al.*, 2009).

En Colombia, el 9,1% de los suelos del territorio nacional tienen vocación agrícola, el 9% vocación ganadera, el 19% vocación agroforestal y el 62,5% vocación forestal, de conservación y recuperación (IGAC, 2004). Por lo tanto, se estima que se presenta un sobreuso de tierras en 37,2%, así, alrededor del 80% de la zona andina está afectada por la erosión, por lo tanto, 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, el proceso de degradación de suelos en la región, avanza cerca de 2000 ha anuales (CORPONARIÑO, 2007; CORPONARIÑO, 2012).

Por su parte, en el departamento de Nariño, la degradación de las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos, y la consecuente pérdida acelerada de la productividad, constituyen el principal limitante de la producción agropecuaria; y es que hay un desajuste

entre la capacidad y el uso del suelo y aplicación de tecnologías no apropiadas que han ocasionado que gran parte de los sistemas productivos del departamento se encuentren afectados y/o alterados por procesos de degradación, que han producido cambios negativos en la profundidad efectiva, estabilidad estructural, densidad aparente, porosidad, contenido de materia orgánica del suelo, proceso de acidificación, disminución de los contenidos de calcio y magnesio, reducción de retención de humedad y desactivación parcial de la acción biológica principalmente (Ordóñez, 2007).

Según Aguirre y Ordóñez (2009), en la investigación “dinámica y movimiento del agua en suelos con diferentes usos en sistemas productivos del altiplano de Pasto – departamento de Nariño”, encontraron mejores condiciones de suelo en aquellos tratamientos que mostraron aportes de materia orgánica del suelo, la cual contribuye a la estabilidad estructural, un aumento en la macroporosidad, y en general mejora las condiciones físicas del suelo.

En este sentido y teniendo en cuenta la deficiente información referente a la dinámica de las propiedades físicas y químicas en diferentes usos de suelo en la región alto andina de Nariño, se ve la necesidad de llevar a cabo esta investigación con el objetivo de evaluar el comportamiento de algunas propiedades físicas y químicas en seis diferentes usos y manejos del suelo en la Granja Experimental Botana, Pasto, Nariño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Esta investigación se realizó en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño (Figura 1), ubicada en la vereda Botana, municipio de Pasto, localizada al occidente del meridiano de Greenwich a 77° 18' 58'' longitud oeste y 1° 10' 11,4'' latitud Norte, a 2.820 msnm, temperatura promedio de 12°C, precipitación media anual de 800mm de agua, humedad relativa 70 a 80% con 900 horas sol promedio·año⁻¹. Perteneciente a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh – MB) (Lagos *et al.*, 2001; IDEAM, 2005).

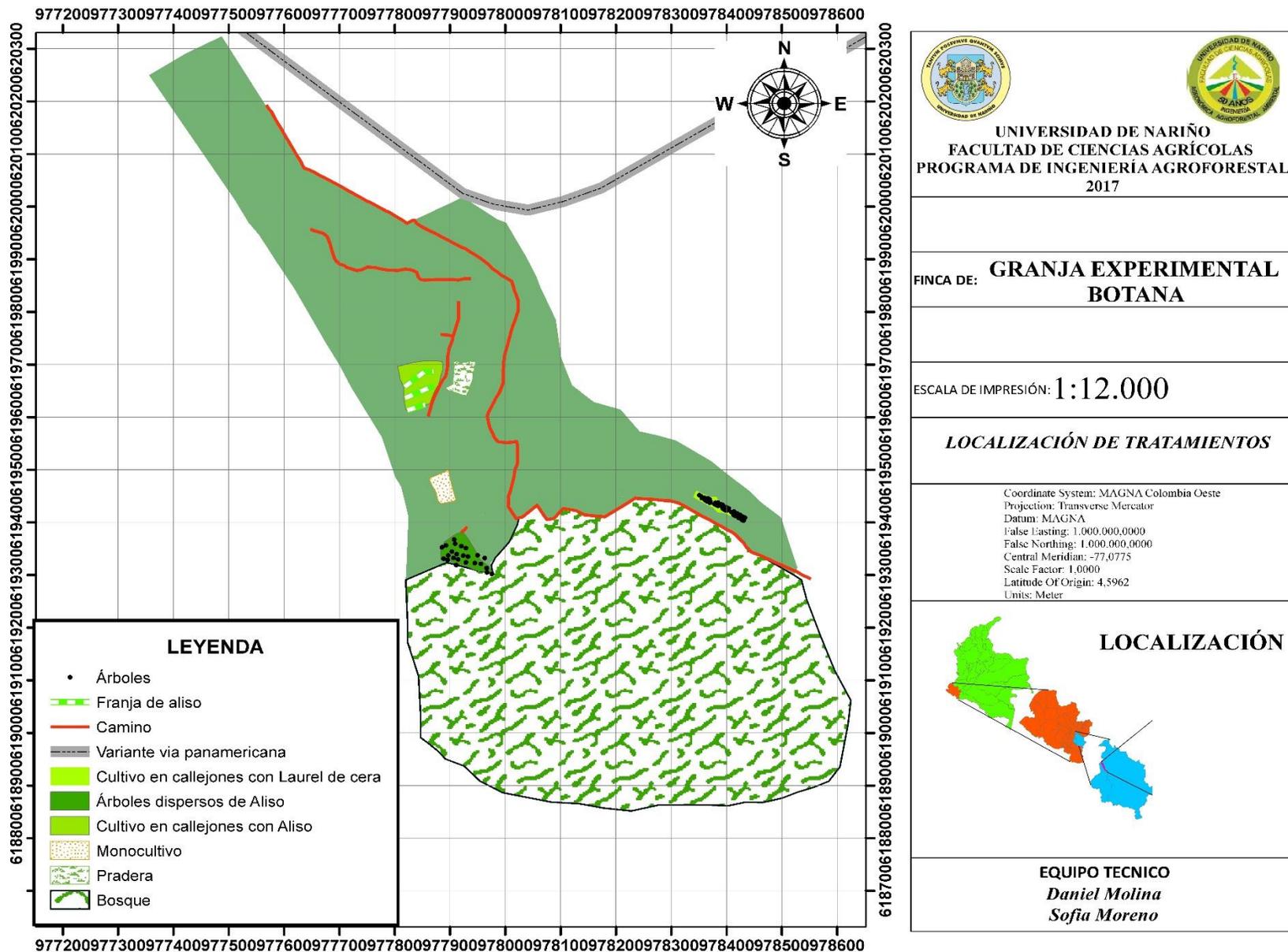


Figura 1. Mapa de localización de tratamientos en la Granja Experimental Botana, 2017.

Descripción de tratamientos

Tratamiento 1 (T1). Corresponde a un sistema silvoagrícola, bajo un arreglo de cultivo en callejones con laurel de cera (*Morella pubescens* (Humb. & Bonpl.) Wilbur), el cual fue implementado en el año 2000, el sistema cuenta con un área aproximada 0,3 ha, con una distancia de siembra de 6 m al cuadrado.

Tratamiento 2 (T2). Corresponde a un sistema silvopastoril bajo un arreglo de árboles dispersos con aliso (*Alnus acuminata* Kunth), el cual fue implementado en el año 2000, el sistema tiene un área aproximada de 0,72 ha, y cuenta con 57 árboles de aliso.

Tratamiento 3 (T3). Corresponde a un sistema silvoagrícola bajo un arreglo de cultivo en callejones con aliso (*A. acuminata*), el cual fue implementado en el año 2002, el sistema tiene un área aproximada de 0,46 ha, y cuenta con 172 árboles de aliso, dispuestos en 6 franjas en dirección noroeste–sureste; con un espaciamiento entre callejones de 5 m y con distancia de siembra de 3 m entre árboles.

Tratamiento 4 (T4). Corresponde a monocultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), terreno ubicado en el lote 25 de la granja experimental Botana, y de acuerdo a Albornoz (2016), el terreno cuenta con un área aproximada de 0,23 ha, el cual se ha venido manejando bajo monocultivo de papa, este terreno ha sido sometido a la producción intensiva de este cultivo, con altas aplicaciones de fertilizantes químicos y empleo de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades.

Tratamiento 5 (T5). Corresponde a una pradera de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.), pradera ubicada en las terrazas I de la granja experimental Botana, y de acuerdo a Albornoz (2016), esta cuenta con una área aproximada de 1 ha, la cual no ha sido sometida a ningún manejo rotativo durante los últimos 10 años.

Tratamiento 6 (T6). Corresponde al bosque secundario de la granja experimental Botana, en el cual se tienen identificadas 34 especies, distribuidas en 25 generos y 18 familias, entre las especies de mayor importancia están, *M. pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.), *Myrsine coriaceae* (Sw.) Roem & Schult, *Viburnum triphyllum* Benth. *Vallea stipularis* Mutis ex. L.F. (Argotty y Collazos, 2001).

Muestreo. Se realizó el muestreo en cada uno de los sistemas, para el caso de T4, T5 y T6, se sectorizó el área en tres zonas (alta, media y baja) para la toma de 5 submuestras en cada zona, de las cuales se obtuvo una muestra representativa por zona y 3 por tratamiento, correspondientes a las repeticiones; y para el caso de tres sistemas agroforestales, se sectorizó el área en tres zonas (alta, media y baja), además, se tomaron muestras teniendo en cuenta dos distancias con respecto al árbol, las cuales fueron <0,5 m (cerca al árbol) y >2,5m (lejos del árbol), para la toma de 5 submuestras en cada zona, de las cuales se obtuvo una muestra representativa por zona y 6 por tratamiento, correspondientes a las repeticiones. Se planteó un diseño bloques completamente al azar, donde el efecto de bloque es el uso del suelo y las repeticiones las diferentes franjas en cada uso (Navia *et al.*, 2016).

Medición de variables. En cada tratamiento se tomaron muestras de suelo, para un total de 27 muestras, las cuales se transportaron a los laboratorios especializados de suelos de la Universidad de Nariño, y se procedió a medir las variables que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables del suelo medidas en la Granja Experimental Botana, Pasto, Nariño, y su respectiva metodología de medición.

Parámetro	Método	Referencias
pH	Potenciométrico suelo:agua (1:1) NTC 5264	ICONTEC, 2008.
Materia orgánica del suelo	Walkley-Black (colorimétrico) NTC 5403	ICONTEC, 2006.
Fósforo disponible	Bray II NTC 5350	ICONTEC, 2005.
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio 1N pH 7,0- Titulométrico NTC 5268	ICONTEC, 2014.
Calcio, magnesio y potasio de cambio	Acetato de amonio 1N pH 7,0-E.A.A. NTC 5349	ICONTEC, 2008.
Aluminio de cambio	Cloruro de potasio 1N titulométrico NTC 5263	ICONTEC, 2004.
Hierro, manganeso, cobre y zinc disponible	DTPA- absorción anatómica NTC 5526	ICONTEC, 2007.
Boro	Extracción agua caliente-colorimetría con azometina H NTC 5404	ICONTEC, 2011.
Nitrógeno total	Cálculo de la materia orgánica del suelo NTC 5403	ICONTEC, 2006.
Carbono orgánico	Walkley-Black (colorimétrico) NTC 5403	ICONTEC, 2006.
Azufre	Fosfato básico de calcio NTC 5402	ICONTEC, 2006.
Densidad aparente	Cilindro- gravimétrica	ICONTEC, 2006.
Densidad real	Picnómetro	IGAC, 2006.
Textura	Bouyoucos	IGAC, 2006.

Curva de Retención de Humedad a diferentes tensiones (cada punto)	Mesa de tensión y membrana de presión	IGAC, 2006.
Estabilidad de agregados en húmedo	Yoder	IGAC, 2006.
Estabilidad de agregados en seco	Shaker	IGAC, 2006.
Porosidad total	$P = 1 - [D_a/D_r] * 100$	IGAC, 2006.
Infiltración	Infiltrómetro de doble anillo	Bouwer, 1961.
Conductividad hidráulica	Infiltrómetro de minidisco	Decagon Devices, 2016.
Resistencia a la penetración	Penetrómetro (SC 900 Soil Compaction Meter)	Spectrum technologies, 2009.
Humedad volumétrica	Time Domain Reflectometer (TDR 300 Soil Moisture Meter)	Spectrum Technologies, 2009. Calibración (Mosquera, 2006).

Análisis estadístico. Las diferentes variables fueron sometidas a análisis de componentes principales (ACP) para reducir la dimensionalidad de los datos, descartar variables redundantes y depurar solo aquellas que representan mayor aporte de variabilidad entre los usos del suelo; análisis cluster, utilizado para clasificar los diferentes tratamientos y formar grupos homogéneos de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas. Posteriormente se realizó un análisis de varianza y prueba de Tukey, para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, finalmente se realizó un análisis de varianza anidado para determinar si existen diferencias en las variables evaluadas a las dos distancias respecto al árbol.

El análisis de componentes principales y el análisis cluster fueron realizados en el software estadístico PAST versión 3.16, y el análisis de varianza, pruebas de Tukey y análisis de varianza anidado se realizaron en el software estadístico R studio versión 3.4.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de componentes principales aplicado a los resultados obtenidos para las 26 variables evaluadas en los seis usos y manejos del suelo (Tabla 2), indicó que 15 de las 26

variables trabajadas fueron las de mayor peso para el estudio, permitiendo agruparlas en dos componentes principales que explican el 77,26% de la varianza (Tabla 3).

Tabla 2. Resultados promedio de los análisis físico-químicos de seis usos y manejos del suelo en la Granja Experimental Botana, 2017.

Variables	Tratamiento					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Da (g/cm ³)	0,77	0,89	0,95	0,93	0,87	0,61
Dr (g/cm ³)	2,33	2,4	2,36	2,32	2,6	2,24
Porosidad (%)	67,03	62,72	59,75	59,54	66,14	72,93
Textura	Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcillo arenoso	Franco arenoso
Arenas (%)	64,79	41,65	40,81	39,71	52,55	74,66
Limos (%)	22,93	35,19	23,73	27,86	23,68	20,49
Arcillas (%)	12,29	23,17	35,46	32,43	23,77	4,84
K (cm/s)	0,000447	0,000419	0,000378	0,000448	0,000433	0,000412
Infiltración (cm/hora)	2,96	3,27	3,77	6,76	1,43	14,31
Resistencia a la Penetración (Mpa)	1,46	1,58	1,32	0,24	1,50	1,57
CC (2,54 pF)	47,92	41,76	41,46	41,07	37,66	57,58
PMP (4 pF)	31,99	23,31	23,59	22,09	24,98	46,04
θ	36,06	36,28	40,44	36,8	43,92	18,11
pH	5,39	5,29	5,75	5,21	5,7	5,37
MOS (%)	9,77	5,88	3,46	3,16	3,47	16,99
P (mg/Kg)	12,93	15,03	22,2	22,5	12,01	5,31
C.I.C. (cmol ⁺ /Kg)	29,82	23,38	20,8	19,9	22,17	53,43
N (%)	0,37	0,23	0,13	0,12	0,13	0,55
CO (%)	5,67	3,41	2,01	1,83	2,01	9,85
S (mg/Kg)	4,81	2,72	3,48	5,03	2,43	3,29
Ca (cmol ⁺ /Kg)	8,11	6,18	9,14	7,27	4,71	8,11
Mg (cmol ⁺ /Kg)	2,04	1,59	3,76	3,61	2,6	2,11
K (cmol ⁺ /Kg)	0,8	0,62	1,23	0,84	0,81	0,74
Fe (mg/Kg)	177,5	157,67	167,5	130,67	176,33	125,63
Mn (mg/Kg)	12,33	17,33	30,58	25,8	27,67	4,2

Cu (mg/Kg)	4,83	1,7	6,1	2,33	4,36	0,69
Zn (mg/Kg)	2,96	1,22	6,7	3,79	4,47	1,18
B (mg/Kg)	0,12	0,1	0,1	0,05	0,09	0,05

Tabla 3. Análisis de componentes principales de propiedades físicas y químicas en diferentes usos y manejos del suelo en la Granja Experimental Botana, 2017.

Componente	Variable	Valor de contribución al componente	% Varianza
I	MOS (%)	0,977	58,83%
	C orgánico (%)	0,9768	
	N total (%)	0,9685	
	Mn	-0,963	
	C.I.C. (cmol ⁺ /Kg)	0,9604	
	Densidad aparente (g/cm ³)	-0,9585	
	Capacidad de campo	0,9412	
	Punto de marchitez permanente	0,9382	
	Porosidad	0,8786	
	Infiltración (cm/hora)	0,8041	
II	Resistencia a la penetración (Mpa)	0,8122	18,43%
	Hierro (mg·Kg ⁻¹)	0,7735	
	Boro (mg·Kg ⁻¹)	0,7197	
	pH	0,6359	
	Densidad Real (g/cm ³)	0,6220	

Como se evidencia en la Tabla 3 y Figura 2, las variables de mayor contribución al 58,83% de la varianza en el primer componente fueron: contenidos de materia orgánica del suelo, N, CO, densidad aparente, humedad (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), CIC, porosidad y Mn. De estas variables, la Da y el Mn presentaron una correlación negativa a la MOS. El componente dos explica el 18,43% de la varianza, con las variables: resistencia a la penetración, Fe, B, pH y Dr.

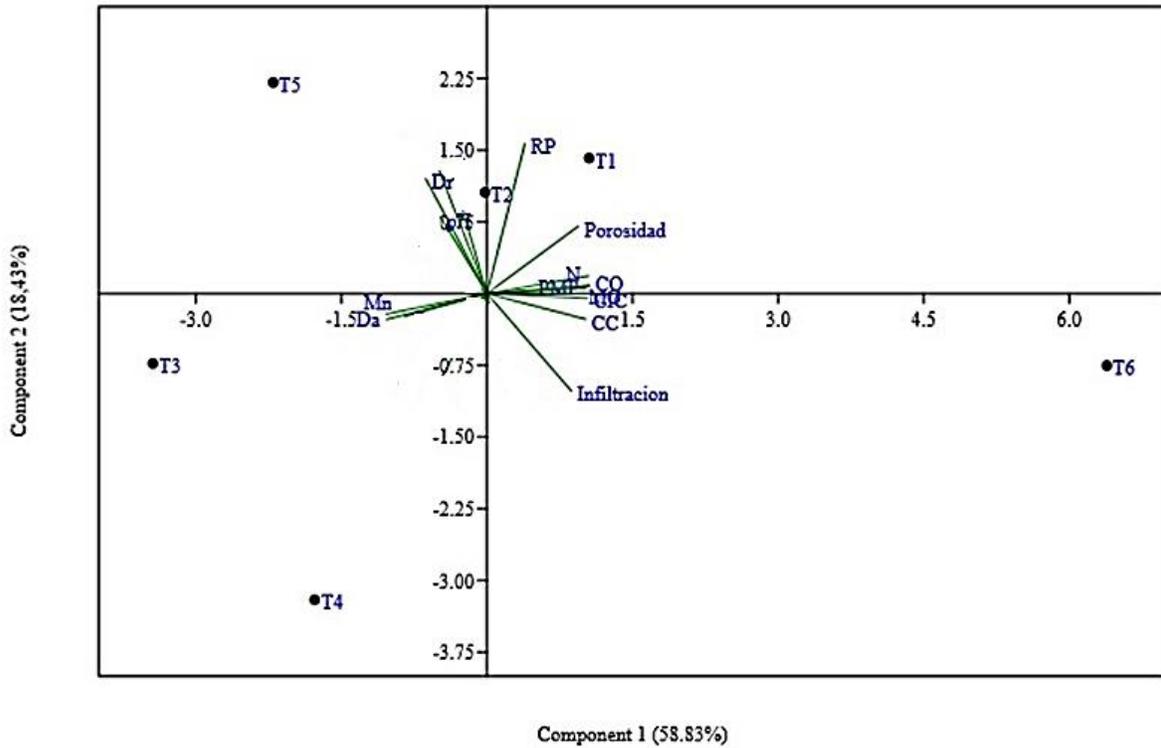


Figura 2. Diagrama de dispersión de los tratamientos en función del primer y segundo componente principales, según las variables físicas y químicas medidas en la Granja Experimental Botana, 2017.

Algunos estudios determinan que la materia orgánica del suelo y la capacidad de intercambio catiónico juegan un papel importante al momento de estudiar las propiedades del suelo, tal es el caso de Villazón *et al.* (2017), quienes mediante un análisis multivariado determinan el efecto de la erosión sobre las propiedades químicas de algunos suelos en México y encuentran que la mayor variación está representada por saturación por bases, la materia orgánica del suelo, entre otras. Bugarín *et al.* (2010), evalúan diferentes sistemas silvopastoriles ubicado en la llanura norte de Nayarit (México), y encontraron que los lugares de muestreo con mayores porcentajes de materia orgánica del suelo coincidían con los sitios donde se presentaban las mejores condiciones físicas del suelo.

Con el fin de agrupar los diferentes usos y manejos del suelo con base en sus variables físicas y químicas evaluadas en la Granja Experimental Botana, se realizó el análisis cluster

a partir de las variables que presentaron diferencias significativas, indicando que con un índice de Ward de 6 se forman tres grupos (Figura 3).

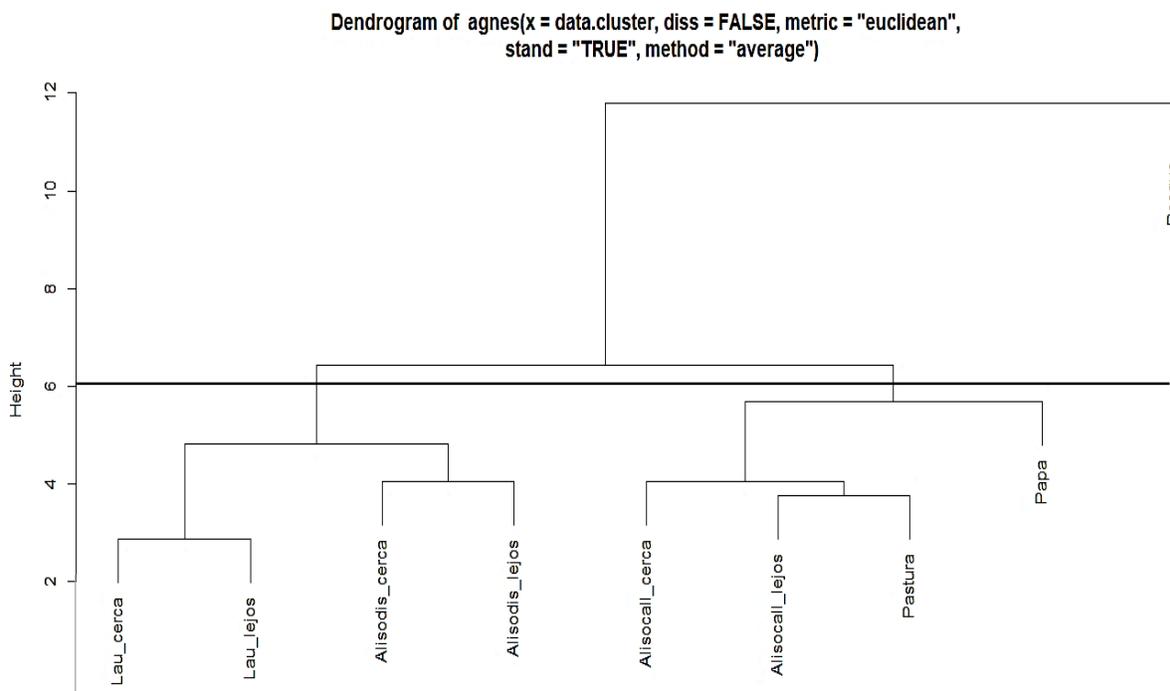


Figura 2. Análisis cluster para propiedades físicas y químicas en seis usos y manejos del suelo, 2017.

Se identificaron 3 grupos, el grupo uno estuvo formado por dos usos de suelo, los cuales fueron el sistema de cultivo en callejones con *M. pubescens* y sistema de árboles dispersos con *A. acuminata* que presentaron mayores promedios en la MOS, CO y N frente al grupo dos, con porcentajes de MOS entre el 5,8% y 9,7%, porcentajes de CO entre el 3,4% y 5,6%, porcentajes de N entre 0,23% y 0,37%.

El grupo 2 estuvo formado por tres usos de suelo, los cuales fueron el sistema de cultivo en callejones con *A. acuminata*, pastura y monocultivo de papa, que presentaron en general, los valores más bajos en la mayoría de las variables analizadas y se tiene que para MOS los suelos tuvieron porcentajes inferiores a 3,47%, N menor a 0,13% y para CO valores inferiores al 2,75%, de igual manera, se tiene que ese grupo de usos de suelo presentaron los mayores valores para densidad aparente con promedios superiores a 0,87 g/cm³. Comparando el grupo uno con el grupo dos, se determinó que no existen diferencias

significativas entre las variables de CIC, punto de marchitez permanente, capacidad de campo e infiltración.

Finalmente, el grupo tres está conformado solo por el bosque, el cual, como se ha mencionado anteriormente, presenta mayores promedios en la mayoría de las variables, esto debido a la presencia de cobertura arbórea permanente y la ausencia de actividad antrópica en el sitio, permitiendo mantener las características propias del suelo que sirvieron de referencia para la comparación entre los diferentes usos y manejos del suelo evaluados.

Propiedades químicas del suelo

El análisis de varianza deja ver que los contenidos de MOS, N, CO, la CIC, el Mn, presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para los seis diferentes usos de suelo (Tabla 4). Las propiedades químicas que no presentaron diferencias significativas fueron los contenidos de B y Fe.

Tabla 4. Análisis de varianza (prueba de Tukey) de algunas variables químicas evaluadas en los seis usos del suelo en la Granja Experimental Botana, 2017.

Variable	p-valor	Prueba de Tukey
MOS (%)	<0,001	T6 (16,4) a >T1 (9,77) b >T2 (5,88) c > T5 (3,47) d , T3(3,46) d , T4(3,16) d .
N (%)	<0,001	T6(0,55) a >T1(0,37) b >T2(20,3) c > T5(0,13) d , T3(0,13) d , T4(0,12) d .
CO (%)	<0,001	T6(9,85) a >T1(5,67) b >T2(3,41) c > T5(2,01), T3(2,0), T4(1,83) d .
CIC (cmol+/Kg)	<0,001	T6(53,43) a > T1 (29,82) b >T2(23,38) c , T5(22,17) c >T3(20,08) d , T4(19,9) d
Mn (mg·Kg ⁻¹)	0,0092	T3(30,58) a >T5(27,67) b , T4(25,8) b , T2(17,33) b >T1(12,33) c , T6(4,20) c

Materia orgánica del suelo, N y CO. De acuerdo al análisis de varianza para la variable de MO, los mayores porcentajes se evidenciaron en el tratamiento 6 (bosque) con un valor promedio de 16,42%, porcentaje que representa altos contenidos de MOS para clima frío en Colombia (Arias *et al.*, 2007) y los menores porcentajes en los tratamientos 3, 4 y 5 (cultivo en callejones, papa y pastura) con valores promedios de 3,46%, 3,16%, y 3,47% respectivamente, que representan bajos contenidos de MOS (Arias *et al.*, 2007). El mismo comportamiento presentó las variables de nitrógeno y carbono orgánico, siendo así que para T6 el porcentaje promedio de N 2,28% y el porcentaje promedio de CO 8,1%, los cuales

fueron mayores comparados con los resultados encontrados en T3 (N 0,13%, CO 2,0%), T4 (N 0,11%, CO 1,8%) y T5 (0,13%, CO 2,0%).

Según Jhonstom (1991), la cantidad de materia orgánica del suelo en el suelo depende de muchos factores, tales como la incorporación de nuevos restos orgánicos al suelo y la velocidad de descomposición, la textura del suelo, la aireación, humedad y los factores climáticos. Al respecto Navia *et al.* (2016), mencionan que el efecto del uso y manejo del suelo, generan cambios significativos en los porcentajes de MO, CO, y N, así por ejemplo, un monocultivo intensivo genera una disminución progresiva de estos porcentajes debido a que existe una disminución en la incorporación de residuos de origen orgánico al sistema.

En otro caso, Céspedes (2007), afirma que en las praderas, la mayoría de los residuos orgánicos son producidos por las raíces y en consecuencia, son directamente incorporados en el interior de perfil. Esto en sí mismo constituye una diferencia sustancial con los bosques o suelos con presencia de árboles, en donde sus residuos son producidos por el dosel y por lo tanto, depositados en la superficie del suelo (Céspedes, 2007). En este sentido, cuando las praderas son sustituidas por árboles o arbustos, se asume por lo general que los ecosistemas aumenten sus contenidos de materia orgánica del suelo, esto debido al menor contenido de C de las gramíneas y herbáceas en relación con las plantas leñosas (Céspedes, 2007), lo anterior se ve evidenciado en el estudio donde existe una diferencia promedio de 12,9% en contenidos de MOS entre pastura y bosque.

Por otra parte, en el T3 (arreglo de cultivo en callejones con *A. acuminata*) se evidenciaron bajos valores en los porcentajes de MO, N, CO y un alto valor en la Da, este comportamiento se debe al manejo inadecuado del componente forestal debido a que al sistema no se le realizaron podas periódicas y por lo tanto no hay un aporte de materiales orgánicos. El aporte de biomasa al sistema por medio de podas periódicas del componente forestal influye directamente en el aumento de las concentraciones de materia orgánica del suelo en el suelo a largo plazo, reflejando un efecto contrario cuando el sistema carece de este manejo como se puede ver en el suelo estudiado bajo el sistema de cultivo en callejones con *A. acuminata*, el cual ha sido podado escasamente desde su implementación

y el material vegetal no ha sido incorporado al sistema, perdiendo por completo la finalidad del mismo.

De acuerdo con Mendieta y Rocha (2007), los cultivos en callejones consiste en la asociación de árboles o arbustos (generalmente fijadores de nitrógeno) intercalados en franjas con cultivos anuales, en donde el componente leñoso debe ser podado periódicamente para utilizar los residuos de la poda y ser incorporados al sistema para aumentar los contenidos de materia orgánica del suelo del suelo.

Capacidad de intercambio catiónico. T6 fue el tratamiento que presentó el valor promedio más alto de CIC (53,43 cmol^+/Kg) comparado con T3 y T4, tratamientos que presentaron los valores más bajos de CIC (20,8 y 19,90 cmol^+/Kg , respectivamente), el comportamiento presentado en T6 probablemente se debe a los contenidos de MOS (16,9%) y en menor medida a las arcillas (4,8%), caso contrario de la CIC encontrada en T3 y T4, la cual se asocia en gran parte a los contenidos de arcillas (35,4% y 32,4% , respectivamente) y no a la MOS (3,46% y 3,16%, respectivamente).

En un estudio realizado por Navia *et al.* (2016), en el que evalúan el comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos en el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, se determinó que la MOS está altamente correlacionada con la CIC. Así mismo, Gavilán (2004), sostiene que los materiales orgánicos presentan una elevada capacidad de intercambio catiónico y por tanto, una alta capacidad tampón frente a cambios rápidos en la disponibilidad de nutrientes y en el pH. De acuerdo con Kapland y Estes, (1985) y Fageria *et al.* (2010), indican que hay una relación directamente proporcional entre MOS-CIC, y determinan que un incremento del 1% en MOS en pesos seco resulta en un incremento del aproximadamente 1,7 cmol^+/Kg en la CIC del suelo. Afirmación que se aproxima a la realidad de los suelos de botana, en donde al comparar el bosque, tratamiento que presenta los mayores valores de MOS y CIC, frente a los demás tratamientos evaluados se presenta un incremento promedio de 1,52 cmol^+/Kg por cada 1% en el incremento de MOS.

Manganeso. La materia orgánica del suelo forma uniones débiles con el Mn y se ha observado que al agregar materia orgánica del suelo al suelo se produce un aumento entre 10 y 55 % del contenido de Mn, sin embargo altos contenidos de materia orgánica del suelo puede generar el efecto contrario (Sierra, 2016), lo que se evidencia en el estudio, en donde se presentan bajos contenidos de Mn cuando existen altos contenidos de MOS (T6: Mn 4,2 mg/kg, MOS 16,9%) y así mismo, cuando se presentaron bajos contenidos de MO, los contenidos de Mn se incrementaron (T5: Mn 27,67 mg/kg, MOS 3,47%).

Propiedades físicas del suelo

Por otro lado, el análisis de varianza deja ver que la Da, porosidad, punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC), resistencia y la resistencia a la penetración, presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para los seis diferentes usos (Tabla 5). La única variable que no presentó diferencias significativas fue la Dr.

Tabla 5. Análisis de varianza (prueba de Tukey) de algunas variables físicas evaluadas en los seis usos del suelo en la Granja Experimental Botana, 2017.

Variable	p-valor	Prueba de Tukey
Da (g/cm ³)	0,01	T3(0,98) a , T4(0,93) a , T2(0,89) a >T5 (0,87) b , T1 (0,77) b >T6 (0,61) c .
Porosidad (%)	0,03	T6(74,13) a > T1(67,78) b , T5(66,14) b , T2(62,72) b > T3(59,74) c > T4(59,54) d
PMP (%)	<0,001	T6(46,04) a >T1(31,99) b , T5(24,98) b , T3(23,59) b , T2(23,32) b , T4(22,09) b .
CC (%)	0,01	T6(55,13) a > T1(47,92) b > T2(41,76) c , T3(41,46) c , T4(41,07) c , T5(37,66) c
Resistencia a la penetración (MPa)	0,0065	T2(1,59) a , T6(1,58) a , T5(1,50) a , T1(1,47) a , T3(1,33) a > T4(0,25) b
Infiltración (cm/h)	<0,001	T6(14,31) a >T4(6,76) b >T3(3,77) c , T2(3,27) c , T1(2,97) c , T5(1,43) c .

Densidad aparente. Con relación a la Da, se encontraron valores promedios entre 0,61 y 0,95 g/cm³, donde el mejor resultado lo presentó T6 con una Da 0,61 g/cm³ y T3 presentó el valor más alto de Da (0,95 g/cm³) al igual que T4 con Da 0,93 g/cm³, como se puede observar, existe una relación inversamente proporcional entre MOS y Da, por lo que, a medida que aumenta la MOS, disminuye la Da, comportamiento reflejado en el T6 con la Da más baja y el mayor porcentaje de MOS (16,42%) frente a T3 y T4 que presentan la Da más alta del estudio y menores contenidos de MOS (T3 3,46% y T4 3,26%). Según Dick

(2005), la Da es afectada por las partículas sólidas y por el espacio poroso, el cual a su vez está determinado principalmente por la materia orgánica del suelo del suelo, así, a medida que aumenta la MOS y el espacio poroso, disminuye la Da (Stine y Weil, 2002).

Porosidad. La porosidad está estrechamente relacionada con la Da y MOS, por lo tanto, los resultados obtenidos para porosidad en el estudio se comportaron igual que los encontrados en la Da, donde T6 con una Da $0,61 \text{ g/cm}^3$ presentó una porosidad del 74,13%, siendo el valor más alto registrado en el estudio; caso contrario se encontró en T3 y T4, los cuales con Da $0,95 \text{ g/cm}^3$ y $0,93 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, presentaron una porosidad de 59,74% (T3) y 59,54% (T4). De acuerdo con Vélez y Noguera (2011), un bosque debido a su cobertura, presenta mayor capa de materia orgánica del suelo ejerciendo un efecto en la porosidad del suelo, lo cual favorece la infiltración y la permeabilidad, conllevando a menores pérdidas de suelo y agua.

Al respecto Kaurichev (1984), menciona que porosidades totales mayores del 70% se califican como excesivas, siendo posible que la alta y diversa población de especies arbóreas por su aporte de materia orgánica del suelo, aumenten la cantidad de macroporos promotores del drenaje y aireación (Vélez y Noguera, 2011). Además, Ordóñez *et al.* (1992), indican que un cambio de cobertura original de bosque por cultivo o por pastos, trae consigo a una disminución de un 20% de la porosidad total, esto debido a la reducción en los aportes de los residuos de origen orgánico al suelo.

Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). El T6 tuvo los mayores porcentajes de humedad CC (55,13%) y PMP (36,60%), seguido de T1 CC (47,92%) y PMP (32%), en comparación con T5 que presentó los porcentajes de humedad más bajos CC (37,66%) y PMP (24,98%); al igual que las anteriores variables, el comportamiento con la humedad en T6 se asocia a los altos contenidos de MOS, a pesar de presentar altos contenidos de arenas (74,76%), caso contrario lo presentó T5 cuyos porcentajes de retención de humedad se atribuyen a los contenidos de arcilla (23,77%) y en menor medida a los contenidos de MOS. Según Salcedo *et al.* (2007), los suelos con mayor humedad tuvieron los valores más altos de MOS. Así mismo Liebig *et al.* (2004), atribuyen

los contenidos de humedad en el suelo a una interacción positiva entre las partículas de la fracción fina del suelo ($<0,002 \mu\text{m}$) y la MOS en complejos órgano minerales.

Resistencia a la penetración. Para el caso de la resistencia a la penetración, se encontraron diferencias significativas entre T4 con una resistencia de 0,24 MPa y el resto de los tratamientos con resistencias que van entre 1,33 y 1,59 MPa, esto debido probablemente al efecto de la labranza del suelo realizado a la hora del muestreo y en menor grado atribuido a las propiedades físicas y químicas propias del suelo. Resultados similares fueron encontrados por Bernal *et al.* (2007) y Safar *et al.* (2011), quienes evidenciaron que los suelos donde se utilizó la tracción mecánica presentaron menores valores de resistencia a la penetración y dicha disminución se atribuyó a los diferentes sistemas de labranza utilizados.

Velocidad de infiltración. Se encontraron velocidades de infiltración desde 1,43 hasta 14,31 cm/h, donde la mayor velocidad de infiltración la presentó T6 (14,31 cm/h), seguido del T4 (6,76 cm/h), para el caso de los resultados de T6 dicho valor se debe al efecto de las raíces de los árboles y a la alto porcentaje de MOS, que conlleva a una menor D_a y un alta cantidad de poros (74,13%), mientras que la velocidad de infiltración para T4 se debió probablemente en mayor medida al efecto del labrado del suelo a la hora del muestreo y en menor proporción a las propiedades físicas y químicas del suelo. El sistema radicular de los árboles penetra los diferentes horizontes, generando una compleja red de canales estables gracias a la liberación de sustancias orgánicas por las raíces, que estabilizan la superficie de los mismos, una vez que las raíces han muerto y se han contraído, dichos poros serán lo suficientemente grandes y estables como para facilitar la infiltración del agua (Shaxson y Barber, 2005; Rodríguez *et al.*, 2016). Los sistemas de cultivo y labranza influyen en la velocidad de infiltración del agua en el suelo, por la alteración de la estructura, densidad aparente y porosidad; la labranza del suelo puede, inicialmente, mejorar la infiltración y, algunas veces, beneficiar el drenaje, pero, con el tiempo, la labranza favorece la degradación de la estructura y la reducción de la tasa de infiltración (FAO, 2000).

Propiedades del suelo bajo sistemas agroforestales

Como se evidencia en la Tabla 6, teniendo en cuenta la influencia del árbol dentro de los sistemas agroforestales evaluados, sólo el pH y la infiltración presentaron diferencias significativas (p-valor <0.05).

Tabla 6. Análisis de varianza anidado de algunas variables físicas y químicas considerando la influencia del componente arbóreo en tres sistemas agroforestales en la Granja Experimental Botana, 2017.

Variable	Tratamiento	< 0,5 m	> 2,5 m	p-valor con el factor del árbol
Infiltración	T1	4,07 cm/h	1,86cm/h	0,04*
	T2	4,14 cm/h	2,4 cm/h	
	T3	5,70 cm/h	1,83 cm/h	
pH	T1	5,28	5,51	0,027*
	T2	5,11	5,47	
	T3	5,73	5,76	

Infiltración. Se encontró que existe una mayor infiltración en las muestras de suelo tomadas a una distancia de 50 cm de los árboles frente a las muestras tomadas a >2,5 m. Para la primera distancia se encontró una infiltración promedio de 4,64 cm/h, (T1 4,07 cm/h; T2 4,14 cm/h; T3 5,70 cm/h) y para la segunda distancia una infiltración promedio de 2,03 cm/h (T1 1,86cm/h; T2 2,4 cm/h; T3 1,83 cm/h), este comportamiento se debió al efecto de las raíces del componente leñoso. Según Shaxson y Barber (2005); Rodríguez *et al.* (2016), las raíces de los árboles o cultivos de cobertura actúan como subsoladores biológicos que penetran los diferentes horizontes, generando canales más estables que los formados por medios mecánicos, ya que las raíces liberan sustancias orgánicas que estabilizan la superficie de los mismos, una vez que las raíces han muerto y se han contraído, dichos poros serán lo suficientemente grandes y estables como para facilitar la infiltración del agua.

pH. El pH presentó diferencias significativas para las dos distancias respecto al árbol, donde a distancias <0,5 m, el pH promedio fue de 5,3 y a distancias >2,5 m el pH promedio fue de 5,6, este comportamiento se atribuye al efecto de las especies fijadoras de N implementadas en los sistemas agroforestales estudiados. De acuerdo con Delgado *et al.*

(2016) y Ospina *et al.*, (2005), las especies implementadas en los SAFs en la Granja Experimental Botana, *M. pubescens* y *A. acuminata*, tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, gracias a la simbiosis con el actinomiceto del género *Frankia*, lo que incrementa la producción de H⁺ libres debido a la nitrificación lo cual desplaza a los cationes básicos (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) del complejo de cambio, generando una reducción del pH del suelo (Van Miegroet y Cole, 1984; Nava *et al.*, 2000). Por consiguiente las especies establecidas en los sistemas agroforestales de la granja Experimental Botana, en el proceso de nitrificación, aumentan la producción de H⁺ generando condiciones negativas referentes al pH.

CONCLUSIONES

Los tratamientos se agruparon de manera descendente de acuerdo con las condiciones físicas y químicas del suelo de la siguiente manera, Bosque>Cultivo en callejones con *M. pubescens*, Árboles dispersos con *A. acuminata* > Cultivo en callejones con *A. acuminata*, pradera y monocultivo.

El efecto de las distancias del árbol dentro de los tres sistemas agroforestales evaluados se reflejó solamente en la velocidad de infiltración y el pH del suelo.

Las condiciones de suelo bajo el arreglo de cultivo en callejones con *M. pubescens* presentaron una tendencia a las condiciones presentadas en los suelos de bosque secundario de la Granja Experimental de Botana.

Los contenidos de materia orgánica del suelo, influyen en diversas propiedades tanto físicas como químicas, siendo un indicador clave al momento de estudiar los suelos.

Las propiedades del suelo bajo el arreglo de cultivo en callejones con *A. acuminata* presentó características similares a los suelo bajo el monocultivo de papa y la pradera, esto causa al manejo inadecuado del arreglo, lo que conlleva a que el componente leñoso no cumpla con el objetivo al ser implementado.

RECOMENDACIONES

Este estudio es un referente para estudios futuros en los que se evalúen los cambios en las condiciones de suelo en diferentes usos y manejos, para conocer su comportamiento y respuesta frente a los sistemas de producción existentes.

Se deben formular planes de manejo para los sistemas agroforestales que permitan cumplir con las funciones para las cuales fueron implementados; y realizar buenas prácticas agrícolas y ganaderas en los sistemas de producción tradicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBORNOZ, C. 2016. Comunicación personal, 02 de Agosto de 2016, en la Granja experimental Botana. Pasto, Nariño.

ARGOTTY, F.; COLLAZOS, A. 2001. Composición florística y estructura del bosque secundario, Granja Botana, Universidad de Nariño-Pasto. Tesis Ingeniero Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

ARIAS, J.; RENGIFO, T.; JARAMILLO, M. 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Fríjol Voluble. En: <http://www.fao.org.co/manualfrijol.pdf>; consulta: octubre, 2017.

AGUIRRE, D., ORDÓÑEZ, Y. 2009. Dinámica y movimiento del agua en suelos con diferentes usos en sistemas productivos del altiplano de Nariño, municipio de Pasto. Tesis de grado Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 24 p.

BERNAL, N.; MONTEALEGRE, G.; IPAZ, S.; CHAPARRO, O.; RAMÍREZ, L. (2007). Efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y la pérdida de suelo en

la rotación papa-pastos en áreas de ladera en una región alto andina de Colombia. *Acta Agronómica*. 57(1):35-42.

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.

BUGARÍN, J.; BOJÓRQUEZ, J.; LEMUS, C.; MURRAY, R.; HERNÁNDEZ, A.; ONTIVEROS, H.; AGUIRRE, J. 2010. Comportamiento de algunas propiedades físico-químicas del suelo con diferente sistema silvopastoril en la llanura norte de Nayarit. *Cultivos Tropicales*, 31(2): 48-55.

CELIK, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*. 83(2), 270-277.

CÉSPEDES, C- 2007. Dinámica de la materia orgánica del suelo y de algunos parámetros físico-químicos en Molisoles, en la conversión de una pradera a cultivo forestal en la región de Piedras Coloradas-Algorta (Uruguay). Tesis doctoral en Ciencias agrícolas, Institut National Polytechnique (INPT), Ecole Supérieure d'Agronomie de Toulouse (ENSAT). Toulouse, Francia.

CORPONARIÑO. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO. 2007. Plan de acción trienal (PAT) 2007 - 2009. En: http://corponarino.gov.co/expedientes/planeacion/informe_gestion2008/informegestionfinal2008.pdf; consulta: septiembre, 2017.

CORPONARIÑO. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO. 2012. Plan de gestión ambiental regional. 2002 - 2012. En: <http://corponarino.gov.co/expedientes/planeacion/pgar20152032/diagnosticoPGAR20152032-parte1.pdf>; consulta: septiembre, 2017.

DECAGON DEVICES. 2016. Mini Disk Infiltrimeter. En: http://manuals.decagon.com/Manuals/10564_Mini%20Disk%20Infiltrimeter_Web.pdf; consulta: octubre, 2016.

DELGADO, I.; DAZA, J.; LUNA, C.; LEONEL, H.; FORERO, L. 2016. Cuantificación de carbono radical *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur en dos agroecosistemas (Nariño, Colombia). Colombia Forestal. 19(2):85 - 93. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a06>.

DICK, R. 2005. Soil Biological, chemical, and physical dynamics during transition to nonthermal residue management grass seed systems. En: <http://gscssa.wsu.edu/progress/00/100.htm>; consulta, octubre, 2017.

FAGERIA, N.; BALIGAR, V.; JONES, C. 2010. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. NorthWest, Washington: CRC Press.

FAO. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. En: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>; consulta: octubre, 2017.

GAVILÁN, M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. España: Mundi-Prensa. p.122.

ICONTEC. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. 2004. NTC 5263 calidad de suelo. Determinación de la acidez intercambiable. Bogotá D.C., Colombia. En: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5264.pdf>; consulta: octubre, 2016.

ICONTEC. 2005. NTC 5350 calidad de suelo. Determinación de fósforo disponible. Bogotá D.C., Colombia. En: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5350.pdf>; consulta: octubre, 2016.

ICONTEC. 2006. NTC 5402 calidad de suelo. Determinación del azufre disponible. Bogotá D.C., Colombia. En: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5402.pdf>; consulta: octubre, 2016.

ICONTEC. 2006. NTC 5403 calidad de suelo. Determinación del carbono orgánico. Bogotá D.C., Colombia. En: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5403.pdf>; consulta: octubre, 2016.

ICONTEC. 2007. NTC 5526 calidad de suelo. Determinación de micronutrientes disponibles: Cu, Zn, Fe y Mn. Bogotá D.C., Colombia. En: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5526.pdf>; consulta: octubre, 2016.

ICONTEC. 2008. NTC 5264 calidad de suelo. Determinación del pH. Bogotá D.C., Colombia. En: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5264.pdf>; consulta: octubre, 2016.

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. En: <http://www.cenicana.org/investigacion/seica/Compiladolibros2016/NTC5349.pdf>; consulta: octubre, 2016.

ICONTEC. 2011. NTC 5404 calidad de suelo. Determinación de B. Bogotá D.C., Colombia. En: <http://www.cenicana.org/investigacion/seica/Compiladolibros2016/NTC5404.pdf>; consulta: octubre, 2016.

ICONTEC. 2014. NTC 5268 calidad de suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. Bogotá D.C., Colombia. En: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5268.pdf>; consulta: octubre, 2016.

IDEAM. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. 2005. Datos meteorológicos. Pasto, Estación Meteorológica Botana.

IGAC. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño. En: ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00_shape_suelos/PROYECTO_DNP; consulta: septiembre, 2017.

IGAC. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Sexta edición. Imprenta nacional de Colombia. Colombia. 674p.

ISLAM, K.; WEIL, R. 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 79(1):9 - 16.

JHONSTOM, A. E. 1991. Soil fertility and soil organic matter, pp. 299-314. En: *Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment*. Ed. The Royal Society of Chemistry. Cambridge. 400 p.

KAPLAND, D.; ESTES, G. 1985. Organic matter relationship to soil nutrient status and aluminum toxicity in alfalfa. *Agron. J.* 77:735 - 738.

KAURICHEV, I. 1984. *Prácticas de edafología*. Primera Ed. en español. Ed. Mier. Moscu. 280p.

LAGOS, T.; CRIOLLO, H.; MOSQUERA, C. 2001. Evaluación preliminar de cultivares de uvilla o uchuva (*Physalis peruviana* L.) para escoger materiales con base en la calidad del fruto. *Rev. Cienc. Agr.* 18(2):82-94.

LIEBIG, M. TANAKA, L.; WIENHOLD, B. 2004. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in northern Great Plains. *Soil Tillage Res.* 78:131 - 141.

MENDIETA, M.; ROCHA, L. 2007. *Sistemas agroforestales*. En: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf; consulta: septiembre, 2017.

MOSQUERA, J. 2006. Efecto de la labranza vertical y convencional sobre algunas propiedades físicas de un suelo localizado en la vereda Santa Rosa, municipio de Imués, Nariño, Colombia. Tesis de maestría en ciencias agrarias con énfasis en suelos. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, Colombia.

NAVA, M.; GALICIA, L Y GARCIA, F. 2000. Efecto de dos especies de árboles remanentes y de un pasto en la capacidad amortiguadora del pH del suelo de un ecosistema tropical estacional. *Bol. Soc. Bot. México.* 67:17 - 24. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57706703>.

NAVIA, J; ARTEAGA, 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. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.53>.

ORDÓÑEZ, N.; LÓPEZ E.; BOTERO, P. 1992. Cambios en las propiedades de los suelos, relacionados con la colonización del bosque natural, en un área del Guaviare. *Colombia Amazónica* 6 (1):37 - 64.

ORDÓÑEZ, E. 2007. Efecto del sistema guachado (wachay) y uso del suelo sobre algunas propiedades físicas en la microcuenca del Río Bobo, departamento de Nariño. Tesis de maestría en ciencias agrarias con énfasis en suelos. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, Colombia.

OSPINA, C.; HERNÁNDEZ, R.; GÓMEZ, D.; GODOY, J.; ARISTIZÁBAL, F.; PATIÑO, J.; MEDINA, J. 2005. El aliso o cerezo *Alnus acuminata* H.B.K. spp. *acuminata*. En: <http://www.cenicafe.org/es/publications/aliso.pdf>; consulta octubre, 2017.

PALM, C.; SANCHEZ, P.; AHAMED, S.; AWITI, A. 2007. Soils: A Contemporary Perspective. *Annual Review of Environment and Resources*. 32(1):99 - 129.

REIS, G.; LANA, Â.; MAURICIO, R.; LANA, R.; MACHADO, R.; BORGES, I.; NETO, T. 2009. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. *Plant and Soil*. (329):185 - 193. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0144-5>.

RODRÍGUEZ, S.; ACEVEDO, D.; ÁLVAREZ, E.; URIBE, M. 2016. Indicadores de calidad de un suelo para la producción de maíz bajo sistemas agroforestal y monocultivo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16:3263 - 3275.

SAFAR, S.; GONZÁLEZ, H.; CAPPELLI, N. 2011. Efecto de los arados rotativos sobre algunas propiedades físicas de un suelo franco arcilloso. *Rev CES Med Vet Zootec*. 6(1):32 - 44.

SALCEDO, E; GALVIS, A.; HENÁNDEZ, T.; RODRÍGUEZ, R.; ZAMORA, F.; BUGARIN.; R.; CARRILLO, R. 2007. La humedad aprovechable y su relación con la

materia orgánica del suelo y superficie específica del suelo. *Terra Latinoamericana*. 25(4):419 - 425.

SHAXSON, F.; BARBER, R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, el significado de la porosidad del suelo. FAO. Roma, Italia. 105p.

SIERRA, C. 2016. El manganeso, el suelo y las plantas. En: <http://www.elmercurio.com/campo/noticias/analisis/2016/03/09/el-manganeso-el-suelo-y-las-plantas.aspx>; consulta: octubre, 2017.

SPECTRUM TECHNOLOGIES. 2009. SC 900 Soil Compaction Meter: Product Manual. En: <http://www.specmeters.com/assets/1/22/6110FS-SC900.pdf>; octubre, 2016.

SPECTRUM TECHNOLOGIES. 2009. TDR 300 Soil Moisture Meter: Product Manual. En: http://www.johnmorris.com.au/files/product/attachments/26673/160269_manual_instr.pdf; octubre, 2016.

STINE, M.; WEIL, R. 2002. The relationship between soil quality and crop productivity across three tillage systems in South Central Honduras. *American Journal of Alternative Agriculture* 17:2 - 8.

STALEY, T.; GONZALEZ, J.; NEEL, J. 2008. Conversion of deciduous forest to silvopasture produces soil properties indicative of rapid transition to improved pasture. *Agroforestry Systems*, (74):267 - 277. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9139-0>.

VAN MIEGROET, H.; COLE, D. 1984. The impact of nitrification on soil acidification and cation leaching in a red alder ecosystem. *Journal of Environmental Quality*. 13:586-590.

VÉLEZ, J; NOGUERA, M. 2011. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 28(1):40 - 52.

VILLAZÓN, J.; GUTIÉRREZ, G.; COBO, Y. 2017. Análisis multivariado de las propiedades químicas de los suelos pardos erosionados. *Revista Centro Agrícola*. 44(1):54 - 62.

YADAV, R.; YADAV, B.; CHIPA, B.; DHYANI, S; MUNNA, R. 2011. Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. *Agroforestry Systems*. (81):191 - 201. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9277>.