

**EVALUACIÓN DE ALGUNAS VARIABLES QUÍMICAS EN DIFERENTES
SISTEMAS PRODUCTIVOS Y TIEMPOS DE USO EN SUELOS DEL
ALTIPLANO DE NARIÑO, MUNICIPIO DE PASTO¹**

**CHEMICAL EVALUATION OF SOME VARIABLES IN DIFFERENT
PRODUCTION SYSTEMS AND USE IN TIMES OF SOIL NARIÑO HIGHLANDS
MUNICIPALITY OF PASTO**

Julio C. Arteaga Jojoa.²

Jorge F. Navia Estrada.³

RESUMEN

El presente estudio se realizó en un Andisol clasificado como Vitric haplustands, ubicado en el Corregimiento de Obonuco, Municipio de Pasto (Colombia). Se evaluaron algunas características químicas, en siete tipos de uso y manejo del suelo: T1: monocultivo de papa (*Solanum tuberosum*), T2: pradera (*Pennisetum clandestinum*), T3: barrera multiestrato, T4: sistema acacia – aliso, T5: banco de proteína, T6: bosque plantado (*Eucaliptus globulus*) y T7: bosque nativo. El efecto de los tipos de uso y manejo, sobre las propiedades químicas del suelo, se evaluaron a través de pH, %MO, %CO, N total, P, CIC, Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn Cu, Zn, B y S. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza, prueba de comparaciones de medias (LSD) y correlaciones de Persson. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos para los contenidos de pH, %MO, %CO, N total, P, CIC Ca, Mg, K, Fe y S, mientras que no se presentaron efectos sobre los contenidos de Al, Mn, B, Zn y Cu. Los mayores valores de %MO, %CO, N total, CIC, Ca, Mg y S, fueron obtenidos en los tratamientos T3, T4 y T7. Los resultados permiten confirmar la influencia de la MO en la fertilidad de suelos siendo esta la variable que mejor detecta el efecto del manejo y uso de los suelos.

¹ Artículo derivado del Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agroforestal.

² Ing Agroforestal. Facultad de Ciencias. Universidad de Nariño. agroforeswamp@gmail.com.

³ Ing. Agr. Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. Colombia. jornavia@udenar.edu.com.

ABSTRACT

The present study one carries out in an Andisol of the subgroup Vitric haplustands, located in the Corregimiento of Obonuco, Municipality of Pasto (Colombia). Some chemical characteristics were evaluated, in seven use types and handling of soils: T1: potato monocultivo (*Solanum tuberosum*), T2: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), T3: barrier multiestrato, T4: system acacia - aliso, T5: protein blocks, T6: planted forest (*Eucaliptus globulus*) and T7: native forest. The effect of the use types and handling, about the chemical properties of soils, they were evaluated through pH, % MO, % CO, total N, P, CIC, Ca, Mg, K, To the, Faith, Mn Cu, Zn, B and S. The obtained results showed significant differences ($P < 0,05$) among the treatments for the pH contents, % MO, % CO, total N, P, CIC Ca, Mg, K, Faith and S, while effects were not presented on the contents of To the, Mn, B, Zn and Cu. The biggest values % MO, % CO, total N, CIC, Ca, Mg and S, they were obtained in the treatments T3, T4 and T7. The results allow to confirm the influence of the MO in the fertility of soils being this the variable that better it detects the effect of the handling and use of soils.

INTRODUCCION

En el departamento de Nariño, durante los últimos años, las áreas dedicadas a la producción agropecuaria, a través de los sistemas de producción convencional, se encuentran en un proceso de degradación, lo que se traduce en una pérdida progresiva del recurso suelo, y una reducción considerable en su capacidad productiva, reflejada en menores rendimientos y mayores problemas ambientales; todos estos procesos están, provocados y acelerados por el mal manejo del suelo, problemas graves como la erosión, han sido causados más por la ignorancia del hombre, al no saber manejar bien sus suelos, que por la acción de las fuerzas que la producen (CORPONARIÑO, 2006).

El 9.1% del territorio nacional tiene vocación agrícola y apenas el 9% es de vocación ganadera, mientras un 19% tiene vocación agroforestal, el 62.5% tiene vocación forestal,

de conservación y recuperación, se estima que se presenta un sobre utilización de tierras en 37.2%, así alrededor del 80% de la zona andina esta afectada por la erosión. 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. Para 1998 el 35% del área de Colombia, había sido deforestada, en casi 400.000 de 1.141.748 km² del territorio, sin contar sabanas y paramos modificados pero no deforestado (CORPONARIÑO, 2007 y IGAC, 2004).

Zamora (2006), estudiando el efecto en los cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en Venezuela, encontró que los sistemas convencionales de producción de melón tienden a presentar rangos inferiores en los contenidos de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), frente al sistema de producción orgánica, destacando al contenido de materia orgánica encontrado: (producción convencional 0,84 mg/g⁻¹ frente a producción orgánica 3,07 mg/g⁻¹) como responsable en los descensos encontrados, por su influencia en las propiedades del carbón orgánico (CO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Cardona y Sadeghian (2005), estudiando las propiedades físicas y químicas de suelos, en ocho localidades de la zona cafetera, encontraron que el contenido de MO fue superior en suelos de cafetales que contaban con la presencia de árboles de sombrío, en relación al manejo de monocultivo de café; en este caso el establecimiento de los árboles, mejoro las condiciones del terreno y propicio un ambiente mas favorable.

Del mismo modo Sacchi (2002), estudiando las propiedades físico-químicas de suelos argentinos señalan, que el uso del suelo así como también los procesos de erosión hídrica, han ocasionado una disminución en el carbón orgánico. La utilización del suelo para actividades agrícolas intensivas implica una aceleración de la mineralización, de forma tal que la materia orgánica preexistente disminuye en forma exponencial en el tiempo.

En este sentido, dado la necesidad de conocer los factores que intervienen en las propiedades del suelo, desde el punto de vista químico, se ve necesario conocer el comportamiento de las características químicas del suelo, bajo el desarrollo de diferentes usos de suelo, ya que la comprensión del comportamiento químico del suelo bajo este análisis, lo convierte en un instrumento primordial, que permite valorar y diagnosticar su estado (Garavito, 1984).

El objetivo de esta investigación fue el de evaluar el efecto, de los diferentes manejos y usos del suelo sobre las propiedades químicas, en siete sistemas de producción, ubicados en el Corregimiento de Obonuco, Municipio de Pasto.

Esta investigación hace parte del macroproyecto “Evaluación del manejo de los residuos de papa (richie) y algunas especies forrajeras arbustivas como suplemento animal para los bovinos de leche en el trópico de altura de Nariño”; cofinanciada por HORTIFRUTÍCOLA y FEDEPAPA.

METODOLOGIA

Localización. El estudio fue llevado en un Andisol clasificado como *Vitric haplustands*, ubicado en la granja experimental FEDEPAPA en el Corregimiento de Obonuco, Municipio de Pasto, el cual está ubicada a 1°13' latitud norte y 76°16' longitud oeste, con una altura promedio de 2720 msnm, temperatura que oscila entre 12° a 13° C, precipitación anual promedio entre 718 – 703mm/año y una humedad relativa de 87.5%. La zona de vida corresponde a bosque seco montano bajo son suelos de reacción fuertemente ácida en el horizonte superior y de moderada a ligeramente ácida a mayor profundidad, alta capacidad catiónica de cambio, alta saturación de bases, altos contenidos de carbono orgánico, mediano contenido de fósforo y fertilidad química alta (IGAC, 2004).

Diseño experimental. El área experimental por tratamiento no fue homogénea, se realizó el muestreo en cada uno de los sistemas, sectorizando el área en 3 franjas para la toma de

15 muestras en cada franja, de las cuales se obtuvo 1 muestra representativa por franja y 3 por sistema de producción, correspondientes a las repeticiones de cada tratamiento.

Descripción de los tratamientos: el tratamiento (T1), monocultivo de papa (*Solanum tuberosum*), ha sido manejado bajo un periodo de rotación de cultivos (papa – pasto), en un periodo de cinco años para cada cultivo, el área ha sido sometida a producción intensiva, con un alta aplicación de fertilizantes químicos y empleo de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades.

El tratamiento (T2), pradera de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), ha sido sometido a manejo rotativo papa – pasto en un lapso de 20 años. Durante los últimos siete años, esta área a permanecido bajo una unidad de manejo de pasto kikuyo con una carga animal de 1.5 animales/ha por un periodo de mes y medio en pastoreo de un día.

Tratamiento (T3), barrera multiestrato (*Acacia decurrens*), esta unidad fue implementada en el año 1998 con las especies acacia (*Acacia decurrens*), quillotocto (*tecoma Stans*) y mora (*Rubus glaucus*), sin ningún manejo después de establecidas, el área adyacente a la barrera es dedicada al pastoreo, por lo que ocasionalmente se realizan ramoneos directos a la *Acacia decurrens*.

El tratamiento (T4), sistema *Acacia decurrens* – *Acacia melanoxylon* y *Alnus acuminata*, fue implementado en el año de 1997 con las especies acacia (*Acacia decurrens*), acacia japonesa (*Acacia melanoxylon*) y aliso (*Alnus acuminata*). Las especies en los últimos años no han recibido ningún tipo de manejo, por lo que el área ha sido poco intervenida, no obstante la especies han respondido favorablemente a las condiciones del sitio, encontrando especies que oscilan entre los 3 – 4 m de altura con diámetros 10-11 cm

El tratamiento (T5), corresponde a un sistema silvopastoril banco de proteína, el cual fue establecido en el año de 1997, con una etapa inicial con las especies *Acacia decurrens*, *Sambucus peruviana* y *Tecoma Stans*. En el año 2001 se realizaron investigaciones para

determinar la capacidad en cuanto a producción de forraje y rebrote en las especies. En la actualidad se cuenta con bajos relictos de *Acacia decurrens* de buen porte, pero sin manejo y otra área se encuentra en un proceso de renovación, encontrando especies de retamo (*Retama sphaerocarpa*), chilca (*Baccharis sp*), quillotocto (*Tecoma stans*).

El tratamiento (**T6**), corresponde a un bosque plantado de *Eucaliptus globulus*, con un tiempo de uso de 40 años; a la fecha se han realizado 3 aprovechamientos, ocasionalmente se realizan raleos selectivos de acuerdo a las necesidades de la granja.

El tratamiento (**T7**), bosque protector, ubicado a las faldas del volcán galeras, zona receptora de interés por los afluentes que alimentan la microcuenca alta de la quebrada Mijitayo. La vegetación sobresalen especies como cucharo (*Clusia spp*), cerote (*Hesperomeles glabrata*), chaquilulo (*Befaria aestuans*), siete cueros (*Tibouchina sp*), encino (*Weinmania tomentosa* y *Weinmania balbisiana*), Pumamaque (*Oreopanax sp*),

Variables evaluadas. Las variables químicas evaluadas fueron: pH (NTC 5264), porcentaje de porcentaje de materia orgánica (Walkley-Black (colorimétrico) NTC 5403), porcentaje de carbono orgánico (Walkley-Black (colorimétrico) NTC 5403), nitrógeno total (con base en la materia orgánica), fósforo disponible (Bray II y Kurtz), capacidad de intercambio catiónico (acetato de amonio 1N pH 7 NTC 5268), calcio, magnesio y potasio de cambio (acetato de amonio 1N pH 7), Acidez de cambio (extracción KCL 1N) hierro, manganeso, cobre y zinc (extracción DTPA NTC 5526), boro (extracción agua caliente NTC 5404) y azufre (extracción con fosfato monocálcico monohidratado 0.008M – NTC 5402), las cuales se realizaron en el laboratorio especializados de suelos de la Universidad de Nariño (Unigarro y Carreño, 2005).

Análisis estadístico. Las diferentes variables fueron sometidas a análisis de varianza, análisis de correlaciones de Pearson; para aquellas variables, que presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$), fueron sometidas a prueba de diferencia mínima significativa (LSD), empleando el programa estadístico STATGRAPHICS plus 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza determino, que en las variables pH, porcentajes de MO, CO y N total, P disponible, CIC Ca, Mg y K intercambiable, Fe y S presentaron diferencias estadísticas significativas por el efecto de los diferentes usos y manejos. Mientras que los contenidos de Mn, Cu, Zn, B y Acidez cambiante no presentaron efectos significativos ($p < 0,05$), en este estudio. A continuación se realiza el análisis, en las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas.

Porcentajes de materia orgánica (MO), carbón orgánico (CO) y nitrógeno total (N). Según prueba de diferencia mínima significativa (LSD) (Tabla 1), los mayor valores promedios se presentaron en los tratamientos T3 y T4 con valores de 19.57%, 11.31%, 0.66% y 17.90%, 10.36%, 0.62% respectivamente. Se presentaron menores valores por el efecto de los diferentes manejos y usos en los tratamientos T2 y T1 con valores de 7.67%, 4.44%, 0.33% y T1 5.33%, 3.09%, 0.24% respectivamente. También los porcentajes de CO y N total presentan el mismo patrón de distribución con los contenidos de MO encontrados (Tabla 1).

Los resultados muestran que los tratamientos T3 y T4 en general fueron los más uniformes, y los que presentaron mejor comportamiento, es presumible que por las características, en cuanto a calidad y cantidad de biomasa que producen dichas especies **T3** (*A decurrens*), **T4** (*A melanoxilon*, *A decurrens* y *Alnus acuminata*), lo que representa un mayor ingreso de MO a los sistemas y la posibilidad de transferir nitrógeno al suelo, por vía simbiótica, lo que genera una entrada adicional de N, son características que pudieron influir en dichas propiedades. Los descensos observados en los tratamientos T2 y T1 muestran que el manejo intensivo, comprende una menor incorporación de residuos de origen orgánico al sistema, lo que ocasiona una reducción paulatina en dichas propiedades

Tabla 1. Prueba de LSD para características químicas estudiadas en la evaluación del manejo y uso del suelo en el Centro Experimental de FEDEPAPA, Pasto, 2008-2009

PARAMETROS	UNIDAD	TRATAMIENTOS						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
		papa	kikuyo	Barrera	acacia aliso	proteína	eucalipto	bosque
pH	%	5,46b	5,47b	5,23b	5,77a	5,47b	5,36b	6,00 a
materia orgánica		5,33d	7,67cd	19,57a	17,90a	10,07cb	9,03c	13,43b
Nitrógeno		0,24d	0,33d	0,66a	0,62a	0,41c	0,37c	0,50b
carbono orgánico		3,09d	4,44cd	11,31a	10,36a	5,85cb	5,24c	7,78b
CIC		20,73c	21,20c	34,60a	36,27a	20,87c	28,73b	31,73ba
Calcio de cambio	cmolcarga/kg	9,63d	10,73d	16,60bc	19,90a	13,07dc	15,20b	20,80a
Magnesio de Cambio		2,78d	2,62d	6,76ba	9,36a	3,60c	3,12cd	5,00b
potasio de Cambio		1,19cb	1,03cb	0,97cd	0,68d	1,32b	0,92cd	1,84a
azufre disponible	mg/kg	6,00 d	7,12dc	23,17a	12,82bc	9,06c	10,29c	15,00b
fósforo disponible		200,67a	20,27b	15,97b	5,07b	16,30b	6,10b	14,33b
Hierro		262,00c	454,67ba	505,33a	393,33b	426,00b	512,67a	271,33c

Promedios con letra similar no presentan diferencia estadística significativa ($p < 0.05$)

Crespo *et al.*, (1998), establece que la presencia de árboles y especialmente especies fijadoras de nitrógeno, en los sistemas productivos, incrementan la presencia de materia orgánica en el suelo, Giraldo (1996) argumenta que la mayoría de estudios realizados en zonas tropicales, han demostrado que los árboles y arbustos leguminosas tienen la capacidad de fijar una alta cantidad de N hasta 150kg/ha. Por lo anterior se podría deducir que los aportes en los contenidos de materia orgánica y su relación con los niveles de N y CO, en los T3 y T4 presentaran mejor comportamiento, respondiendo a las características de uso y su relación con el empleo de especies leñosas leguminosas y fijadoras de nitrógeno: *Acacia decurrens*, *Acacia melanoxylon* y *Alnus acuminata* en el tratamiento T4 y *Acacia decurrens* en el T3, las cuáles pudieron constituir, el ingreso sustancial de MO, CO y N, en dichos sistemas.

El manejo de podas y la entrada adicional de MO por excretas, al que ha sido sometido el tratamiento T3, respondido de manera favorable en las características del suelo, ya que manifestó los porcentajes mas altos de MO, CO y N total en contrástate, a los resultados manifestados en los tratamientos de manejo convencional T1 y T2 (Tabla 1), Ramírez (1997) en la evaluación de sistemas silvopastoriles en el Valle del Cauca, encontró que el monocultivo de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) presentó el menor contenido de N total y MO, frente a los tratamientos que contaron con la presencia de árboles leguminosos leucaena (*Leucaena leucocephala*) y algarrobo (*Prosopis juliflora*), para las profundidades de 0-10 y 10-20 cm, debido al aporte de material orgánico en forma de hojarasca y residuos de poda que se generan en el estrato arbóreo, de igual manera la sombra generada por estas especies, hace que la mineralización de la reserva orgánica del suelo sea más lenta que la ocurrida en praderas a plena exposición del sol.

Giraldo (1996) reporto en sistemas silvopastoriles de *Acacia decurrens* en Antioquia, que debido a la alta producción de biomasa (4.0 ton/ha/año) que generan estas especies, de igual manera el alto contenido proteico de la misma, fomenta una mayor actividad biológica, lo que facilita su descomposición, siendo esto factores, que incurren en los incrementos sustanciales de MO y N.

De la Salas, (1987), afirma que en los ecosistemas boscosos naturales, los contenidos de materia orgánica tienden a ser altos, de acuerdo a una dinámica interna de ciclo cerrado por lo que reduce pérdidas significativas de MO, en el sistema a diferencia de sistemas productivos intensivos convencionales, que responden a una mayor tasa de mineralización por efecto de manejo; si bien los valores de MO CO y N total encontrados en el estudio fueron altos para el tratamientos T7, los resultados encontrados presentaron diferencias con los tratamientos T3 y T4 (Tabla 1), es probable que las reducciones encontradas en el tratamiento T7, respondan a las condiciones agroecológicas del sitio, ya que al pertenecer a una zona cercana a los 3100 msnm, condiciones en donde predominan bajas temperaturas y alta humedad, son factores que afectan los procesos de mineralización y facilita el lavado del material orgánico por erosión hídrica (Fassbender, 1983), situación que pudo haber influido con respecto a los tratamientos T3 y T4.

A diferencia de estos resultados Geissert y Ibáñez(2000) en su trabajo de calidad y ambiente físico-químico de los suelos, encontraron diferencias significativas entre el bosque y los sistemas cafeteros, el contenido de MO (23.9-27.6 g.kg⁻¹), CO (41.3-47.7 g.kg⁻¹) y N total (4.0- 4.4 g.kg⁻¹) en el bosque fue alto con respecto a las unidades cafeteras MO (13.3-17.4 g.kg⁻¹) CO (23.1-30.1 g.kg⁻¹) y N total (2.74-1.02 g.kg⁻¹), debido a una mayor tasa de aporte de residuos orgánicos que generan los ecosistemas boscosos; por lo anteriormente mencionado, la respuesta en los porcentajes de MO, CO y N total por la introducción de especies fijadoras de N, en los tratamientos T3 y T4 se convierten en un factor relevante en los resultados encontrados.

Los resultados permiten considerar, que en la medida en que se generen cambios, en las características y tipo de vegetación, influyen en los porcentajes de MO, CO y N total en el suelo; las porcentajes encontrados en el tratamiento T6 responde a estos factores, según Fassbender y Bornemiza (1994) y De la Salas (1987) especies con bajas proporciones de proteína, alta relación C/N, afectan los procesos de mineralización. Manzanares *et al.*, (2004) encontró que en plantaciones forestales de *Eucalipto globulus* y *Pinus radiata* efecto de la sustitución del bosque nativo sobre el horizonte orgánico en concepción (chile),

los contenidos de materia orgánica se reducían en un 40–50% en la plantación forestales plantadas, con respecto al bosque nativo de referencia, valor explicado por la relación C/N alta que genera la cubierta vegetal de estas especies, Ceccon (1999), argumenta que la alta relación C/N que genera el mantillo del eucalipto, lo que representa un velocidad de descomposición lenta, generando una reducida mineralización de la materia orgánica suministrada por el sistema, razón por la cual se puede inferir que las diferencias encontrados en los porcentajes en el tratamiento T6 en comparación al los tratamientos T3, T4 y T7 respondan a este fenómeno (Tabla 1).

Los tratamientos T2 y T1 exhibieron los menores valores promedios, en los porcentajes de MO, CO y N total (Tabla 1); las explotaciones monocultivistas intensivas, generan una disminución progresiva de estos elementos, debido a que existe una disminución en la incorporación de residuos de origen orgánico al sistema, por lo que el efecto del uso y manejo generan cambios significativos en los porcentajes en mención; Marco Rondón *et al* (1998) encontró en el efecto de cambios en el uso del suelo sobre los almacenamientos de carbono orgánico en áreas del páramo en Cauca-Colombia; los niveles en las capas superficiales de suelos bajo cultivos, presentaron significativamente menores tasas de carbón orgánico (5 -4%), respondiendo a una menor incorporación de materia orgánica en el sistema, frente a los contenidos altos de CO en la zonas de bosque de páramo no intervenido (10-20%).

los descensos encontrados en los tratamientos T1 y T2, son consistentes con los efectos esperados, al aumentar las tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo, debido al efecto de labranza y preparación del suelo para el establecimiento y manejo del cultivo, se estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo se producen pérdidas de CO que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Fassbender, 1983 y Martínez *et al*,2008).

De manera general las diferencias encontradas, responden a las características de la vegetación y la adaptación de las mismas a las condiciones del sitio (factores climáticos y

edafológicos, etc), siendo esto un factor determinante en cuanto a porcentajes de MO y patrones de acumulación de N total y CO en el suelo (Tamhane, 1979, De las salas, 1987 y Fassbender, 1983); de igual manera se resalta la importancia ecológica que poseen el establecimiento de barreras vivas en las características del suelo.

El N y CO alcanzaron una correlación positiva y significativa de ($r=0.99$) con la MO (Tabla 2), lo que demuestra que las variaciones en los contenidos de N y CO, están determinadas por la dinámica de la materia orgánica en el suelo. (Fassbender, 1994 y De Las Salas, 1987). Según Fassbender y Bornemisza (1994), entre el 95 -98% del nitrógeno total esta asociado a sustancias orgánicas, convirtiendo a la materia orgánica como fuente primaria de este elemento, mientras que Martínez *et al.*, (2008), argumentan que el carbón orgánico, representa el 58% de la materia orgánica.

El estudio encontró que los contenidos de CO se relacionaron con la CIC ($r =0.85$) Ca ($r=0.50$) Mg($r=0.78$) y N ($r=0.99$) (Tabla 2), vinculando al CO con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, De la Salas, (1987) sustenta que el CO habilita las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos al aportar elementos a los sistemas agrícolas. Sacchi *et al* (2002), en la evaluación de los cambios en las propiedades físico químicas por procesos de degradación en Argentina, señalan que las propiedades químicas tales como la materia orgánica y carbón orgánico son las variables que mejor detectan la degradación de los suelos.

Tabla 2. Prueba de correlaciones de Pearson, para características químicas estudiadas en la evaluación del manejo y uso del suelo en el Centro Experimental de FEDEPAPA, Pasto, 2008-2009

	pH	%MO	%CO	N total	P	Ca	Mg	K	Fe	S	cic
pH		-0.11 ns	-0.11 ns	-0.11 ns	0.24 ns	0.56*	0.20 ns	0.47 *	-0.79*	-0.02 ns	0.10 ns
%MO	-0.11 ns		0.99*	0.99*	-0.39 ns	0.50*	0.78*	-0.18 ns	0.23 ns	0.73*	0.89*
%CO	-0.11 ns	0.99*		0.99*	-0.39 ns	0.50*	0.78*	-0.18 ns	0.23 ns	0.73*	0.85*
N total	-0.11 ns	0.99*	0.99*		-0.42 ns	0.51*	0.78*	-0.15 ns	0.24 ns	0.68*	0.84*
P	0.24 ns	-0.39 ns	-0.39 ns	-0.42 ns		0.10 ns	-0.24	0.15 ns	-0.36 ns	-0.02	-0.29 ns
Ca	0.56*	0.50*	0.50*	0.51*	0.10 ns		0.64*	0.19 ns	-0.22 ns	0.37	0.81*
Mg	0.20 ns	0.78*	0.78*	0.78*	-0.24 ns	0.64*		-0.33 ns	0.09 ns	0.47*	0.80*
K	0.47*	-0.18 ns	-0.18 ns	-0.15 ns	0.15 ns	0.19 ns	-0.33 ns		-0.36 ns	0.09 ns	-0.10 ns
Fe	-0.79*	0.23 ns	0.23 ns	0.24 ns	-0.36 ns	-0.22 ns	0.09 ns	-0.36 ns		-0.09 ns	0.15 ns
S	-0.02 ns	0.73*	0.73*	0.68*	-0.02 ns	0.37 ns	0.47*	0.09 ns	-0.09 ns		0.67*
cic	0.10 ns	0.89*	0.85*	0.84*	-0.29 ns	0.81*	0.80*	-0.10 ns	0.15 ns	0,67*	

*: Significativo al nivel del 5%.

ns: No significativo al nivel del 5%.

Azufre (S). El tratamiento T3 (23.17 mg/kg) presenta el mayor valor promedio por efecto de uso y manejo del suelo, el cual presenta diferencias estadísticas significativas con los tratamientos T2 (7.12 mg/kg) y T1 (6.00 mg/kg) los cuales presentaron los menores valores promedios en el estudio (Tabla 1).

Las fuentes orgánicas de los suelos finalmente son las encargadas de promover las variaciones en los contenidos de azufre (Fassbender, 1994, De la Salas 1987), por lo que la mineralización de dicho elemento, depende de los factores generales que regulan la acumulación y mineralización de la materia orgánica, por esta razón los resultaron continuaron con la misma tendencia encontrada, en función de los contenidos de materia orgánica. El azufre presentó correlación positiva y significativa con el porcentaje de MO ($r=0.73$) (Tabla 2), por lo que se puede afirmar, que los resultados fueron significativos, debido a que los procesos dinámicos del azufre, están influenciados por las variaciones de la materia orgánica.

Calcio (Ca) y magnesio (Mg). Según prueba de diferencia mínima significativa (LSD) (Tabla 1) los mayores valores promedios de Ca se presentaron en los tratamientos T7 y T4 con valores de 20.80 cmol/kg y 19.90 cmol/kg y en Mg en los tratamientos T4 y T3 con valores de 9.36 cmol/kg y 8.76 cmol/kg. Los tratamientos en mención, muestran diferencias significativas por el efecto de uso y manejo con relación a los tratamientos T2 y T1, los cuales presentaron los menores rangos en el estudio, con valores promedios de 10.73 cmol/kg, 9.63 cmol/kg y 2.78 cmol/kg, 2.62 cmol/kg respectivamente.

La distribución de estos elementos, en general responden a la relación con los patrones de materia orgánica localizadas en la evaluación, siendo esto manifestado en las relaciones encontradas; el calcio mostró correlaciones positivas y significativas con la MO ($r=0.50$), N total ($r=0.51$) y CO ($r=0.50$) y el magnesio con la MO ($r=0.78$), N total ($r=0.78$), CO ($r=0.78$) y S($r=0.47$) (Tabla 2); lo que es explicable, debido a que en el proceso de mineralización que conlleva a la disociación de NO_3^- , SO_4^- y coloides húmicos, cuyas cargas resultantes son electronegativas, son las que proporcionan el incremento sustancial

en la capacidad de cambio, brindando una mayor posibilidad de retener estos elementos Ca y Mg en el suelo (Fassbender y Bornemisza, 1994, De las Salas, 1987).

Similares resultados fueron reportados por Zamora *et al.*, (1998), en el efecto de dos sistemas de producción convencional y orgánica, en las propiedades del suelo; encontrando para la producción de melón orgánico niveles de Ca y Mg con valores de 0.93 cmol/kg, 1.02 cmol/kg, frente a la producción convencional Ca y Mg con valores de 0.43 cmol/kg, 0.98 cmol/kg, el cual destaca que la incorporación y la paulatina mineralización de los residuos orgánicos, generan aumentos en la capacidad de cambio, de igual manera la mineralización de una parte estimable de la materia orgánica, restituye una fracción de calcio y magnesio extraído al suelo.

Las variaciones encontradas entre tratamientos señalan, que los sistemas productivos que involucran una menor tasa de incorporación de residuos orgánicos, generan una reducción progresiva de Ca y Mg, probablemente los descensos encontrados, en los tratamientos T1 y T2 (Tabla 1), de acuerdo al uso y manejo, presentan una menor incorporación de materiales de origen orgánico y se convierte en el factor más relevante, en las disminuciones localizadas en el estudio.

CIC. Los mayores valores promedios por efecto de uso y manejo del suelo se obtuvieron en los tratamientos T4, T3 y T7 con valores de 36.27 cmol/kg, 34.60 cmol/kg y 31.73 cmol/kg respectivamente. Se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos T2, T5 y T1 con valores de 21.20 cmol/kg, 20.87 cmol/kg y 20.73 cmol/kg respectivamente, los cuales manifestaron los valores promedios mas bajos en el estudio (Tabla 1).

La capacidad de cambio encontrada en las unidades de manejo es alta (> 20 cmol/kg), en razón a que los suelos de estudio responden a una mineralogía de influencia volcánica, en donde se destaca la presencia del alófan, material que influye en los fenómenos de absorción (Fassbender y Bornemisza, 1994). No obstante el estudio encontró una

correlación positiva y significativa ($r=0.89$), con la materia orgánica y carbón orgánico ($r=0.85$) (Tabla 2), por lo que las diferencias localizadas, comprometen a los contenidos de MO encontrados entre los tratamientos, debido a la intervención de la MO, la cual contribuye a promover dicha capacidad en el suelo.

Sobre el particular Fassbender (1983), argumenta que la CIC permanente proviene de la fracción arcilla, mientras que la CIC variable depende de las sustancias húmicas por la disociación de los grupos carboxílicos y fenólicos, y pueden llegar a tener una CIC que superan los 150 cmol/kg, lo cual explica el incremento encontrado en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), en los tratamientos T4 (36.27 cmol/kg) y T3 (34.60 cmol/kg), de la misma forma dichos resultados declinaron en los sistemas de manejo convencional T2 (21.20 cmol/kg) y T1 (20.73 cmol/kg).

Es evidente que los tratamientos continuaron con la misma tendencia a los valores encontrados a excepción del tratamiento T5 (20.87 cmol/kg), con similar comportamiento a los tratamientos T2 y T1, no se descarta posible influencia de arcillas alófanas en el resultado; de manera general es posible que los coloides orgánicos sean altamente dependientes del uso y manejo.

Resultados similares fueron reportados por Zamora *et al.*, (1998), el cual encontró, que la disminución en los contenidos de materia orgánica, en un sistema de manejo convencional de melón en Venezuela, redujo la CIC en (11.76 cmol/kg), en producción de melón (*Cucumis Melo*), convencional, en comparación, al sistema de manejo de melón con abonos orgánicos (16.89 cmol/kg), demostrando el efecto de la materia orgánicas en las propiedades del suelo.

Potasio (k). Según prueba de diferencia mínima significativa (LSD) (Tabla 1), el mayor valor promedio de K correspondió al tratamiento T7 (1.84 cmol/kg), el cual presenta diferencias estadísticas significativas con los tratamientos T3, T6 y T4 con valores promedio de 0.97 cmol/kg, 0.92 cmol/kg y 0.68 cmol/kg respectivamente.

Tamhane (1979), determina que la dinámica del K en el suelo se encuentra relacionado con los contenidos de MO en respuesta al ciclaje de nutrientes que se genera por efecto de la mineralización; contrario a esto último, el estudio no encontró relación alguna con los patrones de MO y CO; es presumible que los efectos encontrados y las cantidades de potasio encontradas se encuentran ligadas a la presencia de minerales primarios, que son frecuentes en suelos de origen volcánico, por lo que se convierte en un factor determinante en los resultados encontrados (Fassbender y Bornemisza, 1994 y IGAC 2004).

Contrario a lo afirmado Razz y Clavero (2006), en su trabajo cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*; con respecto a los contenidos de K, el valor encontrado en el banco de *Leucaena leucocephala* fue superior (0.9 me/100 g), al obtenido en el monocultivo de *Brachiaria brizantha* (0.5 me/100 g), los autores afirman que la presencia de árboles en los potreros, incrementa la presencia de materia orgánica y mejora la fertilidad de los suelos.

Sorprendentemente este estudio no encontró relación alguna con los patrones de materia orgánica, no obstante el estudio encontró correlación positiva y significativa con el pH ($r = 0.47$), es presumible que las diferencias entre tratamientos, responden a la relación del K con los patrones de pH encontrados (Tabla 2). El pH ejerce un papel importante en la determinación de la cantidad y tipo de carga en los suelos, al aumentar el pH del suelo, más iones OH^- se toman disponibles para crear sitios de cargas negativas, exhibiendo una mayor saturación de bases en el suelo (Fassbender y Bornemisza, 1994, Garavito, 1984, Tamhane 1979).

Fósforo (P). El análisis mostró que el tratamiento T1 presentó el mayor valor promedio de P disponible en el estudio (Tabla 1), es factible que exista una mayor disponibilidad de P disponible en la solución del suelo, ya que en el momento del muestreo, el lote fue sujeto a fertilización química, probablemente las diferencias encontradas en el estudio se deban a este factor.

Si bien los demás tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas, se puede observar que los tratamientos T6 y T4 con valores de 6.10 mg/kg y 5.07 mg/kg presentan los promedios más bajos en el estudio (Tabla 1). Es presumible que estos valores respondan a una mayor capacidad extractiva de este elemento por parte de estas especies: *Alnus acuminata*, *Acacia melanoxylon* y *Eucaliptus globulus*, Segura *et al.*, (2005), en plantaciones de aliso encontró, que la extracción de P oscilaba en 193.6-879 kg/ha/P en plantación de 7 años.

Soalleiro *et al.*, (2004), en el Efecto de la silvicultura en la extracción de nutrientes a lo largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido, encontró que las plantaciones de *Eucaliptus globulus* extraía entre 192 a 1537.6 kg/ha/P valores altamente dependiente de la edad de la plantación. Cabe destacar que las especies *Alnus acuminata*, *Acacia melanoxylon* y *Eucaliptus globulus* son consideradas de alto valor maderable (Tokura, 1996 y Soalleiro *et al.*, 2004), por lo que para lograr ese status, requieren de elevados niveles de energía, en donde el P provee el mecanismo de almacenamiento Transformación de esta energía en forma de ATP, lo que facilita funciones como la desnaturalización del CO₂ en C, lo que representa una mayor lignificación de sus estructuras (tallos, hojas, ramas etc); es factible que las disminuciones encontradas en los tratamientos T4 y T6 respondan a una mayor necesidad fisiológica de este elemento por parte de estas plantaciones.

pH. Los tratamientos T7 y T4 presentaron los mayores valores promedio, con valores de 6.00 y 5.77, presentando diferencias estadísticas significativas con los tratamientos T2, T5, T1, T6, y T3 con valores promedio de 5.47, 5.47, 5.46, 5.36 y 5.23 respectivamente. (Tabla 1).

Los resultados muestran que los tratamientos T7 y T4 presentan una acidez medianamente ácida (pH 5,5 – 6,0), en virtud, a que en la reacción del suelo responde a fenómenos propios de la mineralización de la materia orgánica. Según (Martinez *et al*, 2008 y De la Salas, 1987) el N contenido en los materiales vegetales, provoca un aumento inicial de pH

asociado a formación de NH_4^+ , lo que resulta evidente en el aumento de pH, en los suelos de los tratamientos mencionados, De las salas (1987), argumenta que los ecosistemas forestales tienden a generar mayores acumulaciones de materia orgánica lo que facilita una mayor intervención sobre la reacción del suelo, dichos valores pueden variar por las características de la vegetación.

De manera general los tratamientos T2, T5, T1, T6, y T3 exhibieron un comportamiento similar según prueba de diferencia mínima significativa (LSD) (Tabla 1), encontrando al tratamiento T2 con el rango más alto (5.47) y el T3 con el más bajo (5.23). La reacción del suelo encontrada se caracteriza por ser fuertemente ácida (5.0 – 5.5), aunque el estudio encontró baja saturación de aluminio cambiante, la acidez encontrada puede obedecer a los grupos funcionales de la materia orgánica carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos y tienden a disminuir el pH del suelo (Fassbender y Bornemiza, 1994).

La acidez se relacionó con las bases intercambiables principalmente en calcio ($r=0.56$) y potasio($r=0.47$) (Tabla 2). Estos valores indican que en presencia de niveles altos de pH, se aumenta la absorción de bases intercambiables en la reacción del suelo, minimizando pérdida de nutrientes por fenómenos de lixiviación. (Tamhane, 1979). Similares resultados fueron reportados por Geissert y Ibáñez (2000), en su trabajo de calidad y ambiente físico-químico de los suelos, los suelos cafeteros y forestales la acidez presentó diferencias significativas entre ambos, relacionando la acidez con la saturación de bases intercambiables ($r = 0.71$, $p \leq 0.05$) calcio, potasio y magnesio.

Hierro (Fe). Según prueba de diferencia mínima significativa (LSD) (Tabla 1), los tratamientos T6, T3 y T2 presentan los mayores rangos, con valores promedios de 512,67 mg/kg, 505,33 mg/kg y 454,67 mg/kg, los cuales presentan diferencias estadísticas significativas con los tratamientos T7 y T1 con valores promedios de 271,33 mg/kg y 262,00 mg/kg respectivamente.

Se destaca igualmente alta presencia de hierro en los tratamientos (> 50 mg/kg), debido a la naturaleza de los suelos evaluados, de mineralogía propia de zonas de influencia volcánica, por la participación de goethita, hematita, limonita y otros óxidos e hidróxidos de hierro, producto de la meteorización de rocas ígneas (Fassbender y Bornemisza, 1994), es posible que las diferencias encontradas comprometan a la mineralogía de los suelos de estudio (influencia volcánica); Galindo (2005), reporto en la evaluación físico-química de la materia orgánica en un suelo de tradición papera; los altos contenidos de Fe encontrados, en los sistemas papa (434 ppm) y bosque (478 ppm), responden a factores relacionados por la alta influencia de la mineralogía de los suelos de estudio (andisoles);

López, (1993), argumenta que la materia orgánica puede actuar como solubilizador de material mineral incrementando de esta manera la disponibilidad de micronutrientes para las plantas; contrario a esto el estudio no encontró relación con los contenidos de hierro y materia orgánica.

Por otra parte los resultados siguieron la relación entre los contenidos de hierro con los niveles de pH la cual responde a una correlación de ($r= -0.79$), debido a que la solubilidad del hierro incrementa a pH menores y se reduce cuando se manifiestan aumentos progresivos (Tabla 2), debido a su precipitación en forma de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (Garavito, 1984, Fassbender, 1993 y Fassbender y Bornemisza, 1994), es presumible que las diferencias encontradas respondan a este fenómeno.

CONCLUSIONES

El uso de la tierra bajo manejo convencional en los tratamientos T1 y T2 mostraron reducciones en el porcentajes de CO, MO, N total, menor capacidad de intercambio catiónico, menor contenido de bases intercambiables (Ca y Mg) y S. Por su parte, los tratamientos T3 y T4, presentaron mejores condiciones de suelo, al observarse un incremento en los contenidos de MO, CO, N total y valores similares de capacidad de intercambio catiónico, S y bases intercambiables.

La MO, CO y N son las variables que mejor representan indicadores de la degradación de suelos, fundamental debido a que una variación en su contenido afecta el comportamiento de otras propiedades.

El establecimiento de especies arbóreas fijadoras de nitrógeno en los sistemas de producción mejoran significativamente, las condiciones químicas de los suelos, constituyéndose una alternativa en suelos deficientes en nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

A la Federación Colombiana de productores de papa FEDEPAPA y a la asociación hortofrutícola de Colombia por el financiamiento de esta investigación, a Jorge Fernando Navia Estrada. I.A, Ph.D presidente de tesis por su acompañamiento y apoyo en el transcurso del proyecto y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

Cardona, A y Sadeghian, J. 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. Revista cenicafe 56(4): 348-364.

Ceccon, E. 1999. Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales. Revista Interciencia. 24 (5): 61-67

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO. Plan de acción trienal (PAT) 2007 – 2009.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO. Plan de gestión ambiental regional. 2002 – 2012.

Crespo, G, Rodríguez, I, Sánchez R y Fraga, S 1998. Influencia de *Albizia lebbbeck* y *leucaena leucocephala* en indicadores de suelo, el pasto y los animales en sistemas silvopastoriles. En: CIPAV, [http:// www.cipav.org.co/redagrofor/ memoria99/P-Crespo.htm](http://www.cipav.org.co/redagrofor/memoria99/P-Crespo.htm).

De las Salas, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en America tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA, San José Costa Rica. 447p.

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

_____. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 487p.

_____Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Tropical. IICA, Costa Rica. 418 p.

Galindo, D. 2005. Evaluación físico – química de la materia orgánica en un suelo de tradición papera. Revista de Agronomía. 13(1):37-58.

Garavito, F. 1984. Propiedades químicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogota D.C. 560 p.

Geissert, D y Ibáñez, A. 2000. Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. Revista Agrociencia. 36(5) 605-620.

Giraldo, L. 1996. Evaluación del potencial multipropósito en dos especies de Acacia para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en clima frío. P. 9-12. En: Memoria V. Congreso Colombiano de Ciencias Pecuarias.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño.

Manzanares N, Torrez, R y Navarro C. 2004. Efecto de la sustitución del bosque nativo por plantaciones de pino y eucalipto sobre el horizonte orgánico en concepción (Chile). Revista ITEA. 100 (2):96-109.

Martínez H, Fuentes E y Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. R. Suelo y Nutrición Vegetal. 8 (1): 68-96p.

Ramírez, H. 1997. Evaluación de dos sistemas silvopastoril es integrados por *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*. En: Seminario Internacional de Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. CIPAV. Cali.

Razz, A y Clavero, J. 2006. Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*. Revista de la facultad de ciencias agrícolas, Universidad de Zulia – Venezuela. 15(1):326 – 331.

Rondón, M, Amézquita, E y Chávez, F. 1998. Efecto de cambios en el uso del suelo sobre los almacenamientos de carbono y flujos de gases de efecto invernadero en áreas del páramo de las ánimas, Cauca, Colombia. p.133-141. En: Memorias XIV Congreso Venezolano de la ciencia del suelo.

Sacchi, G. 2002. Evaluación de los cambios en las propiedades físicas y químicas de un argiustol udico por procesos de degradación. Revista Agrociencia. 5(2):37-46.

Segura, M, Castillo, A, Alvarado, A y Blanco F. 2005. Extracción de nutrimentos en plantaciones de jaúl (*Alnus acuminata*) en la cuenca del río Virilla, Costa Rica. Revista Agronomía Costarricense. 29(2):109-120.

Soalleiro R, Balboa, M y González, A. 2004. Efecto de la silvicultura en la extracción de nutrientes largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido en el norte de España. *Revista Investigación agraria: sistemas de recursos forestales*. 114-126p.

Tamhane. H. 1979. *Suelos su química y fertilidad en zonas tropicales*. Mexico, Diana. 483p.

Tokura, Y. 1996. *Árboles nativos del Valle del Cauca*. Cali, Colombia: CVC. 21 p.

Unigarro, A y Carreño M. 2005. *Métodos químicos para el análisis de suelo*. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. 72 p.

Zamora, D. 2006. Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Revista Bioagro*. 18(2):123-128.