

INFLUENCIA DE DIFERENTES USOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS SOBRE LA DINAMICA Y MOVIMIENTO DEL AGUA EN SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO, COLOMBIA

Diego R. Aguirre¹, Yony A. Ordoñez¹ y Jorge F. Navia¹

¹ *Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, Colombia. Correo electrónico: diego.aguirre789@hotmail.com*

RESUMEN

El presente estudio se realizó en un Andisol clasificado como *Vitric haplustands*, ubicado en el Corregimiento de Obonúco, municipio de Pasto (Colombia). Se evaluaron algunas propiedades físicas en siete sistemas productivos: T₁: bosque plantado con *Eucalyptus globulus*, T₂: monocultivo de papa (*Solanum tuberosum*), T₃: banco de proteína de *Acacia decurrens*, T₄: pradera con kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), T₅: sistema de acacias con aliso (*Acacia decurrens* – *Acacia melanoxylon* y *Alnus acuminata*), T₆: cerca viva multiestrato (*Acacia decurrens*, *Tecoma stans* y *Rubus glaucus*) y T₇: bosque nativo. El efecto de los sistemas de uso del suelo sobre las diferentes propiedades físicas, se evaluó a través de humedad gravimétrica y volumétrica, capacidad de campo, conductividad hidráulica saturada, lamina de agua y estabilidad de agregados en húmedo. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza, prueba de comparaciones de medias (LSD) y correlaciones de Pearson. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) para la interacción profundidad por tratamiento en la variable lamina de agua; las variables capacidad de campo y conductividad hidráulica indicaron diferencias estadísticas para tratamientos y profundidades, mientras que humedad gravimétrica, humedad volumétrica y estabilidad de agregados solo presentaron diferencia estadística para tratamientos.

La variable estabilidad de agregados (dpmhum) se correlacionó positivamente con la variable conductividad hidráulica saturada (Ks) para las dos profundidades evaluadas, indicando valores de 0.794 y 0.727 para 0 -15 y 15 -30 cm respectivamente, ya que una disminución en la agregación del suelo genera una menor porosidad y por ende una reducción del movimiento de agua en el mismo.

Los resultados encontrados permiten confirmar que la dinámica de agua en el suelo se ve seriamente afectada por los cambios de usos en el suelo, es así que los resultados más relevantes se presentaron en el sistema que no ha presentado ningún tipo de intervención antrópica como es el bosque en contraste con los resultados encontrados en los otros usos de suelo.

Palabras claves: Andisol, humedad gravimétrica, conductividad hidráulica.

ABSTRACT

This study was conducted in a Andisols classified as *Vitric haplustands*, located in the municipality of Pasto (Colombia). Besides some physical properties were evaluated in seven production systems: T₁: forest planted with *Eucalyptus globulus*, T₂: potato cultivation (*Solanum tuberosum*), T₃: protein blocks (*Acacia decurrens*), T₄: pasture (*Pennisetum clandestinum*), T₅: acacias - aliso system (*Acacia decurrens* - *Acacia melanoxylon* and *Alnus acuminata*), T₆: multistrata fence (*Acacia decurrens*, *Tecoma stans* and *Rubus glaucus*) and T₇ native forest. The effect of land use systems on different physical properties, was evaluated through gravimetric and volumetric humidity, field capacity, saturated hydraulic conductivity, water sheet and aggregate stability. The results were analyzed using analysis of variance, comparisons of means (LSD) and Pearson correlations. The results showed significant differences ($p < 0.05$) interaction depth by treatment in the water sheet, the variable field capacity and hydraulic conductivity indicated statistical differences between treatments and depths, while gravimetric humidity, volumetric humidity and aggregate stability only statistically for treatment. The variable stability of aggregates (dpmhum) correlated positively with the variable saturated hydraulic conductivity (Ks) for the two depths, giving values of 0.794 and 0.727 for 0 -15

and 15 -30 cm respectively and a decrease in soil aggregation produces lower porosity and thus a reduction of water movement.

It was possible to confirm that the dynamics of soil water is severely affected by changes in land uses, so that the most relevant results were presented in the system that has not had any kind of intervention such as forest in contrast to the results found in other land uses.

Keywords: Andisols, gravimetric moisture, hydraulic conductivity.

INTRODUCCION

El departamento de Nariño cuenta con una superficie de 3`326.800 ha aproximadamente, de las cuales, el 24.2% está dedicada a la agricultura y ganadería concentrada en la zona Andina. El uso de estos suelos se ha dado de una forma extractiva sin seguir pautas ecológicas y técnicas que permitan la conservación de los mismos, por tal razón se ha deteriorado significativamente la calidad del medio en muchas zonas (CORPONARIÑO, 2002).

En la Zona Andina del departamento, los bosques nativos han sido sobre explotados, por los asentamientos poblacionales en las principales cuencas hidrográficas, donde se ha cambiado el uso del suelo de forestal a sistemas agropecuarios productivos insostenibles, beneficiando a estas familias desde el punto de vista de la subsistencia, afectando negativamente los ecosistemas de importancia ambiental.

Ramírez *et al.*, (2005) al evaluar la conductividad hidráulica bajo diferentes sistemas de manejo en Marinilla (Antioquia), encontró que los mayores valores en conductividad hidráulica lo presentan sistemas de uso del suelo virgen y suelos con 10 años de barbecho; seguidos por sistemas de 5 años de barbecho el cual exhibe una conductividad hidráulica media. Suelos con 5, 10 y 20 años de labranza, presentan valores muy bajos de conductividad hidráulica. Estos resultados pueden estar atribuidos al efecto positivo de la cobertura vegetal en los sistemas correspondientes al suelo virgen y el suelo con 10 años de barbecho, representados en aportes de materia orgánica, de micro, meso y macro fauna, con lo cual se logra una mayor estabilidad estructural, un aumento en la macroporosidad, en general las mejores condiciones físicas del suelo para que el agua contenida en los mismos pueda moverse más ágilmente.

De manera similar, la no labranza deja en la superficie del suelo mayor cantidad de residuos vegetales que incrementan la conductividad hidráulica del suelo. Por el contrario los bajos valores de conductividad hidráulica encontrados en los suelos sometidos a labranza, pueden deberse a la eliminación de la cobertura vegetal y por ende del contenido de materia orgánica; además esta práctica genera una desintegración de los agregados o compactación en las capas superficiales del suelo, por lo cual disminuye la permeabilidad y macroporosidad del mismo, reduciéndose de manera drástica tanto la entrada, como el movimiento del agua al interior del suelo.

Osorio y Bahamón (2008), estudiaron la dinámica de la humedad del suelo en bosques alto andinos en el páramo de Guerrero en Cundinamarca y determinaron que los suelos de los ecosistemas de alta montaña en Colombia son capaces de almacenar hasta 500 L/m³ en el primer metro del perfil del suelo, dado su alto contenido de materia orgánica. Sin embargo, no determinaron con certeza sobre cuál fracción de ésta cantidad es móvil y cuál es retenida en los capilares, como tampoco se conoce con claridad cuál es la magnitud del impacto al alterar las condiciones naturales de estos suelos.

Igualmente determinaron que al desaparecer la vegetación, ésta materia orgánica desaparece rápidamente, debido a que se acelera su descomposición y a que no hay nueva adición de hojarasca y que la desaparición del horizonte orgánico trae, como una de sus principales consecuencias, la disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y de su capacidad de retención de la humedad, lo que afecta la disponibilidad de agua para las plantas y, por ende la evapotranspiración.

En éste sentido el presente proyecto busca evaluar algunas propiedades físicas en suelos que han permanecido por varios años bajo determinadas condiciones de uso (bosque, cultivos, praderas y sistemas agroforestales) en el altiplano de Nariño, ya que no existe una verificación periódica de los procedimientos y registros de las acciones correctivas y preventivas aplicadas.

DISEÑO METODOLÓGICO

Localización: el estudio se desarrolló en la Granja experimental de FEDEPAPA- Obonúco, municipio de Pasto, sobre un andisol clasificado como *Vitric Haplustand*, que se localiza a 1°13' latitud Norte y 76°16' longitud oeste, a 2710 msnm, zona de vida bosque seco premontano bs-Pm, una temperatura promedio 13°C, presentando una precipitación pluvial anual aproximada de 900mm/año distribuidos en un sistema bimodal (Mera y Zamora, 2003). Morfológicamente, los suelos presentan un perfil A-B-C. El horizonte A es muy grueso, de 88 cm de espesor, de colores pardo grisáceo y gris muy oscuro, texturas francas y estructura granular y en bloques angulares y subangulares, fina y media y oscuro, pardo grisáceo muy oscuro, pardo amarillento, gris y gris pardusco, texturas francas y franco arcillosas; le sigue el horizonte Cr, de roca intemperizada (IGAC, 2004).

Diseño experimental: se trabajaron siete tratamientos (uso del suelo) en dos profundidades (0 – 15 y 15 – 30 cm) y tres repeticiones. Cada sistema productivo se dividió en tres subparcelas (repeticiones) independientemente del área con que se cuente.

Descripción de los tratamientos: el tratamiento (**T₁**) corresponde a un bosque plantado de *Eucalyptus globulus*, con un tiempo de uso de 40 años; a la fecha se han realizado tres (3) aprovechamientos, ocasionalmente se realizan raleos selectivos de acuerdo a las necesidades de la granja (Arteaga, 2009).

El tratamiento (**T₂**) corresponde a 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 altas aplicaciones de fertilizantes químicos y empleo de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades (Arteaga, 2009).

El Tratamiento (**T₃**) corresponde a un sistema silvopastoril banco de proteína, el cual fue establecido en el año de 1997; en su etapa inicial con las especies *Acacia decurrens*, *Sambucus peruviana* y *Tecoma stans* ante la necesidad de conocer el valor nutritivo de las especies forrajeras del trópico alto de Nariño. El manejo que en principio se aplicó a éste sistema fue de ramoneo, que consistió en hacer pastorear durante un día en el lapso de un mes o inferior a éste por vacas de alta producción de leche en un número que oscilaba entre 67 a 70 animales (Paz y Recalde, 2003); 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*) y quillotocto (*Tecoma stans*) (Arteaga, 2009).

El tratamiento (**T₄**) 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 ha 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 (Arteaga, 2009).

El tratamiento (**T₅**) sistema *Acacia decurrens* – *Acacia melanoxylon* y *Alnus acuminata*, fue implementado en el año de 1997. 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 (Arteaga, 2009).

Tratamiento (**T₆**) cerca viva multiestrato compuesta de acacia (*Acacia decurrens*), quillotocto (*Tecoma stans*) y mora (*Rubus glaucus*), ésta unidad fue implementada en el año 1998, 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* (Arteaga, 2009).

El tratamiento (**T₇**) bosque nativo, ubicado a las faldas del volcán Galeras, zona receptora de interés por los afluentes que alimentan la parte alta de la microcuenca Mijitayo. En la vegetación sobresalen especies como cucharo (*Clusia sp*), cerote (*Hesperomeles glabrata*), chaquilulo (*Befaria aestuans*), siete cueros (*Tibouchina sp*), encino (*Weinmania tomentosa* y *Weinmania balbisiana*), Pumamaque (*Oreopanax sp*) (Arteaga, 2009).

Variables evaluadas. La metodología empleada para determinar el valor de las diferentes variables físicas, se describe en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Metodología utilizada para la evaluación de las variables.

VARIABLE	METODOLOGÍA	REFERENCIAS
Humedad gravimétrica (H _w)	(Psh-Pss/Pss)*100	IGAC (1990)
Humedad volumétrica (H _θ)	%hw*Da	Jaramillo (2002)
Capacidad de campo (H _{wcc})	Columnas de Chapingo	Unigarro y Carreño (2005)
Conductividad hidráulica (K _s)	Permeámetro de cabeza constante	Jaramillo (2002)
Lamina de agua (Z)	%h ₀ *profundidad	Jaramillo (2002)
Estabilidad de agregados	Poder	Jaramillo (2002)

Análisis estadístico. Los resultados de las diferentes variables físicas fueron sometidos a análisis de varianza (ANDEVA), descomponiendo las fuentes de variación en efectos simples, usos y profundidades y en efectos dobles usos*profundidades y análisis de correlaciones de Pearson en el programa estadístico SAS. Las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) fueron sometidas a prueba de diferencia mínima significativa (LSD), empleando el programa estadístico INFOSTAT.

RESULTADOS Y DISCUSION

Según el ANDEVA (**Tabla 2**) se determinó que la variables lamina de agua (Z) presenta diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en la interacción profundidad por tratamiento. Las variables capacidad de campo (H_{wcc}) y conductividad hidráulica (K_s) indicaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para usos y profundidades, mientras que humedad gravimétrica (H_w), humedad volumétrica (H_θ) y estabilidad de agregados en húmedo solo presentaron diferencia estadística influenciados por los diferentes usos de suelo.

Tabla 2. Análisis de varianza de algunas variables físicas evaluadas en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.

F. Variación	Análisis de varianza					
	H _w (%) CM	H _θ (%) CM	CC % CM	Lam CM	K _{sat} CM	DPMhúmedo CM
Modelo	113.7585**	58.9996**	63.7713**	5.5011**	756.2181**	0.2462**
Profundidad	0.2900ns	4.3457ns	137.2344**	25.8658**	45.9696**	0.0089ns
Usos	245.6710**	125.4939**	98.0675**	6.5940**	1626.9523**	0.5219**
Prof*usos	0.7575ns	1.6143ns	17.2314ns	1.0142*	3.8586ns	0.0100ns
Error	5.3285	5.3348	13.7716	0.3589	1.6251	0.0109

** : Altamente significativo al nivel del 1%.

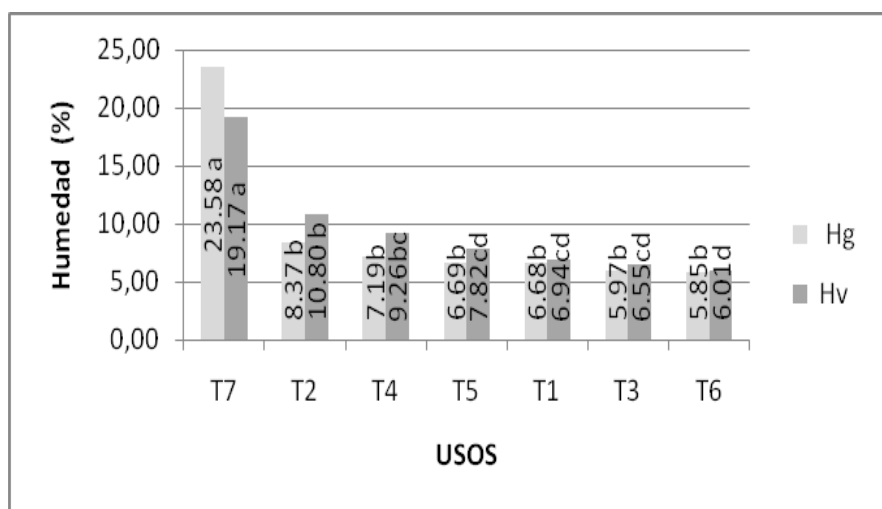
* : Significativo al nivel del 5%.

ns: No significativo

Humedad gravimétrica (H_w) y Humedad volumétrica (H_θ). La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) mostró que el T₇ con valores promedios de H_w y H_θ de 23.58 % y 19.17% respectivamente presentaron los mayores valores y éstos difirieron estadísticamente de los demás tratamientos. Los menores valores encontrados correspondieron al T₆ con 5.85% y 6.01% y el T₃ con 5.97% y 6.55% (**Figura 1**).

Los resultados obtenidos en T7 son atribuibles a que el bosque debido a su cobertura tiene gran capacidad de retención de lluvia vertical y horizontal que se transmite al suelo por medio de sus troncos y ésta puede mantenerse en él porque la gran cantidad de cobertura vegetal evita su evaporación. Similares resultados fueron encontrados en suelos bajo diferentes coberturas en la cuenca de Llaviucu en la cordillera Occidental de los Andes, cerca de Cuenca, Ecuador, donde se mostró que los suelos bajo pastos presentaban consistentemente una mayor humedad que aquellos bajo bosque andino, pero los suelos bajo bosque tenían una menor densidad y una mayor cantidad de macroporos. (Harden, 2006).

Figura 1. Humedad gravimétrica (Hw) y volumétrica (H θ) evaluadas en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.

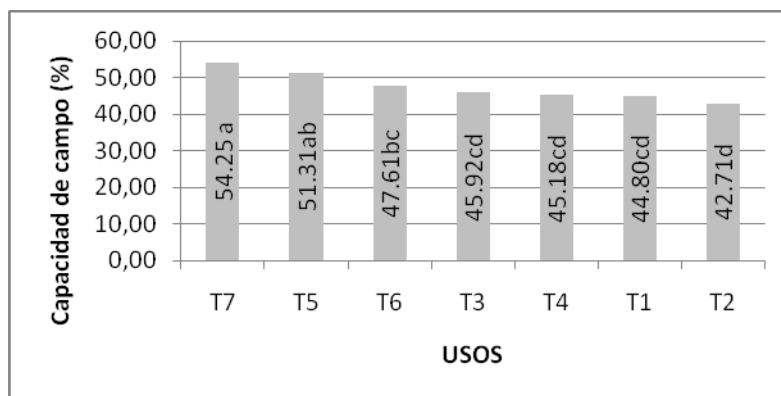


La diferencia en la retención de humedad entre los sistemas productivos dependiendo del tipo de cobertura, indica que las labores de preparación del suelo y las propiedades físicas del mismo influyen en la transmisión y almacenamiento de agua (Herrera *et al.*, 1991). Así mismo el contenido de materia orgánica del suelo tiende a mantener por más tiempo la condición de humedad del suelo (Burbano *et al.*, 2006), la cual según Pla (1994), varía con el estado de descomposición de la misma y el contenido de arcilla presente.

Cuando se evalúan diferentes sistemas de labranza, se presenta una tendencia generalizada a encontrar mayores contenidos de humedad bajo los sistemas que ocasionan menor disturbación en el suelo. En otras palabras bajo estos sistemas, los cultivos disponen de mayor humedad durante su ciclo vegetativo y éste efecto es especialmente notorio durante los periodos de sequía (Malagón y Montenegro 1990), por una reducción de la tasa de evaporación debido al efecto de los residuos superficiales y a la disminución del área de suelo expuesta al ambiente, por su menor disgregación.

Humedad a capacidad de campo (Hwcc). Según la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para tratamientos se encontró que el mayor valor se presentó en el T7 (54.25%) en el sistema bosque y el menor valor en el T2 en el sistema monocultivo de papa (42.71%) (Figura 2). La alta capacidad de almacenamiento de agua que tienen los suelos en los bosques alcanza valores de hasta el 80% del volumen de agua en capacidad de campo (Tobón *et al.*, 2009b; Poulénard *et al.*, 2001). Los suelos en los ecosistemas alto-andinos son generalmente derivados de cenizas volcánicas y, como se ha dicho, son andisoles, caracterizados por un alto contenido de materia orgánica (Tobón, 2009a). Esto y la presencia de lluvia continua o niebla hacen que los suelos permanezcan húmedos (cercanos a la saturación) durante casi todo el año (Tobón, *et al.*, 2009b).

Figura 2. Humedad a capacidad de campo (Hwcc) evaluada en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.



En la superficie de los bosques andinos, especialmente en los alto-andinos, es común encontrar una capa gruesa de hojarasca y/o de briofitos (principalmente musgos) (Avendaño, 2007). Sin embargo se conoce que la hojarasca y los musgos son capaces de almacenar grandes cantidades de agua, que liberan posteriormente durante los periodos secos (Tobón *et al.*, 2008a).

En cuanto al T2 que corresponde a monocultivo de papa, su comportamiento se explica a razón de que en éste cultivo y más aun en la Zona Andina del departamento de Nariño se realizan prácticas inadecuadas de manejo de los suelos y estos, a través, de los sistemas de producción convencionales se encuentran en un proceso de deterioro debido a la pérdida de la capacidad productiva causada básicamente por los procesos de erosión y disminución de los contenidos de materia orgánica. Estos procesos están estrechamente relacionados, provocados y acelerados por el mal manejo que se le da al suelo, dejándolo descubierto sin coberturas vegetales (CORPONARIÑO 2007). Por tanto la pulverización del suelo altera la relación de micro y macroporos aumentándose proporcionalmente los primeros, de tal suerte que el suelo pierde capacidad de almacenamiento de agua y aire (Malagón y Montenegro, 1990), situación que pudo presentarse en los tratamientos diferentes al T₇.

En la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para profundidades se determinó que en la profundidad 0 – 15 cm está presente el máximo valor de humedad a capacidad de campo (49.12%) y el mínimo valor (45.59%) se encontró en la profundidad 15 – 30 cm. El comportamiento observado se puede explicar por las correlaciones positivas existentes entre capacidad de campo (Hwcc) y humedad gravimétrica (Hw), siendo significativa en la profundidad de 0 – 15 cm ($r = 0.446$) (Tabla 3) y altamente significativa para 15 – 30 cm ($r = 0.633$) (Tabla 4).

Para los bosques, los suelos presentan una gruesa capa de musgos y materia humificada que ejerce un efecto importante en la hidrología de estos ecosistemas: son capaces de almacenar grandes cantidades de agua, hasta seis veces su peso seco (Avendaño, 2007). El espacio poroso y la distribución del tamaño de poros de un suelo afectan muchos los fenómenos, tales como el almacenamiento y movimiento del agua (Torrente 2007).

Tabla 3. Prueba de correlaciones de Pearson para la profundidad 0 – 15 cm sobre las propiedades físicas evaluadas en los sistemas productivos del Centro Experimental de FEDEPAPA, Obonúco.

	Hw (%)	Hθ(%)	Hwcc	Lam (Z)	Ksat	Dpmhum
Hw (%)		0.947**	0.446*	0.947**	0.575**	1.151ns
Hθ(%)	0.947**		0.261ns	0.999**	0.331ns	- 0.101ns
Hwcc	0.446*	0.261ns		0.261ns	0.597**	0.584**
Lam (Z)	0.947**	0.999**	0.261ns		0.330ns	- 0.101ns
Ksat	0.575**	0.331ns	0.597**	0.330ns		0.794**
Dpmhum	1.151ns	- 0.101ns	0.584**	- 0.101ns	0.794**	

** : Altamente significativo al nivel del 1%.

* : Significativo al nivel del 5%.

ns: No significativo

Tabla 4. Prueba de correlaciones de Pearson para la profundidad 15 - 30 cm sobre las propiedades físicas evaluadas en los sistemas productivos del Centro Experimental de FEDEPAPA, Obonúco.

	Hw(%)	Hθ(%)	Hwcc	Lam (Z)	Ksat	Dpmhum
Hwcc (%)		0.939**	0.633**	0.939**	0.572**	0.014ns
Hθ(%)	0.939**		0.461*	1.00**	0.428ns	-0.121ns
CC	0.633**	0.461*		0.460*	0.550**	0.173ns
Lam (Z)	0.939**	1.00**	0.460*		0.427ns	-0.122ns
Ksat	0.572**	0.428ns	0.550**	0.427ns		0.727**
Dpmhum	0.014ns	-0.121ns	0.173ns	-0.122ns	0.727**	

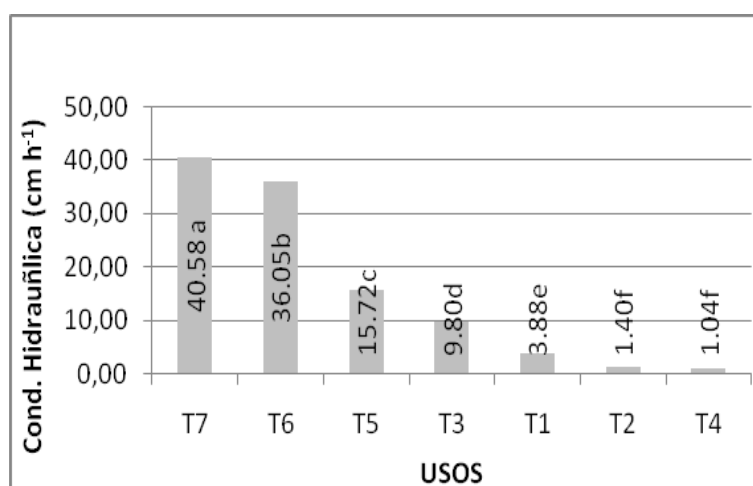
** : Altamente significativo al nivel del 1%.

* : Significativo al nivel del 5%.

ns: No significativo

Conductividad hidráulica saturada (Ks). La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para tratamientos indicó que el mayor valor lo presentó el T7 (40.58 cm h⁻¹) y que éste se comporta estadísticamente diferente a todos los demás, seguido del T6 (36.05 cm h⁻¹); T1 (3.88 cm h⁻¹), T2 (1.40 cm h⁻¹) y T4 (1.04 cm h⁻¹) los cuales mostraron una disminución considerable respecto al T7. Los T2 y T4 se comportan estadísticamente iguales (**Figura 3**).

Figura 3. Conductividad hidráulica saturada (Ks) evaluada en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.



Estos resultados pueden estar atribuidos al efecto positivo de la cobertura vegetal en los tratamientos T7 y T6 representados en aportes de materia orgánica (Arteaga, 2009), además de micro, meso y macro fauna (Cabrera y Gómez, 2009), con lo cual se logra una mayor estabilidad estructural, un aumento en la macroporosidad, y en general las mejores condiciones físicas del suelo para que el agua contenida en los mismos pueda moverse más ágilmente (Ramírez *et al.*, 2005). De manera similar, lo reporta Ohep (1994), quien indica que la no labranza deja en la superficie del suelo mayor cantidad de residuos vegetales que incrementan la conductividad hidráulica del mismo.

Por el contrario los bajos valores de conductividad hidráulica encontrados en los suelos con los tratamientos T4 y T2 pueden deberse a la eliminación de la cobertura vegetal y por ende del contenido de materia orgánica. Además, ésta práctica genera una desintegración de los agregados o compactación en las capas superficiales del suelo, por lo cual se disminuye la permeabilidad y la macroporosidad del mismo, reduciéndose así de manera drástica tanto la entrada como el movimiento del agua al interior del suelo (Ramírez *et al.*, 2005). Resultados similares fueron señalados por Soane *et al.*, (1981) y Kayombo y Lal (1986), quienes reportan que la labranza convencional reduce la conductividad hidráulica en el suelo.

La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para profundidades determinó que el valor de conductividad hidráulica saturada más alto (16.54 cm/h), se encontró en la profundidad 0 – 15 cm y que éste valor difirió de (14.45 cm/h) registrado para la profundidad 15 – 30 cm.

Con respecto al manejo, en suelos bajo agricultura convencional continua se presentan densificaciones subsuperficiales, que generan comparativamente al resto del perfil fuerte reducción de la conductividad hidráulica, macroporos muy finos e incremento en la densidad aparente, reduciéndose el movimiento del agua (Quiroga *et al.*, 2005). Una de las causas principales es los menores contenidos de materia orgánica presentes en las capas profundas de los suelos (Álvarez y Barraco, 2005), aspectos relacionados posiblemente con los comportamientos obtenidos en T4 y T2.

Ramírez *et al.*, (2005), afirman que a medida que aumenta el porcentaje de materia orgánica aumenta la conductividad hidráulica, ya que la materia orgánica contribuye considerablemente en la formación de la estructura del suelo, disminuye la compactación y mejora la macroporosidad del mismo, con lo cual se facilita la entrada y movimiento del agua en el suelo y por ende la conductividad hidráulica. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Arteaga (2009), quien reporta que para T7 y T6 el valor de materia orgánica es de 13.43% y 19.57%, lo anterior es sustentado por Moliné (1986), quien afirma que la materia orgánica tiene la capacidad de aumentar el grado de agregación de las partículas finas de la capa superficial, aumentando su estabilidad.

Según Ravina y Magier (1984), los fragmentos gruesos situados en los primeros 20 cm del suelo contribuyen a mejorar las propiedades físicas aumentando la porosidad y la conductividad hidráulica; en éste sentido actúan como un esqueleto que dificulta la compactación del suelo.

En éste estudio, se presentó una tendencia de la conductividad hidráulica a aumentar a medida que se incrementan los valores del diámetro ponderado medio (DPM) en húmedo. Lo cual se debe a que el DPM es un indicador de la estabilidad de los agregados y con relación a la conductividad hidráulica, entre más alta sea la estabilidad de los agregados se indica que pueden conservar su forma después de ser humedecidos, permitiendo mantener sus funciones y favoreciendo el movimiento del agua dentro del suelo (Ramírez *et al.*, 2005). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Richards (1973), quien concluye que los suelos con buena estructura permiten una mayor infiltración y movimiento del agua en el suelo.

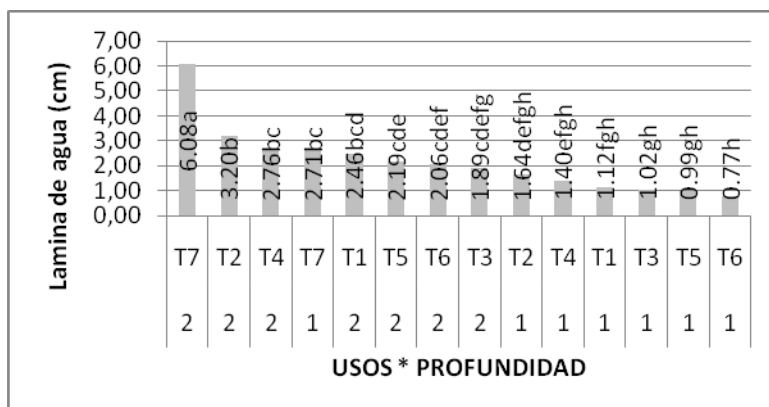
Para éste estudio se obtuvo una correlación positiva y altamente significativa de $r = 0.794$ para 0 – 15 cm (tabla 3) y $r = 0.727$ (Tabla 4) para 15 – 30 cm; esto indica que el aumento en la conductividad hidráulica se debe a incrementos en el DPM en húmedo.

Lamina de agua (Z). La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) indicó que el mayor valor se presentó en el T7 (6.08 cm) bajo uso de bosque y a una profundidad de 15 – 30 cm, a su vez, éste se comportó estadísticamente diferente a los demás tratamientos, encontrándose el menor valor en el T6 (0.77 cm) de cerca viva multiestrato y a una profundidad de 0 – 15 cm, (Figura 4).

El resultado obtenido en la interacción T7*P2 se puede justificar mediante la correlación positiva y altamente significativa que existe entre lamina de agua (Z) y humedad gravimétrica (Hw) a una profundidad de 15 – 30 cm ($r = 0.939$) (Tabla 4).

Es importante resaltar el papel de los bosques andinos para mantener un aporte continuo de materia orgánica a los suelos; esto determina parcialmente su capacidad para almacenar y retener el agua (Bonell, 1993, 2005; Fleischbein *et al.*, 2005; Goller, 2004; Bonell y Balek, 1993).

Figura 4. Interacción profundidad por tratamiento para lamina de agua en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.

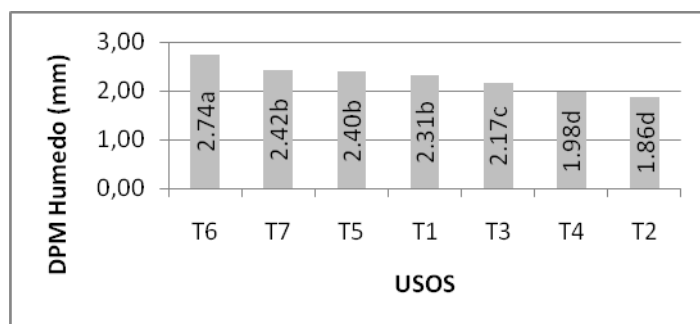


El alto rendimiento hídrico de los bosques de montaña, como los andinos, está relacionado con varios procesos, entre los que se encuentran: baja temperatura (Kitayama y Aiba, 1999), alta humedad relativa en forma permanente (Odum *et al.*, 1970), dosel permanentemente húmedo (Frumau *et al.*, 2006), presencia de epífitas y capa gruesa de briofitos en la superficie del suelo u horizonte orgánico bien desarrollado (Tobón y Arroyave, 2008b; Tobón *et al.*, 2009b). Los suelos que se encuentran en estas condiciones permanecen durante gran parte del año con una humedad cercana a la capacidad de campo o generalmente saturados (Tobón *et al.*, 2009c; Osorio y Bahamon, 2008).

Estabilidad de agregados en humedo. La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) indicó que el mayor valor se presentó en el T6 (2.74 mm) y los menores valores se encontraron en el T2 (1.86 mm) y el T4 (1.98 mm) bajo monocultivo de papa y banco de proteína respectivamente. El T6 difirió estadísticamente de los demás tratamientos (Figura 5), en tanto que T2 y T4 se comportaron estadísticamente de manera similar.

El mayor tamaño de agregados en el T6 se puede atribuir al efecto benéfico generado por la cobertura vegetal y al mayor contenido de materia orgánica (19.57%) existente en éste sistema que fue reportado por Arteaga (2009). Por el contrario el mínimo valor encontrado en el T2 se puede deber seguramente por las intensivas actividades de laboreo realizadas en este sistema, lo cual generó una desagregación notable del suelo. Asociado al aumento de la materia orgánica se comprueba mayor estabilidad estructural y menor susceptibilidad a la compactación (Quiroga *et al.*, 1996) condición que no se presentó en el uso bajo monocultivo de papa.

Figura 5. Diámetro promedio medio para estabilidad de agregados evaluados en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.



La acción de la labranza produce, en todo momento, la alteración de la condición estructural presente y el mejoramiento temporal de las condiciones de aireación del suelo removido, pero generalmente acaba con un balance negativo al finalizar el ciclo del cultivo (Malagón y Montenegro, 1990). Los agregados muy pequeños pueden favorecer la formación de costras y capas compactadas; agregados mayores restringen el volumen del suelo explorado por las raíces finas (Hillel, 1998).

CONCLUSIONES

- ✓ Los tratamientos que mostraron unos mejores comportamientos con respecto a las propiedades físicas evaluadas en los diferentes usos del suelo fueron los T7 y T6 ya que presentaron mayores valores de conductividad hidráulica saturada (K_s) y humedad gravimétrica a capacidad (H_{wcc}); por el contrario los tratamientos T2 y T4 mostraron un deterioro considerable en sus propiedades al mostrar disminuciones en los valores de conductividad hidráulica.
- ✓ Las variables humedad volumétrica (H_v), lamina de agua (Z) y conductividad hidráulica saturada (K_s) presentaron una correlación positiva y altamente significativa con la variable humedad gravimétrica (H_w) para las dos profundidades evaluadas.
- ✓ Los sistemas productivos correspondientes a T2 y T4 evaluados en el presente estudio, causaron una reducción en la velocidad de flujo del agua al interior del suelo en comparación con el T7 debido posiblemente a la eliminación de la cobertura vegetal y a la alteración de otras propiedades físicas que afectan directamente la conductividad hidráulica de los suelos.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, C. y M. Barraco. 2005. Efecto de los sistemas de labranzas sobre las propiedades edáficas y el rendimiento de los cultivos. Indicadores de calidad física de suelos. Boletín técnico N° 4: 5 – 14.
- Arteaga, J. 2009. Evaluación de algunas variables químicas en diferentes sistemas productivos y tiempos de uso en suelos del altiplano de Nariño, municipio de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.
- Avendaño, D. 2007. Biomasa y capacidad de almacenamiento de agua de las epífitas en el Páramo de Guerrero (Cundinamarca, Colombia). Tesis de grado Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Bonell, M. 1993. Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests. *Journal Hydrology*. P 217–275.
- Bonell, M. 2005. Runoff generation in tropical forests. En: Bonell, M. y L.A. Bruijnzeel (Eds.), *Forest-Water-People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Bonell, M., y J. Balek. 1993. Recent scientific developments and research needs in hydrological processes of the humid tropics, p. 167 – 260, *In Hydrology and Water Management in the Humid Tropics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Burbano, H., D. Coral, y A. Unigarro. 2006. Características fisicoquímicas de los suelos de Tangua y Yacuanquer Nariño Colombia. *Suelos Ecuatoriales*. 36(1): 30 – 35.
- Cabrera, P., y H. Gómez. 2009. Evaluación de la macrofauna en diferentes usos y manejo del suelo en el centro experimental de FEDEPAPA en el corregimiento de Obonúco, municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.
- CORPONARIÑO, 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional 2002 – 2012. Pasto, Colombia.

- CORPONARIÑO, 2007. Plan de Acción Trienal 2007 – 2009. Pasto, Colombia.
- Delgado, S., F. Alliaume, F. García, J. Hernández. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia*. 10(2): 95 – 107.
- Fleischbein, K., W. Wilcke, R. Goller, J. Boy, C. Valarezo, W. Zech, and K. Knoblich. 2005. Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties. *Hydrological Processes*. 19: 1355-1371.
- Frumau, K., L. Bruijnzeel, and C. Tobon. 2006. Hydrological measurement protocol for montane cloud forest. Final Technical Report DFID-FRP Project R7991. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Goller, R. 2004. Biogeochemical Consequences of Hydrologic Conditions in a Tropical Montane Rain Forest in Ecuador. Thesis dissertation, Universität Bayreuth. Germany.
- Harden, C. 2006. Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*. 79: 249–263.
- Herrera, P., E. Amézquita, L. Guerrero, y L. Restrepo. 1991. Efecto de la labranza en algunas propiedades físicas de un suelo andino. *Suelos Ecuatoriales*. 19(1): 68- 75.
- Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics*. Academia press. San Diego. USA.
- Instituto Geografico Agustin Codazzi. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. IGAC. Bogota, Colombia.
- Instituto Geografico Agustin Codazzi. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. IGAC. Bogota, Colombia.
- Jaramillo, D. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Kayombo, B., y R. Lal. 1986. Effects of soil compaction by rolling on soil structure and development of maize in no-till and disc. Ploughing systems on tropical Alfisol. *Soil Tillage Research*. 7:117-134.
- Kitayama, K., y S. Aiba. 1999. Structure, composition and species diversity in an altitudesubstrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology* 149: 139-15.
- Malagón, D., y H. Montenegro. 1990. *Propiedades físicas de los suelos*. IGAC. Bogotá, Colombia.
- Moline, R. 1986. *La utilización del suelo agrícola en Catalunya*. Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona. España.
- Odum, H., W. Abbot, R. Selander, F. Golley, y R. Wilson. 1970. Estimates of chlorophyll and biomass of the Tabonuco forest of Puerto Rico. In Odum, H.T., Pigeon, R.F. (Eds.), *A Tropical Rain Forest*. United States Atomic Energy Commission, Washington, DC, USA.
- Ohep, C. 1994. Influencia de la labranza en algunas características físicas en un suelo de la serie Uribeque del Yaracuy Medio y sus incidencias sobre el crecimiento y producción 23 del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Trabajo de Ascenso. UCLA, Decanato de Agronomía.
- Osorio, A., y C. Bahamon. 2008. Dinámica de la humedad del suelo en bosques alto andinos en el páramo de Guerrero, Cundinamarca-Colombia. Tesis Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Paz, F., y D. Recalde. 2003. Determinación preliminar de la variación nutricional mineral del suelo y su relación con el banco de proteínas, en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño, en el Centro de

- Investigación CORPOICA Obonuco. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.
- Pla, I. 1994. La materia orgánica y la degradación y erosión de suelos en el trópico. En: El componente biorgánico del suelo.p.36-47. Memorias del octavo Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, Colombia.
- Poulenard J., P. Podwojewsk, J. Jeanneau, and J. Collinet. 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian paramo: effects of tillage and burning. *Catena* 45: 185–207.
- Quiroga, A., D. Buschiazzi, N. Peinemann. 1996. Soil organic matter particle size fractions of semiarid Argentinean Pampas. *Soil Sci.* 161:104 – 108.
- Quiroga, A., B. Lejarraga, R. Fernandez, y D. Funaro. 2005. Aspectos del manejo del agua en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Indicadores de calidad física de suelos. Boletín técnico N° 4: 19 – 26. Argentina.
- Ramírez, R., A. Carmona, y G. Pérez. 2005. Cambios en la conductividad hidráulica y su relación con otras variables físicas de un andisol, bajo diferentes sistemas de manejo en el municipio de Marinilla Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Ravina, I., y J. Magier. 1984. Hydraulic conductivity and water retention of clay soils containing coarse fragments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, P 736-740.
- Richards, L. 1973. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Manual de Agricultura No. 60 (Traducción Limusa) México.
- Soane, B., P. Blackwell, J. Dickson, y D. Painter. 1981. Compaction by agricultural vehicles: a review. I. Soil and Wheel Characteristics. *Soil Tillage Research*. P. 207-237.
- Tobón, C. 2009a. Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, CONDESAN. Quito, Ecuador.
- Tobón, C., L. Bruijnzeel, and A. Frumau. 2009b. Physical and hydraulic properties of Tropical Montane Cloud Forest soils and their changes after conversion to pasture. Proceedings of the Second International Symposium: Science for Conserving and Managing Tropical Montane Cloud Forests, Waimea, Hawaii.
- Tobón, C., C. Köhler, S. Bruijnzeel, A. Frumau, and S. Schmid. 2009c. Water dynamics of epiphytic vegetation in a lower montane cloud forest: Fog interception, storage and its evaporation. Proceedings of the Second International Symposium: Science for Conserving and Managing Tropical Montane Cloud Forests, Waimea, Hawaii.
- Tobón, C., G. Gil, y C. Villegas. 2008a. Aportes de la niebla al balance hídrico de los bosques alto andinos. Universidad Nacional de Colombia. Editorial La Carreta. Medellín, Colombia.
- Tobón, C., y F. Arroyave. 2008b. Hidrología de los bosques alto-andinos. En: Ecología de Bosques Andinos, Universidad Nacional de Colombia. Editorial J.D. León. Medellín, Colombia.
- Torrente, A. 2007. Importancia de las propiedades físicas del suelo en el uso eficiente del agua en la agricultura de alto rendimiento. En: Suelos Ecuatoriales. 37(1): 15-23.
- Unigarro, A., y M. Carreño. 2005. Métodos Químicos para el análisis de suelos. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.