

**DINAMICA Y MOVIMIENTO DEL AGUA EN SUELOS CON DIFERENTES  
USOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL ALTIPLANO DE PASTO –  
DEPARTAMENTO DE NARIÑO<sup>1</sup>**

**WATER DYNAMIC AND MOVEMENT IN SOILS WITH USES DIFFERENTS IN  
PRODUCTION SYSTEMS OF PASTO HIGHLANDS - DEPARTMENT OF  
NARIÑO**

Diego R. Aguirre P.<sup>2</sup>

Yony A. Ordoñez G.<sup>2</sup>

Jorge F. Navia E.<sup>3</sup>

**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: T<sub>1</sub>: bosque plantado con *Eucaliptus globulus*, T<sub>2</sub>: monocultivo de papa (*Solanum tuberosum*), T<sub>3</sub>: banco de proteína de *Acacia decurrens*, T<sub>4</sub>: pradera con kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), T<sub>5</sub>: sistema de acacias con aliso (*Acacia decurrens* – *Acacia melanoxylon* y *Alnus acuminata*), T<sub>6</sub>: cerca viva multiestrato (*Acacia decurrens*, *Tecoma stans* y *Rubus glaucus*) y T<sub>7</sub>: 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

---

<sup>1</sup> Artículo presentado como trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agroforestal.

<sup>2</sup> Ing Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. [diego.aguirre789@gmail.com](mailto:diego.aguirre789@gmail.com), [jagallardo87@gmail.com](mailto:jagallardo87@gmail.com)

<sup>3</sup> Ph.D. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. Colombia. [jornavia@udenar.edu.co](mailto:jornavia@udenar.edu.co).

para tratamientos y profundidades, mientras que humedad gravimétrica, humedad volumétrica y estabilidad de agregados solo presentaron diferencia estadística para tratamientos.

Los resultados permiten confirmar que las variaciones en la estabilidad de agregados influye directamente en el comportamiento de la variable conductividad hidráulica saturada, 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.

**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: T<sub>1</sub> planted forest (*Eucalyptus globulus*), T<sub>2</sub>: potato cultivation (*Solanum tuberosum*), T<sub>3</sub>: protein blocks (*Acacia decurrens*), T<sub>4</sub>: pasture (*Pennisetum clandestinum*), T<sub>5</sub>: acacias - aliso system (*Acacia decurrens* - *Acacia melanoxylon* and *Alnus acuminata*), T<sub>6</sub>: multistrate fence (*Acacia decurrens*, *Tecoma stans* and *Rubus glaucus*) and T<sub>7</sub> native forest. The effect of land use systems on the physical properties were evaluated through gravimetric and volumetric humidity, capacity of field, hydraulic conductivity, water sheet and stability of aggregates. The results were analyzed using analysis of variance, test mean comparisons (LSD) and Pearson correlations. The main results showed significant differences (P <0.05) interaction depth by treatment in the variable water sheet; the variables capacity of field and hydraulic conductivity indicated statistical differences for treatments and depths, while gravimetric humidity, volumetric humidity and aggregate stability showed only statistically significant for treatments.

The results can confirm that variations in the aggregate stability influence directly on the behaviour of the variable hydraulic conductivity, because a decrease in the soil aggregation generate a porosity smaller and a reduction of water movement.

**Keywords:** andisols, gravimetric humidity, 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. Por lo tanto la producción de bienes y servicios en el departamento de Nariño no se desarrolla armónicamente con la dinámica ambiental de la región ya que las áreas dedicadas a la producción agropecuaria, a través de los sistemas de producción convencionales se encuentran en un proceso de deterioro debido a la pérdida de la capacidad productiva del suelo 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).

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 paramo de Guerrero en Cundinamarca y determinaron que los suelos de los ecosistemas de alta montaña en Colombia son capaces de almacenar hasta 500 litros por metro cubico en el primer metro del perfil del suelo, dado su alto contenido de materia orgánica. Sin embargo, no determinaron certeza sobre cuál fracción de esta 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.

## METODOLOGIA

**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 (**T<sub>1</sub>**) corresponde a un bosque plantado de *Eucaliptus globulus*, con un tiempo de uso de 40 años; a la fecha se han realizado tres (3) aprovechamientos, ocasionalmente se realizan raléos selectivos de acuerdo a las necesidades de la granja (Arteaga, 2009).

El tratamiento (**T<sub>2</sub>**) 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 (**T<sub>3</sub>**) 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 (**T<sub>4</sub>**) 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 (**T<sub>5</sub>**) 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 (**T<sub>6</sub>**) 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 (**T<sub>7</sub>**) 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	METODOLOGIA	REFERENCIAS
Humedad gravimétrica	$(Psh-Pss/Pss)*100$	IGAC (1990)
Humedad volumétrica	$\%hg*Da$	Jaramillo (2002)
Capacidad de campo	Columnas de Chapingo	Unigarro y Carreño (2005)
Conductividad hidráulica	Permeámetro de cabeza constante	Jaramillo (2002)
Lamina de agua	$\%h\theta*profundidad$	Jaramillo (2002)
Estabilidad de agregados	Yoder	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 de 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

El ANDEVA (Tabla 2.) determinó que en las variable lamina de agua se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p<0,05$ ) para la interacción profundidad por tratamiento. Las variables capacidad de campo y conductividad hidráulica indicaron diferencias estadísticas ( $p<0,05$ ) para tratamientos y profundidades, mientras que humedad gravimétrica, humedad volumétrica y estabilidad de agregados en húmedo solo presentaron diferencia estadística para tratamientos.

**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.**

Análisis de varianza						
F. Variación	Hg (%)	Hv (%)	CC %	Lam	Ksat	DPMhumedo
	CM	CM	CM	CM	CM	CM
Modelo	113.7585**	58.9996**	63.7713**	5.5011**	756.2181ns	0.2462**
Profundidad	0.2900ns	4.3457ns	137.2344**	25.8658**	45.9696*	0.0089ns
Usos	245.6710**	125.4939**	98.0675**	6.5940**	1626.9523ns	0.5219**
Prof*usos	0.7575ns	0.6143ns	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%.

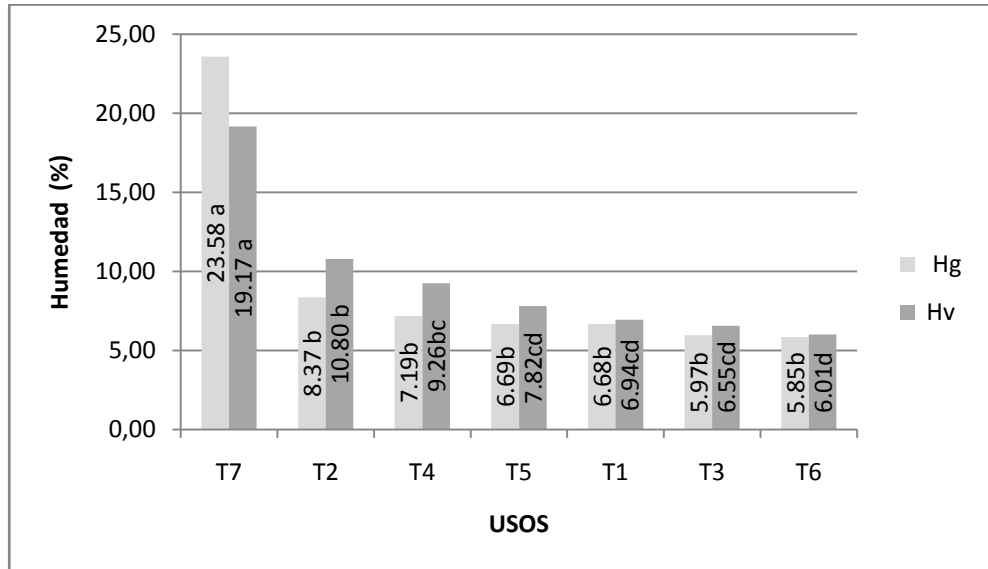
\* : Significativo al nivel del 5%.

ns: No significativo

**Humedad gravimétrica y Humedad volumétrica.** El ANDEVA (Tabla 2) indicó que existen diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos para las dos variables La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) muestra que el T7 con valores promedio de humedad gravimétrica y volumétrica de 23.58 % y 19.17% respectivamente, difiere estadísticamente de los demás tratamientos. Los menores valores encontrados corresponden al T6 con 5.85% y 6.01% y T3 con 5.97% y 6.55% (Figura 1).



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



El estudio de estas variables muestra que los mayores valores Hg = 23.58% y Hv = 19.17% se encontraron en T7, lo cual es atribuible 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. Los demás tratamientos presentaron un descenso considerable en comparación con T7; es así que se puede explicar éste comportamiento en que el muestreo fue realizado en época seca y tratamientos como T6, T3, T1 y T5 presentan especies que necesitan gran cantidad de agua para su normal desarrollo. En tanto, el comportamiento de T2 y T4 se explica a razón de que en estos sistemas el suelo queda expuesto directamente a la luz solar.

Similares resultados fueron encontrados en un estudio de la humedad del suelo 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).

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 de los fenómenos, tales como el almacenamiento y movimiento del agua (Torrente 2007).

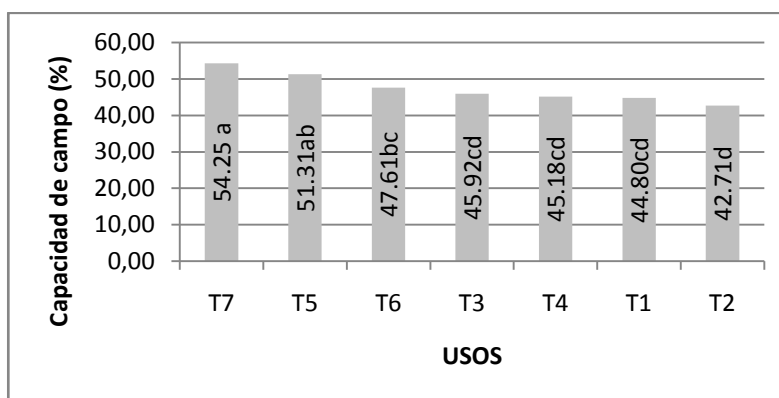
La diferencia en la retención de humedad entre los sistemas productivos dependiendo del tipo de cobertura, indica que las labores de preparación del suelo y las propiedades físicas del mismo influyen en la transmisión y almacenamiento de agua (Herrera *et al.*, 1991). Así mismo el contenido de materia 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). El mismo autor manifiesta que, si se buscan las razones de éste comportamiento se encuentra que una de las más relevantes, es la 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.

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).

**Humedad a capacidad de campo.** El ANDEVA (Tabla 2) mostró diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) para tratamientos y profundidades. Según la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para tratamientos se encontró que el mayor valor promedio (54.25%) para ésta variable lo presentó el T7, el menor valor (42.71%) lo presentó el T2 (Figura 2).

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



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 (cerca a la saturación) durante casi todo el año (Tobón, *et al.*, 2009b). 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.*, 2008).

El menor contenido de agua bajo eucaliptos en verano es lo esperable, debido a su mayor requerimiento hídrico y a un sistema radicular capaz de explorar un mayor volumen de suelo (Delgado *et al.*, 2006), (Figura 2).

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 y humedad gravimétrica, 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).

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).

**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.**

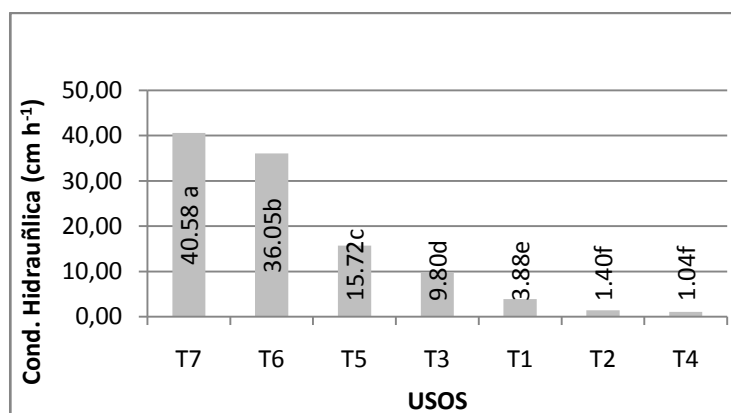
	Hg (%)	Hv(%)	CC	Lam	Ksat	Dpmhum
Hg (%)		0.947**	0.446*	0.947**	0.575**	1.151ns
Hv(%)	0.947**		0.261ns	0.999**	0.331ns	- 0.101ns
CC	0.446*	0.261ns		0.261ns	0.597**	0.584**
Lam	0.947**	0.999**	0.261ns		0.330ns	- 0.101ns
Ksat	0.575**	0.331ns	0.597**	0.330ns		0.794**
Dpmhum	1.151ns	- 0.101ns	0.584**	- 0.101ns	0.794**	

**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.**

	Hg (%)	Hv(%)	CC	Lam	Ksat	Dpmhum
Hg (%)		0.939**	0.633**	0.939**	0.572**	0.014ns
Hv(%)	0.939**		0.461*	1.00**	0.428ns	-0.121ns
CC	0.633**	0.461*		0.460*	0.550**	0.173ns
Lam	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**	

**Conductividad hidráulica saturada.** El ANDEVA (Tabla 2) mostró que existen diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) para tratamientos y profundidades. La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para tratamientos indicó que el mayor valor lo presentó el T7 ( $40.58 \text{ cm h}^{-1}$ ) y que éste se comporta estadísticamente diferente a todos los demás, seguido del T6 ( $36.05 \text{ cm h}^{-1}$ ); los T1 ( $3.88 \text{ cm h}^{-1}$ ), T2 ( $1.40 \text{ cm h}^{-1}$ ) y T4 ( $1.04 \text{ cm h}^{-1}$ ) mostraron una disminución considerable respecto al T7. El T2 y T4 se comportan estadísticamente iguales (Figura 3).

**Figura 3. Conductividad hidráulica saturada 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 halla en la profundidad 0 – 15 cm y que éste difiere valor (14.45 cm/h) registrado para la profundidad 15 – 30 cm.

Con respecto al manejo, en suelos bajo agricultura convencional continúa 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).

Ramirez *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.

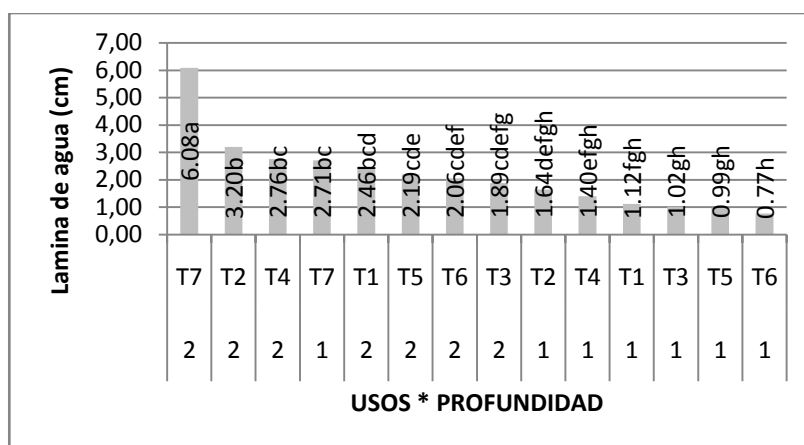
Según Ravina y Magier (1984), los fragmentos gruesos situados en los primeros 20 cm del suelo contribuyen a mejorar las propiedades físicas aumentando la porosidad y la conductividad hidráulica; en éste sentido actúan como un esqueleto que dificulta la compactación del suelo.

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 (Ramirez *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  $r = 0.794$  (Tabla 3) para 0 – 15cm 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.** El ANDEVA (Tabla 2) mostró que existen diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) para la interacción profundidad por tratamiento. La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) indicó que el mayor valor (6.08 cm), lo presentó el T7 en la profundidad 15 – 30 cm, a su vez, éste se comporta estadísticamente diferente a los demás tratamientos, encontrándose el menor valor (0.77 cm) en T6 y profundidad 0 – 15 cm, (Figura 4).

**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 resultado obtenido en la interacción T7\*P2 se puede justificar mediante la correlación positiva y altamente significativa que existe entre lamina de agua y humedad gravimétrica para la profundidad 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).

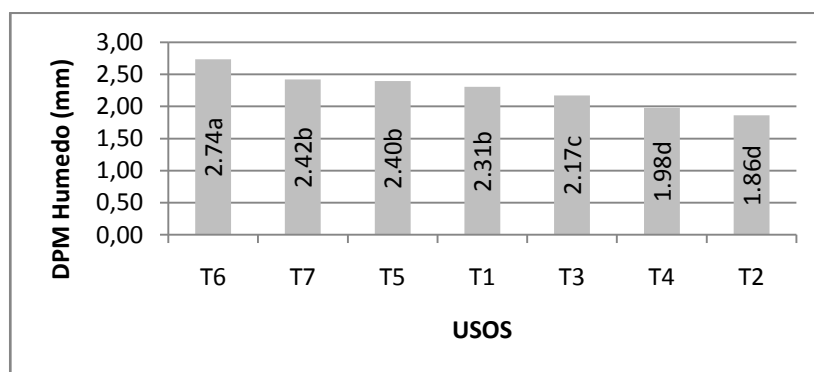
El alto rendimiento hídrico de los bosques de montaña, como los andinos, está relacionado con varios procesos, entre los que se encuentran: baja temperatura (Kitayama y Aiba,



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, 2008; 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 húmedo.** El ANDEVA (Tabla 2) mostró que existen diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos. La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) indicó que el mayor valor (2.74 mm) lo presentó el T6, y los menores valores se encontraron en T2 (1.86 mm) y T4 (1.98 mm). El T6 difiere estadísticamente de los demás tratamientos (Figura 5), en tanto que T2 y T4 se comportan estadísticamente de manera similar.

**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.**



El mayor tamaño de agregados (2.74 mm), se encontró en el T6 y 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 T2 se puede generar por las intensivas actividades de laboreo

realizadas en este sistema, lo cual genera 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).

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 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 mejor comportamiento con respecto a las propiedades físicas evaluadas en los diferentes usos de suelo fueron T7 y T6 ya que presentaron mayor valor en conductividad hidráulica saturada y humedad a capacidad de campo; por el contrario los tratamientos T2 y T4 mostraron un deterioro considerable en sus propiedades al mostrar disminuciones en los valores conductividad hidráulica.

Las variables humedad volumétrica, lamina de agua y conductividad hidráulica saturada presentaron una correlación positiva y altamente significativa con la variable humedad gravimétrica 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.

## **AGRADECIMIENTOS**

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

## **BIBLIOGRAFIA**

Álvarez, C y Barraco, M. 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. 24 p.

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, Sede Medellín. Medellín. 78 p.

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 Balek, J. 1993. Recent scientific developments and research needs in hydrological processes of the humid tropics. pp. 167 - 260. En: Hydrology and Water Management in the Humid Tropics. Cambridge University Press. Cambridge. 425p.

Burbano, H., Coral, D., Unigarro, A. 2006. Características fisicoquímicas de los suelos de Tangua y Yacuanquer Nariño Colombia. Suelos Ecuatoriales. 36(1): 30 – 35.

Cabrera, P y Gómez, H. 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. 24 p.

CORPONARIÑO, 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional 2002 – 2012. San Juan de Pasto. 247p.

CORPONARIÑO, 2007. Plan de Acción Trienal 2007 – 2009. San Juan de Pasto. 137 p.

Delgado, S., Alliaume, F., García, F., Hernández, J. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. Agrociencia. 10(2): 95 – 107.

Fleischbein, K., Wilcke, W., Goller, R., Boy, J., Valarezo, C., Zech, W., Knoblich, K. 2005. Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties. Hydrological Processes 19: 1355-1371.

Frumau, K., Bruijnzeel, L., Tobon, C. 2006. *Hydrological measurement protocol for montane cloud forest*. Annex 2, Final Technical Report DFID-FRP Project R7991. Vrije Universiteit, Amsterdam, 105 pp.

Goller, R. 2004. Biogeochemical Consequences of Hydrologic Conditions in a Tropical Montane Rain Forest in Ecuador. Thesis dissertation, Universität Bayreuth. Alemania. 103p.

Harden, C. 2006. Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*. 79: 249–263.

Herrera, P., Amézquita, E., Guerrero, L., Restrepo, L. 1991. Efecto de la labranza en algunas propiedades físicas de un suelo andino. En: *Suelos Ecuatoriales*. 19(1): 68- 75.

Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics*. Academia press. San Diego. USA. 771 p.

IGAC. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. Bogotá: IGAC. Tomo III. 113p.

IGAC.1990. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. Bogotá: IGAC. 502 p.

Jaramillo, D. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: UNAL. 614p.

Kayombo, B y Lal, R. 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 Aiba, S. 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 Montenegro, H. 1990. *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá: IGAC. 813p.

Moline, R. 1986. *La utilización del suelo agrícola en Catalunya*. Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona.189p.

Odum, H., Abbot, W., Selander, R., Golley, F., Wilson, R. 1970. Estimates of chlorophyll and biomass of the Tabonuco forest of Puerto Rico. En: 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. 105 p.

Osorio, A. y Bahamon, C. 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 sede Medellín. 63 p.

Paz, F. y Recalde D. 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. 104 p.

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. VIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, Colombia.

Poulenard J., Podwojewsk, P., Jeanneau, J., Collinet, J. 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., Buschiazzo, D., Peinemann, N. 1996. Soil organic mater particle size fractions of semiarid Argentinean Pampas. *Soil Sci.* 161:104 – 108.

Quiroga, A., Lejarraga, B., Fernandez, R., Funaro, D. 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.

Ramírez, R., Carmona, A., Pérez, G. 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. Medellín: UNAL. 24 p.

Ravina, I. y Magier, J. 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. 234p.

Soane, B., Blackwel, P., Dickson, J., Painter, D. 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.122p.

Tobón, C., Bruijnzeel, L., Frumau, A. 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., Köhler, C., Bruijnzeel, S., Frumau, A., Schmid., S. 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., Gil, G., Villegas, C. 2008. Aportes de la niebla al balance hídrico de los bosques alto andinos. Ed. La Carreta, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.261 p.

Tobón, C. y Arroyave, F. 2008. Hidrología de los bosques alto-andinos. En: Ecología de Bosques Andinos, Universidad Nacional de Colombia. J.D. León Ed. 213 p.

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 Carreño, M. 2005. Métodos Químicos para el análisis de suelos. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. 72 p.