

**EVALUACION DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS EN SUELOS CON DIFERENTES USOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL ALTIPLANO DE PASTO – DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**Diego R. Aguirre<sup>1</sup>, Yony A. Ordoñez<sup>1</sup> y Jorge F. Navia<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *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: T<sub>1</sub>: bosque plantado con *Eucalyptus 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 propiedades físicas del mismo, se evaluó a través de densidad aparente, densidad real, porosidad total, textura y resistencia a la penetración. 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 las variables densidad aparente y densidad real; la variable porosidad total indicó diferencias estadísticas para tratamientos y profundidades, mientras que la textura no presentó diferencias estadísticas significativas.

Los resultados permiten confirmar que las variaciones en la densidad aparente influyen en el comportamiento de la mayoría de las propiedades físicas estudiadas donde los tratamientos T<sub>7</sub> y T<sub>6</sub> en las diferentes propiedades presentaron un mejor comportamiento.

**Palabras claves:** andisol, *Vitric haplustands*, densidad aparente.

**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>: multiestrato 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 bulk density, real density, total porosity, texture and resistance to the penetration. 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 bulk density and real density; the variable total porosity indicated statistical differences for treatments and depths, While the texture did not show statistical differences significant. The results can confirm that variations in bulk density affect the behavior of most physical properties studied where the treatments T<sub>7</sub> and T<sub>6</sub> in the properties differents showed behavior better.

**Keywords:** andisols, *Vitric haplustands*, bulk density.

### 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).

El progresivo deterioro de los suelos en la zona Andina es un problema derivado de un conjunto de factores tales como: patrones de uso y ocupación de la tierra insostenibles, ampliación de la frontera agrícola, prácticas inadecuadas de manejo y la contaminación que conllevan a su destrucción, debido a un aprovechamiento por encima de su capacidad de regeneración; rebajándose el potencial del suelo, lo cual se traduce en bajas producciones y rendimientos por unidad de área. Esto ha ocasionado algunas limitantes como son: erosión, disminución de la fertilidad de los suelos, pérdida de materia orgánica, pérdida de la capacidad productiva, acidificación de los suelos y en algunos casos salinización por el uso indiscriminado de fertilizantes que conllevan a la degradación ambiental, a la crisis de las unidades agropecuarias familiares y por ende la baja calidad de vida de las comunidades (CORPONARIÑO, 2007).

Lal, (1996) citado por Siavosh *et al.*, (2000), determinó los efectos de la deforestación, la labranza de "post desmonte" y sistemas de cultivos sobre las propiedades del suelo, durante 1978 a 1987 en el Sur Oeste Nigeriano y los resultados mostraron que la deforestación y los cambios en el uso del suelo causan cambios drásticos en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo, los cuales han sido extremadamente favorables bajo el sistema boscoso antes de la tala. La densidad aparente y la resistencia a la penetración como indicadores de la compactación se incrementaron significativamente y con ello la infiltración se vio reducida debido al pisoteo del ganado (3 cabezas por hectárea).

Amézquita y Pinzón (1991), midieron los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de su compactación por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte de Caquetá (Colombia); los resultados de ésta investigación revelaron que los animales en pastoreo modifican substancialmente las propiedades físicas de los suelos del piedemonte amazónico. Sin embargo la intensidad de estos cambios depende de la zona y la especie cultivada, siendo más drástico en suelos con guaduilla *Homolepis aturensis* que pasturas de *Brachiaria decumbens* y más en áreas de lomerío (altura pequeña en el terreno) y de terrazas que en las vegas. La compactación fue mayor en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en la porosidad y cambios desfavorables en la relación suelo-agua-aire que afectan el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad. Con relación a la estructura, se encontró una pérdida de esta característica por pisoteo.

Gómez *et al.*, (1997), en el municipio del Dovio (Valle del Cauca-Colombia) sobre la Cordillera Occidental en una zona marginal cafetera que corresponde a bosque húmedo premontano, evaluaron dos bancos de proteína como sistemas comparados con un potrero, enfatizando en la fertilidad entendida como la expresión de la interacción de las diferentes variables físicas, químicas y biológicas que la generan.

Los sistemas evaluados fueron (1) Banco de *Trichanthera gigantea*, (2) banco mixto de *Trichanthera gigantea* y *Erythrina edulis* y (3) mezcla de braquiaria y leguminosas, donde al evaluar la porosidad (%) y compactación  $\text{kgf cm}^{-2}$ , medida a los 5 y 10 cm se reportó que los valores encontrados para las dos variables fueron: 43%, 1.8 y 1.4  $\text{kgf cm}^{-2}$  para el banco de nacedero; 39.8%, 1.9 y 1.6  $\text{kgf cm}^{-2}$  para el banco mixto y 32%, 2.2 y 2  $\text{kgf cm}^{-2}$  para el potrero. La mayor compactación y la menor cantidad de espacios porosos se encontraron en el potrero.

En éste sentido la presente investigación buscó 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 (T<sub>1</sub>) 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 (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	METODOLOGÍA	REFERENCIAS
Densidad aparente	Cilindro de vol. conocido	IGAC (1990)
Densidad real	Picnómetro	Unigarro y Carreño (2005)
Porosidad total	$(1 - D_a/D_r) * 100$	IGAC (1990)
Textura	Bouyoucos	IGAC (1990)
Resistencia a la penetración	Penetrógrafo de pistón	Penetrógrafo Eijkelkamp

**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 INFOTAT.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El ANDEVA (**Tabla 2**) determinó que en las variables densidad aparente y densidad real se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) para la interacción profundidad por usos evaluados. La variable porosidad total indicó diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) para usos y profundidades. La variable textura no presentó diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ) en éste estudio

**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		
	Da (g/cc)	Dr (g/cc)	Pt (%)
	CM	CM	CM
Modelo	0,0970**	0,0130*	164,9639**
Profundidad	0,0771**	0,0123ns	98,8080**
Usos	0,1858**	0,0113ns	329,1024**
Prof*usos	0,0116*	0,0148*	11,8512ns
Error	0,0040	0,0058	8,3919

\*\* : Altamente significativo al nivel del 1%.

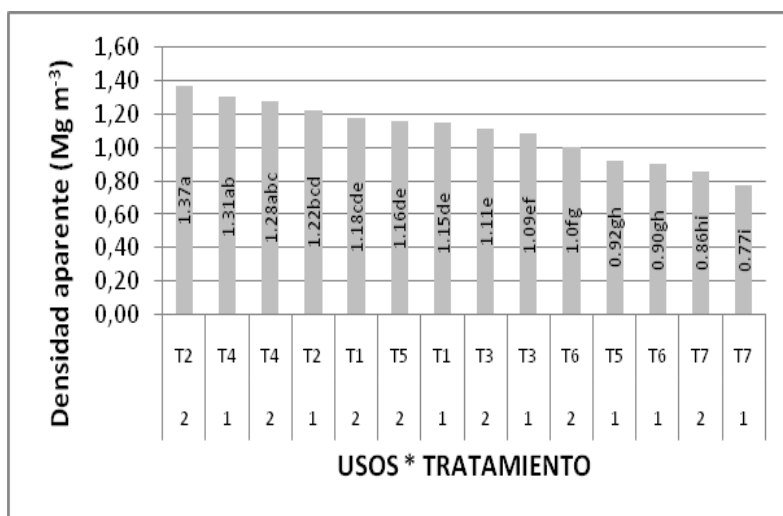
\* : Significativo al nivel del 5%.

ns: No significativo

**Densidad aparente.** El ANDEVA mostró diferencias estadísticas significativas para la interacción profundidad por usos evaluados. Según la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) el mayor valor ( $1.37 \text{ Mg m}^{-3}$ ) lo presentó el T2 en la profundidad 15 – 30 cm, seguido del T4 con valores de

1.30 Mg m<sup>-3</sup> en la profundidad 0 – 15 cm y 1.27 Mg m<sup>-3</sup> en la profundidad 15 -30 cm, los mínimos valores encontrados fueron 0.77 Mg m<sup>-3</sup> y 0.86 Mg m<sup>-3</sup> para el T7 en las profundidades 0 – 15 cm y 15 – 30 cm respectivamente (**Figura 1**).

Se asume que estos comportamientos se deban al aporte significativo de materia orgánica de las especies existentes en los sistemas T<sub>7</sub> (Bosque nativo), T<sub>6</sub> (*Acacia decurrens*, *Tecoma stans* y *Rubus glaucus*) y T<sub>5</sub> (*Acacia decurrens* – *Acacia melanoxylon* y *Alnus acuminata*) y a un menor grado de intervención antrópica. Los mayores incrementos en las interacciones T<sub>2</sub>\*P<sub>2</sub> (1.37 Mg m<sup>-3</sup>) y T<sub>4</sub>\*P<sub>1</sub> (1.31 Mg m<sup>-3</sup>) demuestran que el uso de maquinaria agrícola, el laboreo intensivo y el sobrepastoreo reducen el contenido de materia orgánica lo que ocasiona un incremento en el valor de ésta propiedad.



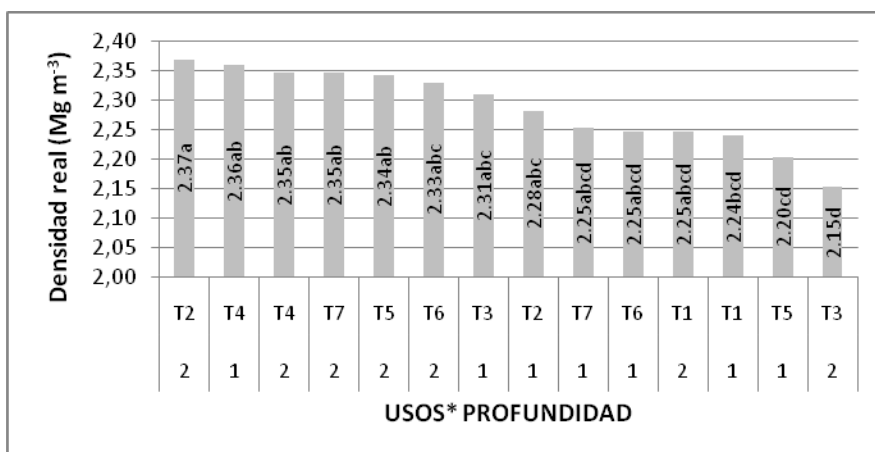
**Figura 1.** Interacción profundidad por uso para densidad aparente en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.

La baja densidad aparente que se obtuvo en las profundidades 0 – 15 y 15 – 30 cm para el T<sub>7</sub> se asocia con una alta porosidad (64.62%). Los resultados encontrados pueden asociarse al estado estructural del suelo e influidos por la textura (mineralogía) y la materia orgánica, además por la génesis volcánica y las practicas de manejo, principalmente por la labranza, propias de los agroecosistemas evaluados, que pueden producir adensamiento y pérdida de materia orgánica (Burbano *et al.*, 2006).

Quiroga *et al.*, (1999), indicaron que un incremento de aproximadamente 5 g kg<sup>-1</sup> en el contenido de materia orgánica dió lugar a una disminución de 0.06 g en la densidad aparente máxima. El incremento en la densidad aparente al aumentar la profundidad de muestreo se explicaría mayormente por los menores contenidos de materia orgánica presentes en las capas profundas de los suelos (Álvarez y Barraco, 2005).

**Densidad real.** El ANDEVA indicó que existen diferencias estadísticas significativas para la interacción profundidad por usos evaluados. Según la prueba de LSD las interacciones T<sub>2</sub>\*P<sub>2</sub> y T<sub>4</sub>\*P<sub>1</sub> presentaron los mayores valores promedios con 2.37 y 2.36 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente, en contraste con T<sub>3</sub>\*P<sub>2</sub> y T<sub>5</sub>\*P<sub>1</sub> los cuales presentaron valores de 2.15 Mg m<sup>-3</sup> y 2.20 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente (**Figura 2**).

Estos resultados pueden atribuirse a la relación inversa que existe entre el contenido de materia orgánica y densidad real (Malagón y Montenegro, 1990; Martínez *et al.*, 2008), esto se corrobora en el estudio realizado por Arteaga (2009), donde reporta mayores valores de materia orgánica para el T<sub>3</sub> (10.07%) y T<sub>5</sub> (17.9%) y los menores valores para T<sub>2</sub> (5.33%) y T<sub>4</sub> (7.67%).

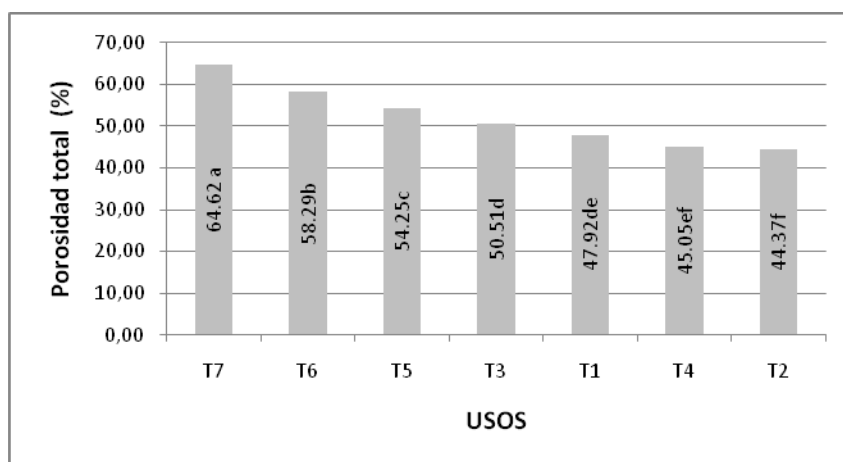


**Figura 2.** Interacción profundidad por uso para densidad real en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.

Medina *et al.*, (2005), evaluaron los cambios ocurridos a lo largo de un período de 30 años, en algunas propiedades físicas y la materia orgánica del suelo, en suelos del estado de Campeche-México, en los sistemas de maíz bajo temporal (SMT), mango bajo riego (SMR) y sistema de vegetación natural (SVN) y encontraron que el promedio de densidad real fue 2.56 Mg m<sup>-3</sup> para ambos sistemas de cultivo, y tendió a ser menor en el SVN, donde alcanzó un valor medio de 2.51 Mg m<sup>-3</sup>. En el SMT hubo una diferencia altamente significativa entre estratos (años de uso) y observaron que la densidad real tendió a incrementarse con el tiempo de uso, ya que resultó menor en el estrato de 1 a 5 años y mayor en el estrato de 26 a 30 años, mientras que en el SMR, aunque también se observó una diferencia altamente significativa, la tendencia no resultó bien definida entre estratos de uso del suelo.

Los autores afirman que estos casos son difíciles de explicar pues difiere de lo señalado por la literatura en el sentido de que ésta es una propiedad del suelo muy estable.

**Porosidad total.** El ANDEVA mostró diferencias estadísticas significativas (P<0,05) para tratamientos y profundidades evaluadas. Según la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para tratamientos el mayor valor (64.62 %) se presentó en el T<sub>7</sub>, seguido del T<sub>6</sub> (58.29%) y T<sub>5</sub> (54.25). Los sistemas que presentaron menores valores de porosidad total fueron T<sub>2</sub> (44.37%) y T<sub>4</sub> (45.05%), quienes estadísticamente se comportan de manera similar (**Figura 3**).



**Figura 3.** Porosidad total evaluada en los 7 usos y manejo del suelo en el Centro Experimental FEDEPAPA, Obonúco. 2008 – 2009.

Estos resultados pueden atribuirse al efecto benéfico de las raíces de los árboles que presentan los tratamientos  $T_7$ ,  $T_6$  y  $T_5$  en contraste con lo encontrado para  $T_2$  y  $T_4$ , cuyos tratamientos son sometidos a actividades intensivas de laboreo y pastoreo. La cobertura aumenta la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua de lluvia, también mejora la estructura y porosidad del suelo por el efecto de las raíces y la materia orgánica. Además, las raíces forman una red protectora que retiene las partículas del suelo.

Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Gallardo (1980), donde encontraron que la porosidad total calculada de los suelos bajo bosque presentaron valores promedios altos (entre 60 % y 67 %), lo que concuerda con la alta cantidad y la naturaleza de la materia orgánica del suelo y la actividad de la flora y fauna del suelo (Wild, 1992). Se considera, esquemáticamente, que la porosidad total está constituida por una macroporosidad utilizada para la circulación del agua y del aire y por una microporosidad que almacena agua (Duchaufour y Souchier, 1987).

En suelos excesivamente fraccionados o pulverizados por la acción intensa de los arados y rastrillos, se reducen los macroporos durante el reacondicionamiento de partículas y con frecuencia se forman sellos superficiales o pequeñas capas endurecidas a escasa profundidad, que constituyen barreras físicas para el intercambio gaseoso, la penetración de agua y raíces o la emergencia de las plántulas (Malagón y Montenegro, 1990).

Durante la preparación convencional de suelos agrícolas, se rompe el conjunto estructural inicial y se degrada, según la intensidad de las prácticas que se realicen, para dar origen a una condición de porosidad aparentemente buena, que desaparece rápidamente por el reacondicionamiento y reagrupación de las partículas que producen las lluvias, el riego y el tránsito de maquinaria agrícola (Malagón y Montenegro, 1990).

Se ha comprobado que pequeños cambios en los contenidos de materia orgánica pueden modificar significativamente las características y funcionamiento del sistema poroso y consecuentemente la eficiencia de uso del agua pluvial (Quiroga y Bono, 2008). La alteración de la estabilidad estructural de los suelos determina los cambios en la porosidad total así como las formas de los poros individuales y su distribución (Torrente 2007). La prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para profundidades detectó que el mayor valor de porosidad total (53.68 %) se registró en la profundidad 0 – 15 cm para todos los tratamientos (usos de suelo) y el menor valor de porosidad total (50.61%) se registró para la profundidad 15 – 30 cm.

El hecho de que los mayores valores de porosidad total se registren en la profundidad 0 – 15 cm puede estar sujeto a que generalmente en los primeros centímetros del suelo (0 – 20 cm) es donde se acumula gran parte de los residuos orgánicos (Ravina y Magier, 1984) como son: podas, residuos de cosecha y hojarasca los que ayudan a incrementar los porcentajes de aireación en el suelo.

La porosidad total registró una correlación negativa y altamente significativa con la densidad aparente en las dos profundidades; para 0 – 15 cm  $r = -0.982$  (**Tabla 3**) y para 15 – 30 cm  $r = -0.949$  (**Tabla 4**), lo que demuestra que las variaciones en la densidad aparente influyen en gran parte sobre la porosidad total.

**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.

	Da	Dr	Pt
Da		0.465*	- 0.982**
Dr	0.465*		- 0.293ns
Pt	- 0.982**	- 0.293ns	

\*\* : 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.

	Da	Dr	Pt
Da		0.115ns	-0.949**
Dr	0.115ns		0.202ns
Pt	-0.949**	0.202ns	

\*\* : Altamente significativo al nivel del 1%.

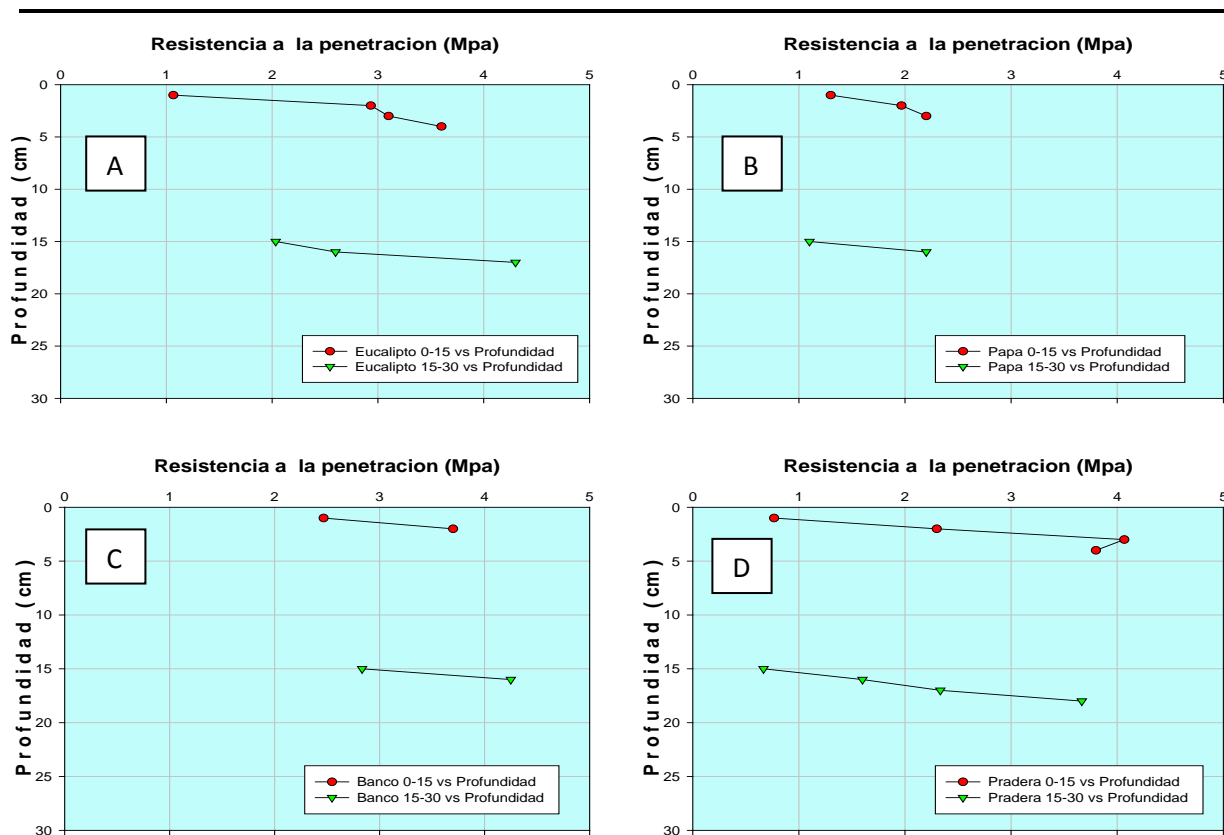
\* : Significativo al nivel del 5%.

ns: No significativo

**Resistencia a la penetración.** Las graficas 18a, 18b, 18c y 18d evidencian que los suelos correspondientes a T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> presentan una alta impedancia mecánica y similares comportamientos para las dos profundidades. Siendo T<sub>2</sub> el tratamiento que presentó mayor resistencia a la penetración con valores de (2.2 Mpa) a 3 cm de profundidad para P<sub>1</sub> y (2.2 Mpa) a 1cm de profundidad para P<sub>2</sub>, donde se asume que este comportamiento se debe a que el suelo bajo cultivo de papa es sometido a un repetido laboreo con maquinaria agrícola pesada, lo que causa una pulverización, desagregación y compactación del mismo, reduciendo la porosidad y a la vez incrementando la resistencia a la penetración, comprobando como a medida que aumenta la labranza ésta característica disminuye. El T<sub>3</sub> al igual que T<sub>2</sub> presentó valores elevados para ésta variable, (3.7 Mpa) a 2 cm de profundidad y (4.25 Mpa) a 1 cm de profundidad para P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> respectivamente, lo cual se puede atribuir al continuo pisoteo del ganado, ya que el banco de proteínas está expuesto a libre ramoneo durante gran parte del día.



**Figura 4.** Resistencia a la penetración encontrada en cada uno de los sistemas de manejo evaluados en los suelos del altiplano de pasto a profundidades de 0-15 y 15 - 30 cm. 2008 – 2009.



**Figura 4a =T1, Figura 18b =T2, Figura 18c =T3, Figura 18d =T4.**

La roturación de la capa arable, cosecha tras cosecha con arados (discos y vertederas) y con rastras y rastrillos de discos, casi siempre a las mismas profundidades, ocasiona con el tiempo la aparición de capas endurecidas, formadas por la presión que ejercen los elementos de trabajo sobre el fondo del surco, que son conocidas con el nombre de pie de arado. Una preparación intensa, conlleva un elevado número de pases del tractor, cuyo peso es una carga que debe soportar la estructura y su efecto se transmite a través del perfil ocasionando compactación en horizontes inferiores (Malagón y Montenegro, 1990).

La mayor resistencia a la penetración en las capas subsuperficiales, se explicaría por el laboreo reiterado a una misma profundidad dependiente de las herramientas de labranza empleada (Álvarez y Barraco, 2005). Cuando la resistencia mecánica es mayor a 2 MPa se ve afectado el crecimiento de las raíces y el abastecimiento de agua y nutrientes (Gupta y Allmaras, 1987; Hamblin, 1985).

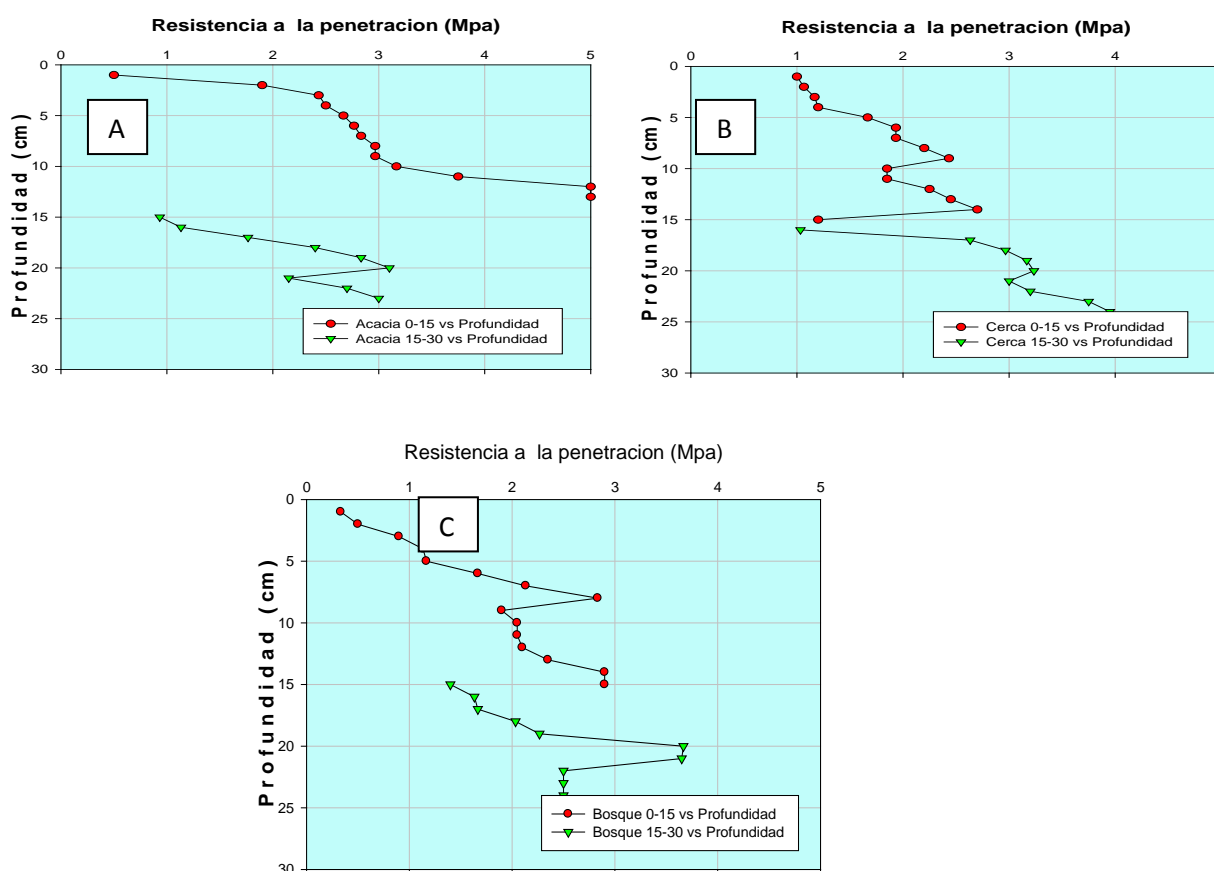
La influencia del contenido de agua sobre la resistencia a la penetración determina que los principales efectos negativos del pastoreo deban esperarse cuando imperan condiciones de baja humedad en el suelo. En este caso se confunden los efectos de la falta de agua con los de una alta resistencia a la penetración. Con un contenido de agua reducido y variable en los primeros centímetros del suelo, valores de resistencia a la penetración eventualmente elevados pueden incrementarse y la resistencia a la penetración se relaciona inversamente con la humedad del suelo (Kruger *et al.*, 2005).

El efecto del tránsito de animales está relacionado con las presiones ejercidas sobre el suelo, lo cual es función de la masa del animal, el tamaño de su pezuña y la energía cinética. Las presiones ejercidas

por ovinos, cuando están parados, promedian 66 kPa y los vacunos 138 kPa. Estas presiones son equiparables a las ejercidas por rodados de tractores no cargados (74 – 81 kPa), y las presiones de tracción (58 kPa) de vehículos arrastrados (Taboada, 2007).

El mismo autor, afirma que debe considerarse que estas presiones aumentan durante el pastoreo, pues al caminar los animales sólo apoyan dos o tres de sus pezuñas. Por otra parte, la cantidad de tránsito dependerá mucho de la disponibilidad de forraje, y la distancia a los bebederos. Sin embargo, debe considerarse que un vacuno o un ovino pueden estar transitando hasta unas 12 – 13 horas por día. Compactaciones superficiales (efecto del pisoteo) y subsuperficiales (efectos de labranza) restringen el crecimiento de las raíces, el ingreso y movimiento del agua a través del perfil (Álvarez y Barraco, 2005), (Figura 19a, 19b y 19c).

**Figura 5.** Resistencia a la penetración encontrada en cada uno de los sistemas de manejo evaluados en los suelos del altiplano de pasto a profundidades de 0-15 y 15 - 30 cm. 2008 – 2009.



**Figura 5a =T5, Figura 5b =T6, Figura 5c =T7.**

Los tratamientos que mostraron mejor comportamiento para  $P_1$  y  $P_2$  con respecto a esta variable fueron  $T_5$ ,  $T_6$ , y  $T_7$  ya que presentaron menor resistencia y valores más altos de profundidad. De los tres sistemas  $T_6$  fue el que mostró un menor valor para  $P_1$  (1.2 Mpa) a 15 cm y  $T_7$  fue el que indicó el mínimo valor para  $P_2$  (2.5 Mpa) a 9 cm, esto se asocia a los bajos valores de densidad aparente encontrados en las interacciones  $T_6 * P_1$  (0.90 g/cc) y  $T_7 * P_2$  (0.86 g/cc).

Ramírez y Salazar (2005), al estudiar un andisol en el Municipio de Marinilla (Antioquia), encontraron que la resistencia a la penetración aumenta a medida que aumenta la labranza del suelo; es así que un suelo con 10 años de barbecho presentó menor impedancia mecánica con respecto a un

suelo virgen. El autor atribuye estos resultados a que el suelo con 10 años de barbecho presenta mayor distribución de macroporos y por lo tanto las partículas del suelo van a estar más separadas. La presencia de materia orgánica tiene un efecto protector frente a la compactación (Ferrerías *et al.*, 2001; Guérif *et al.*, 2001).

Para asegurar un buen crecimiento y funcionamiento de las raíces, es necesario que el suelo provea una adecuada capacidad de almacenaje de agua y aire, y además una resistencia o densidad apropiada (Ferrerías *et al.*, 2007). Valores de resistencia mecánica inferiores a 1.5MPa no ofrecen resistencia alguna para un adecuado desarrollo radicular.

Con el propósito de determinar los efectos de esta transformación sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos la Fundación CIPAV (1997) llevó a cabo una investigación para la Corporación Autónoma Regional del Quindío-CRQ durante los meses de junio a diciembre de 1997. En la investigación encontraron que al evaluar la variable resistencia a la penetración en los primeros 10 cm de profundidad, la ceba intensiva se destacó por presentar el promedio más elevado ( $3.32 \text{ kg cm}^{-2}$ ), diferenciándose claramente de los demás sistemas. La ganadería intensiva productora de leche y la ganadería extensiva se clasificaron dentro de un segundo grupo, con promedios de 2.69 y  $2.62 \text{ kg cm}^{-2}$  respectivamente. La tercera agrupación incluyó a los cafetales tradicionales ( $1.30 \text{ kg cm}^{-2}$ ) y guaduales ( $1.24 \text{ kg cm}^{-2}$ ), los cuales conforman los sistemas de menor.

Similares tendencias se observan cuando se comparó la compactación entre 10 y 20 cm. Los guaduales presentaron los valores más bajos de resistencia a la penetración para esta profundidad ( $1.36 \text{ kg cm}^{-2}$ ), con diferencias estadísticas frente a los demás sistemas. Los sistemas ganaderos fueron los que mayor compactación ocasionaron a los suelos (ceba= $3.39 \text{ kg cm}^{-2}$ , extensivo= $3.36 \text{ kg cm}^{-2}$  y lechería =  $3.03 \text{ kg cm}^{-2}$ ).

Los aumentos de la compactación de los sistemas pecuarios con relación a los cultivos de café en términos porcentuales para la ganadería intensiva de carne y leche respectivamente fueron 130 y 86% en los primeros 10 centímetros y 89 y 68% para la profundidad de 10 a 20. El grado de la compactación fue directamente proporcional a la densidad aparente y densidad real. Los suelos menos compactados presentaron más espacios porosos, mayor conductividad del agua y propiciaron un mejor ambiente para el desarrollo de los microorganismos. Los suelos ricos en materia orgánica fueron menos susceptibles a la compactación.

### CONCLUSIONES

- ✓ La densidad aparente es una importante variable indicadora de la degradación de suelos, debido a que el comportamiento de otras propiedades se puede ver afectado con una variación en su contenido.
- ✓ Los usos que mostraron mejor comportamiento con respecto a las propiedades físicas evaluadas fueron T<sub>7</sub> y T<sub>6</sub> ya que presentaron menor valor en densidad aparente y valores máximos para porosidad total; por el contrario los usos T<sub>2</sub> y T<sub>4</sub> mostraron un deterioro considerable en sus propiedades al mostrar disminuciones en los valores de porosidad total, además de un incremento en la densidad aparente
- ✓ La variable porosidad total presentó una correlación negativa y altamente significativa para las dos profundidades con la densidad aparente.
- ✓ La resistencia a la penetración se ve notoriamente afectada por la labranza intensiva y el sobrepastoreo, es así que los usos que mostraron mayor impedancia mecánica fueron T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>; por el contrario los sistemas donde existe una menor intervención T<sub>6</sub> y T<sub>7</sub> presentaron los mínimos valores de resistencia.

### BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, 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.
- Amézquita, E. y A. Pinzón. 1991. Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas Tropicales. 13(2): 21 – 26.
- 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.
- 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.
- CORPONARIÑO, 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional 2002 – 2012. Pasto, Colombia.
- CORPONARIÑO, 2007. Plan de Acción Trienal 2007 – 2009. Pasto, Colombia.
- Duchaufour, P y B. Souchier. 1987. Edafología. 2 Constituyentes y Propiedades del Suelo. Masson, Barcelona, España.
- Ferreras, L., J. De Battista, A. Ausilio, y C. Pecorari. 2001. Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. Pesq. Agropec. Brasileira 36: 61 – 170.
- Gallardo, J. 1980. Suelos Forestales de El Rebollar (Salamanca) II. Propiedades y Conclusiones. Centro de Edafología y Biología Aplicada. Salamanca 8: 214-228.
- Gómez, M., L. Rodríguez, E. Murgueitio, C. Ríos, M. Rosales, C. Molina, E. Molina, y J. Molina. 1997. Árboles y Arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica: Matarratón *Gliricidia sepium*, nacedero *Trichanthera gigantea*, Pízamo *Erythrina fusca*, Botón de oro *Tithonia diversifolia*. 2da edición. CIPAV. Cali, Colombia.
- Guérif, J., G. Richard, C. Durr, J. Machet, S. Recous, and J. Roger. 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment, Soil Till. Res 61: 13 – 32.
- Gupta, S y R. Allmaras. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. Adv. Soil Sci. 6: 65-100.
- Hamblin, A. 1985. The influence of soils structure on wáter movement, crop root growth and wáter uptake. Adv. Agron. 38:95-158
- Instituto Geografico Agustin Codazzi.1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. IGAC. Bogotá, Colombia.
- Kruger, H., S. Venanzi, y E. Sa Pereira. 2005. Efecto del pisoteo por animales en planteos de siembra directa. Indicadores de calidad física de suelos. Boletín técnico N° 4: P 27 – 30.
- Malagón, D., y H. Montenegro. 1990. Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Bogotá, Colombia.
- Martínez, E., J. Fuentes, y E. Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. 8(1): 68-96.
- Medina, J., V. Volke, J. Gonzales, A. Galvis, M. Santiago, y J. Cortez. 2005. Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del Estado de Campeche México. Trópico Húmedo. 22(2): 175 -189.

- 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. Pasto, Colombia.
- Quiroga, A., D. Buschiazzo, and M. Monsalvo. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *Soil Till.* 52:21-28.
- Quiroga, A., y A. Bono. 2008. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. INTA: Argentina.
- Ramírez, R. y C. Salazar. 2005. Cambios de la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un andisol 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.
- Taboada, M. 2007. Cambios en el suelo, asociados al tránsito y pisoteo de la hacienda. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.
- Torrente, A. Importancia de las propiedades físicas del suelo en el uso eficiente del agua en la agricultura de alto rendimiento. *Suelos Ecuatoriales.* 37(1): 15-23.
- Unigarro, A., y M. Carreño. 2005. Métodos Químicos para el análisis de suelos. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. España.