

Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia

Effect of Land Use on Water Holding Capacity in the Sumapaz Paramo- Colombia

Martha Constanza Daza Torres¹; Fanny Hernández Florez² y Flor Alba Triana³

Resumen. Los páramos son ecosistemas importantes por su función natural como reguladores hídricos donde sus suelos juegan un papel fundamental. Sin embargo, son sistemas frágiles que pueden sufrir degradación con cambios en el uso del suelo. Este estudio se realizó con el fin de evaluar cambios en las propiedades físicas de un suelo de páramo relacionadas con su capacidad de almacenamiento de agua cuando se someten a diferentes usos. El trabajo se llevó a cabo en el área del Parque Natural Nacional del Sumapaz (Cundinamarca-Colombia), donde se seleccionó un tipo de suelo representativo de una misma unidad cartográfica de suelos bajo diferentes usos (cultivos de papa, ganadería, suelo en descanso con vegetación de barbecho y suelos con vegetación nativa, como tratamiento testigo); se realizaron tres calicatas por cada uso, se tomaron muestras de los cuatro lados de la calicata por horizonte y se evaluaron propiedades del suelo como retención de humedad, densidad aparente, porosidad total, distribución de la porosidad y contenido de carbono orgánico. Se encontró que la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo se percibió disminuida para todos los usos hasta en un 60%; la densidad aparente aumentó hasta un 16% y la porosidad total disminuyó hasta en un 23% de los suelos con diferente uso al ser comparados con el suelo del tratamiento testigo. El cultivo de papa y los lotes en descanso presentaron los menores valores de porcentaje de carbono orgánico, porosidad, retención de humedad, a capacidad de campo y punto de marchitez permanente; y altos valores de densidad aparente en comparación con el suelo con vegetación nativa. El cambio del uso del suelo disminuyó la capacidad de retención de agua, afectando la función ambiental de los páramos como reguladores hídricos.

Palabras clave: Retención de humedad, porosidad del suelo, propiedades físicas del suelo.

Abstract: Paramo grasslands are important ecosystems due to natural function as water regulator where soils play a fundamental role. However, paramo grasslands are fragile systems and they can be damaged with land uses changes. This work was done to evaluate soil physical changes related to water holding capacity when land uses change. This work was carried on Parque Natural Nacional del Sumapaz located in Cundinamarca Colombia, where a type of representative soil was selected of the same cartographic land unit with different land uses (potato crop, livestock, fallow soil and natural soil with native plants as control), three pits were done by uses, four soil samples from each side pits were taken and soil properties were evaluated as soil water holding, bulk density, total porosity, soil porosity distribution and soil organic matter. Until 60% soil water holding capacity reduction in all of land uses were found; bulk density increased until 16% and total porosity decreased until 23% in all of land uses when they were compared with control. Potato crop and fallow soils showed the lowest values of organic matter content, porosity, field capacity and wilting point water retention and high density values compared to the soil with native vegetation. Land uses changes reduced soil paramo grassland water holding capacity, affecting its environmental role as water regulators.

Key words: Water holding capacity, soil porosity, soil physical properties.

Los páramos son considerados como biomas exclusivos de las montañas neotropicales que se distribuyen sobre las cadenas montañosas de los andes de Colombia, Venezuela, Ecuador, el Norte de Perú, Costa Rica y Panamá (Luteyn, 1999). Los páramos son importantes centros de flora y fauna endémica que representan el 8% del total de endemismos de la flora colombiana localizados especialmente en la cordillera oriental. Igualmente, contribuyen en la fijación de carbono gracias a la lenta descomposición de la materia orgánica y a los procesos de humificación propios de los suelos (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

No obstante, los ecosistemas del páramo son muy vulnerables al desequilibrio ecológico ocasionado por factores naturales como el cambio climático y por factores humanos que provocan erosión acelerada de los suelos, deslizamientos de tierras, pérdida de diversidad biológica y degradación de cuencas hidrográficas, entre otros (Hofstade, 1995).

Pombo (1989) consideró al páramo como una unidad ecológica de gran importancia para la regulación del recurso hídrico, pues debido a su constitución es capaz de retener en sus suelos hidromórficos grandes volúmenes de agua y controlar su flujo a

¹ Profesora Asistente. Universidad del Valle- Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Medio Ambiente – EIDENAR. Calle 13 No 100 – 00, Ciudad Meléndez, Cali, Colombia. <martha.daza@correounivalle.edu.co >

² Ingeniera Agrónoma. Universidad de Cundinamarca - Facultad de Ciencias Agropecuarias - Programa de Ingeniería Agronómica. Diagonal 18 No. 20-29, Fusagasugá, Colombia. <fannyherflo@yahoo.com.mx>

³ Ingeniera Agrónoma. Universidad de Cundinamarca - Facultad de Ciencias Agropecuarias - Programa de Ingeniería Agronómica. Diagonal 18 No. 20-29, Fusagasugá, Colombia.

Recibido: Enero 16 de 2013; aceptado: Septiembre 05 de 2013.

través de las cuencas hidrográficas. Esta capacidad de retención hídrica obedece a características físicas de los suelos como baja densidad aparente, alta porosidad y condiciones de consistencia muy friable, rasgos característicos de todos los suelos paramunos, lo que se constituyen en importantes limitantes para su uso en actividades que sometan al suelo a cargas o presiones fuertes y constantes como las ocasionadas por el pisoteo continuo del ganado, especialmente en áreas de mayor inclinación de la pendiente (Buytaert *et al.*, 2006).

En Colombia, se han realizado varias aproximaciones al conocimiento sobre la distribución y extensión del ecosistema paramuno. Los páramos colombianos abarcan aproximadamente el 1,3% de la superficie del país equivalente a un poco más de 1'400.000 ha (Instituto Alexander von Humboldt, 1998; Rangel, 2000), representada principalmente por páramos húmedos, los cuales comprenden el 89% del total de páramos colombianos.

El páramo del Sumapaz es el más extenso del mundo y se considera como la segunda fuente hídrica más importante dentro de las áreas protegidas de Colombia (Andrade, 1993). Este páramo contribuye con sus aguas a dos de las principales cuencas hidrográficas del país, las de los ríos Magdalena y Orinoco, e indiscutiblemente será una de las principales fuentes de agua que abastecerán a la Bogotá del futuro. Según Avellaneda (2002), desde 1995 la Empresa de Acueducto de Bogotá ha contemplado la utilización de las reservas hídricas superficiales del páramo del Sumapaz para satisfacer las necesidades de la población del Distrito Capital.

En el páramo del Sumapaz las principales amenazas identificadas son las siguientes: quemas indiscriminadas, sistemas de producción papa-pastos no apropiados para el ecosistema, ganadería extensiva, pérdida de endemismos, sedimentación y eutrofización de las lagunas, pérdida del potencial de regeneración natural, minería en pequeña escala y sin control, plantaciones forestales con especies exóticas, turismo sin control, infraestructura vial sin planeación, pérdida de biodiversidad, no valoración de la biodiversidad, pérdida de la regulación hídrica, no valoración de los recursos hidrológicos en el páramo, presencia institucional reducida y poco apropiada, concentración de población humana en cercanías al ecosistema, y migración de población humana (Podwojewski y Poulénard, 2000). A medida que las condiciones

de los suelos originales han sido cambiadas en la implementación de actividades agropecuarias, sus características físicas se han visto afectadas notablemente, especialmente las relacionadas con los procesos de captura retención y almacenamiento de agua, función principal de los suelos de páramo. Al respecto, Martínez (2004) señala la relación que existe entre el avance de la frontera agrícola y la reducción de la cantidad de agua; así, al reemplazar muchas áreas de páramo por cultivos, se reduce su capacidad de regular el flujo hídrico. Los cultivos tienen un impacto mayor sobre el páramo porque para la preparación del terreno se elimina toda la vegetación y se voltea el suelo, éste se seca superficialmente y los nutrientes se liberan. En el primer año de cultivo de un páramo, los rendimientos son relativamente altos, el cultivo utiliza las reservas de fósforo del suelo y el riesgo fitosanitario es bajo debido a la ausencia de organismos fitopatógenos en él (Hofstede, 2001). Sin embargo, el establecimiento de cultivos en los páramos no es conveniente ya que se empieza la degradación de los suelos, hasta el punto de disminuir en un alto porcentaje los rendimientos, trayendo como consecuencia su abandono (lotes en descanso). En el caso de cultivos intensivos, según Podwojewski y Poulénard y (2000), éstos tienen rendimientos bajos debido a bajas temperaturas, a eventos de heladas, al riesgo fitosanitario como consecuencia de la alta humedad que permite el desarrollo de muchas enfermedades, y a la carencia de fósforo. Además, los cultivos no pueden proteger al suelo de la erosión hídrica y eólica como lo hace la vegetación propia de estos ecosistemas (Buytaert *et al.*, 2012).

Las actividades ganaderas también pueden afectar la capacidad de retención y almacenamiento de agua en el suelo debido al pisoteo del ganado que compacta y deja menos espacio poroso, afectando negativamente a la densidad aparente, la capacidad de retención de agua, la permeabilidad, la estructura, la porosidad y la consistencia (Pinzón, 1993).

Según Hofstede (1997), todas las prácticas agrícolas (cultivos, ganadería y también forestación) tienen como consecuencia que la capa de vegetación desaparece durante un determinado periodo. Por ejemplo, en el caso de cultivos el suelo es arado antes de la siembra y en el caso de ganadería la quema es una práctica común. La desaparición de la vegetación protectora causa una exposición del suelo al aire y aumenta la evaporación en su superficie lo que tiene un efecto altamente significativo porque los suelos

volcánicos poco desarrollados, que se encuentran en la mayoría de los páramos, se secan irreversiblemente y no recuperan su morfología original cuando se vuelven a mojar. Con prácticas agrícolas repetitivas, sin largos periodos de descanso, este ciclo de sequía y disminución de materia orgánica puede ser tan grave que el resultado es un suelo seco, arenoso y sin partes orgánicas (Hofstede, 1997).

En este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar algunas propiedades físicas relacionadas con la retención de agua de los suelos del páramo del Sumapaz y la manera como éstas se han visto afectadas por las condiciones propias del uso del suelo (cultivo de papa, ganadería, parcelas en descanso con barbecho y vegetación nativa).

MATERIALES Y MÉTODOS

El parque Nacional Natural Sumapaz se encuentra ubicado en la Cordillera Oriental de Colombia, en los $3^{\circ} 45'$ - $4^{\circ} 10'$ de latitud norte y los $74^{\circ} 10'$ - $74^{\circ} 30'$ de longitud oeste. La región de estudio se ubicó en la localidad 20, corregimiento de Nazareth (vereda Tanquecitos Finca "La María") dentro del Parque Nacional Natural Sumapaz, a una altura de 3.550 msnm, que corresponde al piso térmico frío, localizado sobre la cordillera oriental entre los 2.400 y 4.100 msnm, a 31 km del área urbana de Bogotá (Distrito Capital, Colombia).

Se seleccionaron cuatro usos del suelo dominantes en la región: agricultura intensiva, ganadería extensiva, lote en descanso con vegetación de barbecho y uso natural con vegetación nativa (en zonas de reserva natural) los cuales pertenecían a la misma unidad cartográfica de suelos (MEFe) de muestreo, que fue identificada de acuerdo a la pendiente, material parental, uso y manejo (Osorio y Casamitjana, 2011). Los suelos seleccionados pertenecen a la clasificación taxonómica Humus Dystrocryepts franca fina ácida, ácida, álica, isomésica. Los suelos se han desarrollado a partir de rocas clásticas limoarcillosas y presentan afloramientos rocosos con texturas de francas a finas. Estos suelos, de baja evolución pedogenética, presentan morfológicamente una distribución de horizontes A – Bw1 – Bw2- C (IGAC, 2000).

La selección de las parcelas de estudio se realizó con base en información secundaria como el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca, cartografía

básica y fotografías aéreas del distrito capital, y de los municipios de Arbeláez, Fusagasugá y Pasca (escala 1:5.000), en donde se identificaron a nivel general los principales problemas de degradación que se vienen presentando en la región. A partir de la fotointerpretación, se definieron las unidades fisiográficas edafológicas con usos agropecuarios, para seleccionar las unidades de muestreo que fueron rectificadas en campo. Esta fase involucró la digitalización de unidades de muestreo que incluyeron el componente fisiográfico – edafológico y de cobertura y uso y selección de unidades de suelos representativos de la región, teniendo en cuenta criterios como representatividad del área de estudio e importancia social; es decir, aquellos tipos de suelos que estaban siendo usados en agricultura y pastoreo. La selección de la unidad de suelo definitiva se realizó con chequeo en campo, al realizar un recorrido general de la zona, con el propósito de conocer las características generales del área que incluyeran varios usos del suelo, revisar las geoformas y hacer observaciones a partir de cajuelas (50 x 50 cm) que permitieron verificar la validez de las líneas trazadas por fotointerpretación y establecer relaciones entre suelos y paisajes del sector. Dentro de esta unidad de suelos se seleccionaron cuatro usos: agricultura intensiva de papa, ganadería, lote en descanso y cobertura vegetal nativa.

La parcela con agricultura intensiva, destinada a cultivo de papa, tenía un área aproximada de 4,5 ha localizadas a una altitud de 3.600 msnm, el cual había estado con vegetación nativa y llevaba en cultivos de papa aproximadamente un año al momento de hacer el estudio.

La parcela utilizada para ganadería tenía un área de 2 ha a una altitud de 3.550 msnm. Inicialmente, este lote correspondía a vegetación nativa, luego fue utilizado para agricultura; y finalmente, desde hace 3 años, se encontraba destinado a la ganadería extensiva.

La tercera parcela correspondió a un lote en descanso con un área de 2 ha y una altitud 3.600 msnm. Este lote estaba dedicado a cultivo de papa y desde hace aproximadamente 5 años fue abandonado debido a bajos índices de producción y desde entonces se ha dejado en barbecho.

La cuarta parcela se encontraba bajo cobertura natural, (vegetación nativa) con un área de 10 ha aproximadamente y una altitud de 3.650 msnm.

Se realizaron tres calicatas en cada parcela (número de repeticiones=3), con dimensiones de 1 x 1 m.

En ellas se hizo la descripción de las propiedades físicas de los horizontes A y B. Se tomaron muestras de las cuatro paredes de la calicata por cada horizonte y se llevaron al laboratorio para realizar su caracterización de acuerdo a la Tabla 1. En total se tomaron 12 muestras de suelo por cada parcela

sin disturbar por cada horizonte, en cilindros de 5,4 cm de diámetro y 3,0 cm de altura con ayuda de un barreno. Las muestras tomadas fueron llevadas al laboratorio en cajas metálicas tapadas siguiendo las recomendaciones de la norma técnica internacional (ASTM D4220, 2000).

Tabla 1. Propiedades y métodos de determinación empleados para la caracterización del suelo de la finca "La María" vereda Tanquecitos en el Páramo del Sumapaz – Colombia.

Propiedad del suelo	Método de laboratorio utilizado	Norma seguida*
Textura	Hidrómetro	ASTM D422 – 63 (2007)
pH	Potenciométrico	ASTM D4972 – 01(2007)
Curva de retención de humedad	Desorción a presión de 10; 33; 100; 500; 1.000 y 1.500 kPa	ASTM D6836 02 (2008)
Densidad aparente	Cilindro	ASTM D7263 - 09
Porosidad total	Calculada a partir de la densidad real y aparente	-
Macro y Microporosidad	Calculadas a partir de la porosidad total y la humedad a capacidad de campo	-
Carbono orgánico oxidable	Walkley - Black	ASTM F1647 - 11

* Fuente: Soil Survey Staff (2009).

Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) siguiendo los protocolos recomendados (IGAC, 2006).

Los datos se analizaron con ayuda del paquete estadístico SAS (2005), se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk y se realizó, a las variables evaluadas, el análisis de varianza correspondiente con un nivel de significancia de 0,01. Además, se practicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para determinar diferencias significativas de las variables evaluadas entre los usos del suelo estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de la unidad cartográfica escogida para el estudio bajo diferentes usos exhibieron horizontes poco profundos, los cuales estuvieron alrededor de 25 cm para el horizonte A y 20 cm para el horizonte B (Tabla 2). Los suelos presentaron texturas francas y franco arcillosas con valores de pH alrededor de 4,5 y clasificados como fuertemente ácidos, correspondientes a lo reportado por otros estudios (IGAC, 2000).

En la Figura 1 se muestra la distribución de la humedad de los suelos en estudio del páramo del

Sumapaz, con los diferentes usos seleccionados. Los suelos, bajo condiciones de vegetación nativa (nativo en la figura), mostraron la alta capacidad de humedad que son capaces de retener a diferentes tensiones, evidenciando su función ecológica de regulación hídrica.

Los suelos dedicados a usos diferentes al nativo mostraron reducción en su capacidad de almacenamiento de agua. En el horizonte A, la cantidad de humedad del suelo en estado de saturación, es decir, cuando los macroporos y microporos están llenos de agua, disminuyó (comparados con suelos con vegetación nativa) en un 37,0 26,8 y 19,2% (desviación estándar = 21,24 y CV = 26,26) para usos de suelo correspondientes a agricultura intensiva con papa, ganadería y lote en descanso, respectivamente. Estas reducciones podrían verse reflejadas en la disminución del drenaje interno, en la menor alimentación de aguas subterráneas y en los nacimientos de los ríos. Al disminuir la cantidad de agua infiltrada en el perfil del suelo, se favorecen los problemas de erosión que ya son evidentes en la zona de estudio, al aumentar el agua de escorrentía (Poulenard *et al.*, 2001; Buytaert *et al.*, 2007; Camargo-García *et al.*, 2012; Moreno, 2012). Igualmente, la humedad a capacidad de campo,

entendiéndose ésta como la humedad retenida en los microporos, se redujo (con respecto al suelo con vegetación nativa) en 31,8, 26,2 y 6,5% (desviación estándar = 17,92 y CV = 28,49) para los usos de cultivo intensivo de papa, ganadería y lote en descanso, respectivamente. La reducción mayor, correspondiente a agricultura intensiva, puede deberse a las actividades que se realizan de preparación excesiva del terreno a que se han visto sometidos estos suelos para la

siembra del cultivo de papa. En cuanto a la humedad retenida a 1.500 kPa, es decir, el punto de marchitez permanente (PMP), el orden de las proporciones se mantuvo; así se tienen unas reducciones del 39,2, 26,8 y 1,5% (desviación estándar = 11,93 y CV = 34,60) para cultivos de papa, ganadería y lote en descanso respectivamente. Camargo-García *et al.* (2012), reportaron efectos similares en suelos de páramo afectados por quemas.

Tabla 2. Características de los suelos en estudio del páramo del Sumapaz (Colombia) bajo diferentes usos del suelo.

Tratamiento	Horizonte	Espesor del horizonte (cm)	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	Textura	pH	Color código Munsell
Cultivo de papa	A	25,3	26,49	13,02	60,49	F	4,5	10YR2/1 negro
	B	20,5	29,48	29,58	40,94	FAr	5,0	10YR3/2 café grisáceo muy oscuro
Ganadería	A	21	54,75	16,51	58,73	F	5,0	10Y/R3/2 café grisáceo muy oscuro
	B	13,7	59,99	1,51	38,91	Ar	4,5	10YR 6/8 amarillo pardusco
Descanso	A	26,7	23,30	4,14	72,57	FL	4,0	10YR2/1 negro
	B	22,7	27,79	25,74	46,45	FAr	4,5	10YR2/2 café muy oscuro
Nativo	A	26	24,34	9,66	65,99	FL	4,0	10YR2/1 negro
	B	9,3	27,02	20,31	64,25	F	4,5	10YR3/2 café grisáceo muy oscuro

F = Franca FAr= Franco arcillosa Ar= Arcillosa FL= Franco limosa

En el horizonte B, la reducción en la cantidad de agua tanto en saturación como en capacidad de campo estuvo del orden del 36% para las actividades

agropecuarias, y del 60% para el caso del lote en descanso. En la región, los lotes en descanso o sin cultivar son abandonados por su baja productividad,

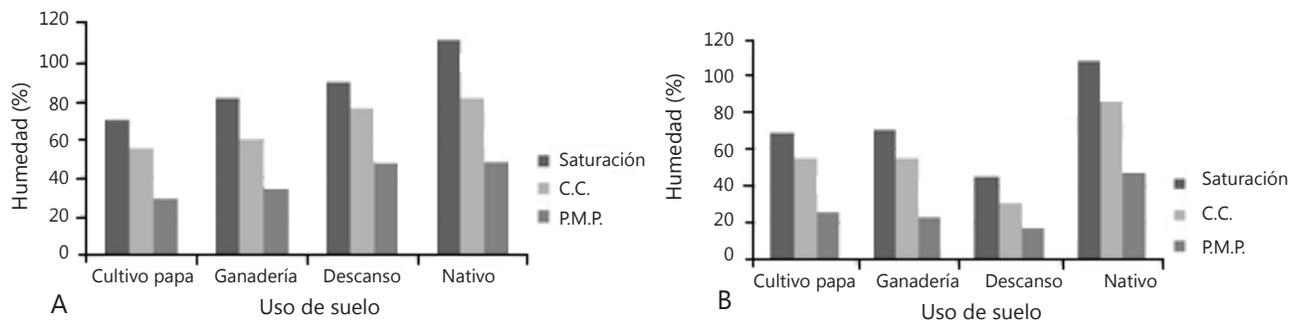


Figura 1. Constantes de humedad (saturación, capacidad de campo CC: a 33 kPa, y punto de marchitez permanente (PMP) a 1.500 kPa) de los horizontes A y B en los suelos del páramo de Sumapáz (Colombia) bajo diferentes usos de suelo.

mostrando con estos resultados que el estado de degradación en que se encuentran los ha llevado a perder su capacidad de retención de humedad significativamente. En el caso particular del lote en estudio, en el tiempo de 5 años que llevaba en descanso con vegetación de barbecho, el suelo no había logrado restablecer sus propiedades de porosidad y retención de humedad como lo muestran los resultados.

En los suelos con vegetación nativa se encontró que la humedad retenida a capacidad de campo fue de 80%, valores muy similares a los encontrados por Poulenard *et al.* (2001) y Alomia (2005), en páramos de Ecuador, y por Buytaert *et al.* (2006), en páramos de Colombia. Alomia (2005), también encontró que los suelos de páramo del Ecuador bajo cultivos tenía una retención de humedad a 1.500 kPa del 50%, valor distante del encontrado en el presente estudio que llegó hasta un 20%, lo que podría indicar procesos de degradación como bien lo asegura Ospina (2003); quien indicó que los suelos del páramo del Sumapaz dedicados a la ganadería y a la agricultura presentan menor capacidad de almacenamiento, retención y

regulación del agua que es una de las principales funciones del ecosistema.

En la Tabla 3, se pueden apreciar el porcentaje de retención de humedad para los dos horizontes estudiados y para los diferentes usos de suelo. El suelo con vegetación nativa retuvo mayor humedad que los demás usos en los dos horizontes; pero es de resaltar que en el horizonte B, el estado de degradación fue más alto, pues presentó gran diferencia en la retención de agua. El lote en descanso mostró que su horizonte A retuvo una cantidad de agua similar al suelo con vegetación nativa; pero en el horizonte B, el lote en descanso mostró baja retención de humedad, incluso más baja que los suelos con cultivo de papa o ganadería similar a lo encontrado por Buytaert *et al.* (2005), donde encontraron reducciones significativas en los contenidos de humedad especialmente a tensiones de punto de marchitez permanente (PMP). Esto podría confirmar el hecho de que los lotes que son destinados a descanso por los agricultores pudieron presentar problemas de degradación física de tal modo que los cultivos o las plantas allí sembradas, no respondieron con igual rendimiento.

Tabla 3. Porcentaje de humedad retenido a diferentes presiones encontradas en el páramo del Sumapaz (Colombia) bajo diferentes usos del suelo.

Uso del suelo	Horizonte	Tensión de retención de agua (kPa)							AA (%)
		0	10	33	100	500	1000	1500	
Cultivo de papa	A	70,05	66,48	55,53	47,07	35,60	32,30	29,38	26,15
	B	68,54	56,71	54,67	49,65	38,67	30,20	25,73	28,94
Ganadería	A	81,39	65,10	60,10	53,31	47,55	39,30	35,40	24,70
	B	70,10	66,59	54,36	52,98	37,70	29,29	23,39	30,97
Descanso	A	89,76	80,38	76,11	72,48	66,27	52,96	47,63	28,48
	B	45,49	33,49	30,98	29,75	23,85	20,19	18,78	12,20
Nativo	A	111,13	91,89	81,45	78,63	71,30	61,31	48,35	33,10
	B	108,09	88,93	87,67	84,46	79,62	63,23	48,15	39,52

AA = Agua aprovechable

Díaz *et al.* (2004) encontraron que las variables de humedad volumétrica saturada a capacidad de campo, punto de marchitez permanente, porcentaje de carbono orgánico y densidad aparente expresan el 61,2% de la variabilidad de los suelos, lo cual quiere decir que la mayor influencia dada por el cambio de uso en el suelo se manifestó principalmente sobre dichas variables físicas.

En el horizonte A, el agua aprovechable se redujo en 21, 25 y 14% para los suelos con cultivo de papa,

ganadería y descanso, respectivamente; mientras que para el horizonte B estuvieron del orden de 27, 22 y 69%, correspondientes a los mismos usos mostrando que el lote en descanso presentó la mayor reducción; lo cual correlaciona con la densidad aparente encontrada en dicho horizonte de 1,34 Mg m⁻³ (coeficiente de correlación = -0,6772), mostrando que posiblemente la labranza afectó considerablemente estas propiedades, similar a lo reportado por Poulenard *et al.* (2001) y Clermont-Dauphin *et al.* (2004).

Los suelos de páramo poseen baja densidad aparente debida principalmente al alto contenido de carbono orgánico, la cual le confiere al suelo alta porosidad. Los valores hallados de densidad aparente para el horizonte A estuvieron entre 0,7 y 0,9 Mg m⁻³. Se

encontraron diferencias significativas entre todos los usos del suelo (P<0,01) donde el suelo con vegetación nativa presentó el menor valor de densidad aparente con respecto a los otros usos, los cuales alcanzaron valores hasta de 1,34 Mg m⁻³ (Figura 2).

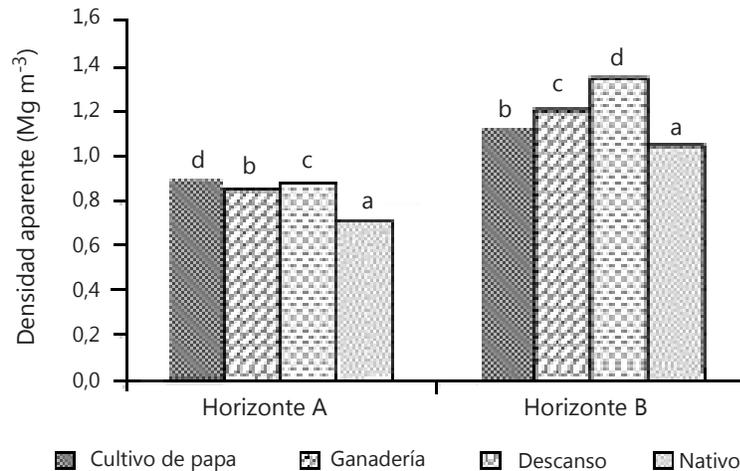


Figura 2. Densidad aparente de los horizontes A y B en suelos del páramo de Sumapáz (Colombia) bajo diferentes usos de suelo. Diferentes letras indican diferencias altamente significativas entre usos (Tukey, P<0,01; desviación estándar = 0,20; CV= 19,98).

Las actividades culturales constantes, como la labranza, hacen que se rompan los agregados del suelo y se disminuya la porosidad, dando lugar a incrementos en el valor de la densidad aparente; por tal razón, el valor más alto encontrado se obtuvo en la parcela con cultivo de papa correlacionando con su bajo porcentaje de carbono orgánico (12%). Los valores de densidad aparente en el horizonte B fueron más altos que en el horizonte A, debido probablemente al menor contenido de carbono orgánico (coeficiente de correlación = -0,6772); resultados similares de altas correlaciones fueron encontrados por Alvarado y Forsythe (2005) entre la densidad aparente y el carbono orgánico en Andisoles. Es de resaltar que el uso con mayor valor de densidad aparente hallado fue el de la parcela en descanso, mostrando que los suelos en este uso estaban degradados y que su recuperación es lenta en el tiempo debido a diversos factores edáficos como: baja actividad microbiana, baja disponibilidad de nutrientes por la alta acidez que poseen estos suelos y los climáticos (temperaturas bajas). Al respecto, Podwojewski y Poulénard (2000) determinaron valores de densidad aparente en los andisoles de los páramos del Ecuador entre 0,3-0,9 Mg m⁻³;

pero en estados de erosión severa la densidad encontrada fue entre 1,1-1,2 Mg m⁻³ lo que se pudo explicar por la compactación del suelo debida al sobrepastoreo o por la desecación del suelo cuando éste se descubrió. También, Estupiñán *et al.* (2009) establecieron que los lotes en descanso presentaban valores altos de densidad aparente, 35% por encima de los encontrados en lotes sin alteración que se relacionaban significativamente con la resistencia a la penetración alcanzando valores de 15 kg m⁻² en los primeros 10 cm, y 42 kg m⁻² a los 30 cm lo que limitaba el desarrollo de las plantas.

Díaz *et al.* (2004) encontraron resultados similares en el páramo "Piedra de León", departamento del Cauca-Colombia, donde los usos de cultivo permanente, cultivo reciente, ganadería permanente y ganadería reciente a profundidad de 0-20 cm presentaron similitud con valores altos de densidad aparente y valores bajos de porosidad total, retención de humedad y contenido de carbono orgánico, siendo el uso más crítico el de cultivo permanente.

La porosidad total de los suelos también se vio afectada por los cambios en el uso del suelo. Los

suelos bajo condiciones de vegetación nativa de páramo presentaron valores de porosidad alrededor de 65% para el horizonte A y de 58% para el horizonte B. Al cambiar el uso del suelo, los valores de porosidad

decrecieron hasta en un 10% en el horizonte A y hasta un 23% en el horizonte B, siendo las parcelas en descanso las que presentaron menores valores tal como se puede observar en la Figura 3.

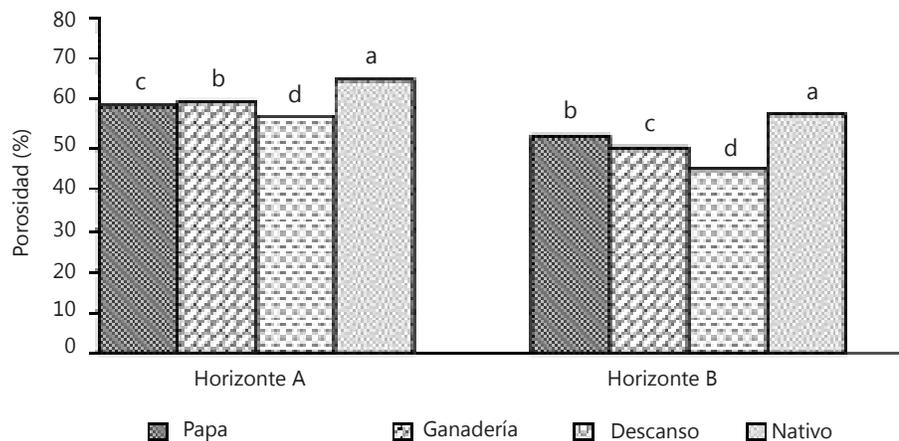


Figura 3. Porosidad total para los horizontes A y B en suelos del páramo de Sumapáz (Colombia) bajo diferentes usos de suelo. Diferentes letras indican diferencias altamente significativas entre usos (Tukey, $P < 0,01$; desviación estándar = 6,63; CV = 11,69).

Sin embargo, un valor total de porosidad no necesariamente indica la dinámica del agua en el suelo. Es necesario conocer la distribución entre

macroporos y microporos. En la Figura 4 se puede apreciar la distribución de porosidad encontrada en las diferentes parcelas estudiadas.

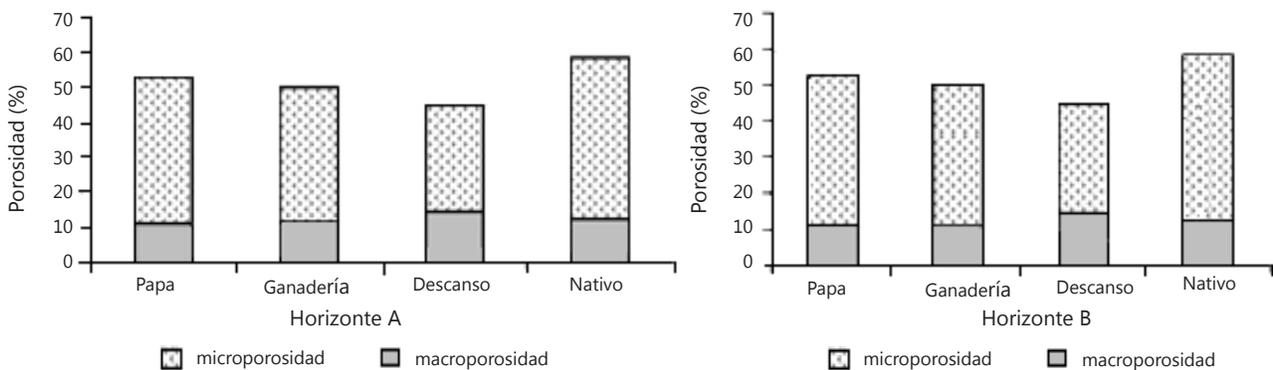


Figura 4. Distribución de la porosidad de los horizontes A y B en suelos del páramo de Sumapáz (Colombia) bajo diferentes usos de suelo.

Para el horizonte A, la macroporosidad, aquella donde se almacena el aire y circula el agua de drenaje, se redujo en un 29,8% para el suelo con cultivo de papa, un 10% para el suelo con ganadería y en un 50% para las parcelas en descanso. Esta disminución puede ser una de las causas de los problemas de

erosión que se presentan en la zona, ya que al reducir la macroporosidad se ve afectada la velocidad de infiltración, lo que puede llevar al predominio de la escorrentía (Hernández *et al.*, 2009). En cuanto a la microporosidad, se encontró que en general para los suelos con papa, ganadería y en descanso, se

disminuyó hasta un 7% con respecto al suelo con vegetación nativa, pudiendo indicar esta situación que algunas actividades agrícolas y en especial la labranza, pueden estar rompiendo los agregados del suelo, favoreciendo las arcillas dispersas (Jaramillo, 2002), las cuales van taponando los poros y limitando la capacidad de retención de humedad (Dorel *et al.*, 2000; Clermont-Dauphin *et al.*, 2004). El horizonte B presentó un comportamiento similar aunque los porcentajes de reducción fueron más bajos.

La Figura 5, muestra cómo el suelo con vegetación nativa presentó los más altos contenidos de carbono orgánico con respecto a los otros usos del suelo. Dichos valores estuvieron alrededor del 18% siendo más altos que los reportados por Malagón (1991) (entre 12,2% y

15,4%) y por Ramírez (2011) (mayores a 13%). La pérdida del contenido orgánico estuvo alrededor del 45 y 30% para el horizonte A y B, respectivamente. Esta reducción se debió posiblemente a la alta disturbación del suelo que acelera los procesos de oxidación de la materia orgánica y a que el aporte de biomasa que hacen los cultivos y los pastos no es igual al suministrado por la vegetación nativa. Poulenard *et al.* (2003) y Buytaert *et al.* (2012) reportaron una situación similar en suelos ecuatorianos intensivamente pastoreados con ovejas, acompañada por una mengua del contenido de carbón orgánico del suelo de cerca del 40%, y un aumento a la repelencia al agua. Además, los agricultores de la zona no aplican suficiente materia orgánica a los suelos como parte de sus actividades culturales contribuyendo a su degradación.

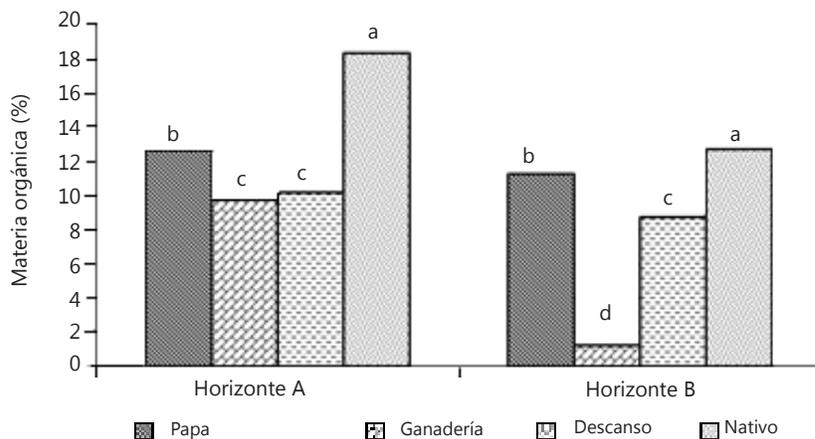


Figura 5. Contenido de carbono orgánico en los horizontes A y B en suelos del páramo de Sumapáz (Colombia) bajo diferentes usos de suelo. Diferentes letras indican diferencias altamente significativas entre usos (Tukey, $P < 0,01$).

Se encontraron coeficientes de correlación de 0,4810 y 0,5802 entre el carbono orgánico y las humedades CC y PMP, respectivamente. Según Buytaert *et al.* (2000), hay una alta correlación entre el contenido de carbono orgánico y la retención de agua, por tanto su degradación parece ser el factor más importante en el proceso de reducción de la retención de humedad en el suelo. Además cuando el contenido de materia orgánica es bajo, la estructura del suelo se degrada y se favorece la erosión.

En general, se encontró que cambios en el uso del suelo produjeron alteraciones en las propiedades del mismo y en especial en aquellas relacionadas con la capacidad de almacenamiento y regulación hídrica, resultados similares a los encontrados por Hartsing (2011).

CONCLUSIONES

El cambio de los ecosistemas de páramo de su estado natural a las actividades agropecuarias implementadas por el hombre generó en los suelos del presente estudio, un impacto sobre sus propiedades físicas, aspecto que ha incidido directamente sobre la calidad de este recurso y en el sistema estratégico integral paramuno. En este sentido, la retención de humedad fue una de las propiedades más afectadas por el cambio de uso del suelo, siendo los suelos cultivados con papa y en descanso los que presentaron menor capacidad de almacenamiento. De todos los usos estudiados, el suelo que se encontraba en descanso fue el que presentó los cambios más significativos en sus propiedades físicas, al compararlo con el

suelo con vegetación nativa, con valores más bajos de porosidad y carbono orgánico y valores altos de densidad aparente, lo que permitió entender la razón fundamental del por qué no son utilizados en alguna actividad agropecuaria y son abandonados con vegetación de barbecho. Por lo tanto, se hace necesario dejar áreas extensas de páramo bajo protección total para que este tipo de ecosistemas cumplan con sus dos funciones más importantes: regulación hídrica y reserva de flora y fauna.

BIBLIOGRAFÍA

- Alomia, M. 2005. Efectos de la producción agropecuaria en los suelos de los páramos: el caso de Guargaje. En: Ecuador Debate No. 65, <http://www.dlh.lahora.com.ec>; consulta: septiembre 2012.
- Alvarado, A. y W. Forsythe. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1): 85 – 94.
- Andrade, G.I. 1993. Carpanta, selva nublada y páramo. Ecología y conservación de un ecosistema altoandino. Fundación Natura Colombia, The Nature Conservancy, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Editorial Presencia, Bogotá. 256 p.
- ASTM D 4220. 2000. Standard practices for preserving and transporting soil samples. In: <http://ctgttp.edu.free.fr/Update/ASTM%20VOLUME4.08/PDF/D4220.PDF>.
- Avellaneda, A. 2002. Gestión Ambiental y Planificación del Desarrollo. Primera edición. Ecoe Ediciones, Bogotá, D.C. 304 p.
- Buytaert, W., De Bièvre B., Deckers J. and Dercon G. 2000. Influence of land use on the hydrological properties of volcanic soils: the case of catchments providing water to Andean cities; www.fao.org/landandwater/watershed; consulta: septiembre 2012
- Buytaert W., G. Wyseure, B. De Bièvre and J. Deckers. 2005. The effect of land-use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes* 19: 3985-3997.
- Buytaert, W., R. Cérelli, B. De Bièvre, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers and R. Hofstede. 2006. Human impact on the hydrology of the andean páramos. *Earth Science Reviews* 79(1-2): 59-72.
- Buytaert, W., V. Iñiguez and B. De Bièvre. 2007. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management* 251(1-2): 22-30.
- Buytaert, W., R. Célleri, B. De Brièvre y F. Cisneros. 2012. Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad. *Revista Colombia tiene Páramos* 2: 8-27.
- Camargo, J.C., M.A. Dossman, J.A. Rodríguez, L.M. Arias y J.H. Galvis. 2012. Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronómica* 61(2): 151-165.
- Clermont-Dauphin, C., Y.M. Cabidoche and J.M. Meynard. 2004. Effects of intensive mono-cropping of bananas on properties of volcanic soils in the uplands of the French West Indies. *Soil Use and Management* 20(2): 105–113.
- Díaz, E., L. Paz, E. Amezcua y M. Rivera. 2004. Influencia de los sistemas de uso del suelo en el comportamiento de las propiedades físicas en los páramos “Las Ánimas” (municipio de Silvia) y “Piedra de León” (municipio de Sotará) departamento del Cauca Colombia. En: Seminario Internacional Experiencias y Métodos de Manejo de Cuencas y su Contribución al Desarrollo Rural en los Andes: Desafíos y Oportunidades para Lograr Mayores Impactos. Bogotá, http://www.infoandina.org/sites/default/files/recursos/res_suelo_paramo.pdf; consulta: diciembre 2012.
- Dorel, M., J. Roger-Estrade, H. Manichon and B. Delvaux. 2000. Porosity and soil water properties of Caribbean volcanic ash soils. *Soil Use and Management* 16(2): 133–140.
- Estupiñán, L.H., J.E. Gómez, V.J. Barrantes y L.F. Limas. 2009. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo “El Granizo” (Cundinamarca – Colombia). *Revista U.D.C.A-Actualidad y Divulgación Científica* 12(2): 79-89.
- Hartsing, J.J. 2011. The effects of land-use change on the hydrological properties of andisols in the ecuadorian paramo. Master’s Thesis, University of Tennessee, http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/978; consulta: octubre 2012.

- Hernández, F., F. Triana y M. Daza. 2009. Efecto de las actividades agropecuarias en la capacidad de infiltración de los suelos del páramo del Sumapaz. *Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente* 8: 29-38.
- Hofstede, R. 1995. Effects of Livestock farming and recommendations for management and conservation of paramo grasslands. *Land Degradation and Rehabilitation* 6(3): 133-147.
- Hofstede, R. 1997. La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo, www.condesan.org/eforos/cdpp/cdpp31.htm; consulta: diciembre 2012.
- Hofstede, R. 2001. El Impacto de las actividades humanas sobre el páramo. pp. 161-182. En: Mena, P., G. Medina y R. Hofstede. *Los páramos del Ecuador, particularidades, problemas y perspectivas*. Editorial Abya-Yala, Proyecto Páramo, Quito. 311 p.
- Instituto Alexander von Humboldt. 2000. Mapa general de ecosistemas de Colombia, <http://www.humboldt.org.co/unisig/ecosistemas/ecosistemas.php>; consulta: julio 2012.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Tomo II. IGAC, Bogotá D.C. 341 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Sexta edición. Imprenta Nacional, Bogotá. pp. 27-300.
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 652 p.
- Luteyn, J. 1999. Páramo: A checklist of plant diversity, geographical distribution and botanical literature. New York Botanical Garden Press, New York. 278 p.
- Malagón, D. 1991. Génesis y taxonomía de los andisoles colombianos. En: *Revista Investigaciones, IGAC. Subdirección de Agrología* 3(1): 1-95.
- Martínez, C. 2004. Los misioneros salesianos y el movimiento indígena de Cotopaxi, 1970-2004. *Debate Análisis*. Ecuador Debate No. 63, http://www.dlh.lahora.com.ec/paginas/debate/paginas/debate_1316.htm; consulta: abril 2012.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2002. Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana: Paramos, http://www.minambiente.gov.co/prensa/publicaciones/docum_especializada/ecosistemas/restauracion_ecosistemas_de_alta_montana_paramo.pdf. 73 p.; consulta: abril 2012.
- Moreno, C.A. 2012. Efectos de diferentes tipos de vegetación sobre la capacidad de infiltración de agua en suelos de páramo en la reserva privada Paluguillo (Ecuador). Tesis de Grado de Licenciatura en Ecología Aplicada al Manejo de Recursos. Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad San Francisco de Quito. 23 p.
- Osorio, W y M. Casamitjana. 2011. Toma de muestras de suelo para evaluar la fertilidad del suelo. *Suelos Ecuatoriales* 41(1): 23-28.
- Ospina, M. 2003. El páramo del Sumapaz un ecosistema estratégico para Bogotá. Sociedad Geográfica de Colombia, Academia de Ciencias Geográficas, Bogotá. 17 p.
- Pinzón, A. 1993. Propiedades físicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 23(1-2): 22-30.
- Podwojewski, P y J. Poulénard. 2000. La degradación de los suelos en los páramos. pp. 27-35. En: Mena, P.A., C. Josse and G. Medina (eds.). *Los suelos del páramo. Serie Páramo 5 GTP/ Abya Yala*, Quito. 75 p.
- Pombo, D. 1989. Perfil ambiental de Colombia. U.S. Agency for International Development, Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas" Colciencias, y Fondo FEN Colombia, Santafé de Bogotá. 348 p.
- Poulénard, J., P. Podwojewski, J.L. Janeau and J. Collinet. 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisols from the ecuadorian páramo: effect of tillage and burning. *Catena* 45(3): 185-207.
- Poulénard, J., P. Podwojewski and A.J. Herbillon. 2003. Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the ecuadorian páramos. *Geoderma* 117(3-4): 267-281.
- Ramírez, M. 2011. Importancia de los microorganismos y de la edafofauna en los páramos. *Revista Colombia Tiene Páramos* 1: 42-51.

Rangel-CH. O. 2000. Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna. pp. 658–719. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá. 902 p.

SAS Institute. 2005. Statistical Analyses Software. Cary, North Carolina, [http://http://support.sas.com/](http://support.sas.com/)

documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_913/genetics_ug_10108.pdf

Soil Survey Staff. 2009. Soil Survey Field and laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 1.0. R. Burt (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, Nebraska. 407 p.