



EFFECTO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO DE PARÁMO POR LA ACCION ANTROPICA

Effect on the physical properties of a soil of paramo by anthropic action

Angela Pinzón Pinto¹

RESUMEN

Cerca de 2,9 millones de hectáreas de los ecosistemas de Páramos que alberga el territorio Colombiano representan el 49 % de todos los páramos del planeta (IDEAM, 2015). Este ecosistema ofrece importantes funciones ecológicas, una biodiversidad única y un suelo que tiene gran capacidad de fijar el carbono atmosférico, y lo más destacable es su capacidad de retener y almacenar agua; de hecho, los páramos dan origen a las cuencas hídricas que nutren a gran parte del país, abasteciendo de agua al 70% de la población. El estudio se llevó a cabo en el paramo de Guerrero, ubicado en la parte alta del Municipio de Zipaquirá, Colombia, el cual ha sido afectado en más del 35% por el efecto de cultivos de papa, ganadería y explotación de carbón. El objetivo de esta investigación es profundizar en el conocimiento de las propiedades físicas del suelo en este ecosistema, utilizando metodologías recientes como la Tomografía Computarizada. El suelo seleccionado para el estudio fue clasificado como Hemic Haplofibrist, el cual presenta la siguiente morfología: un horizonte orgánico O, en diferentes estados de descomposición, Oi, Oe y Oa; posteriormente un horizonte A de color pardo oscuro, textura franca y estructura granular fina y un Bw de textura Ar, estructura de bloques subangulares medios que rompen en granular y bloques subangulares de débiles a fuertes, de color pardo grisáceo. Al analizar las imágenes de TC, se observa en el horizonte O gran cantidad de material orgánico y espacios vacíos, es decir, poros y es allí en donde se concentra gran cantidad de agua.

ABSTRACT

Almost 39 million hectares in the Paramo ecosystem in the Colombian territory represent 49% of all those lands in the world (IDEAM, 2015). This ecosystem offers important ecological functions, a unique biodiversity and also the soils show a high atmospheric carbon fixation capacity; however it is noteworthy the water holding capacity of soil, in fact these lands give rise to much hydric basins over the country and supply 70% of water to the population. The study was carried out in the Paramo of Guerrero, in the highlands of Zipaquirá, Colombia, which has been affected in more than 35% by potato cultivation, cattle raising, and also carbon exploitation. The objective of present work was to deep in the knowledge of the soil physical properties, by using the recent computerized tomography techniques. A Hemic Haplofibrist was selected which has the following morphology: O organic horizon in different decomposition states (Oi, Oe, Oa); color dark brown, texture loamy, fine granular structure in A horizon; and a clayey Bw to strong and they break to granular and subangulars weak to strong, and grayish color. By observing the TC images a O horizon can be seen as well as a great amount of organic material and voids (i.e. porosity) contains of water concentrates in this horizon.

¹ Agróloga M.Sc. Docente
Universitaria. Email:
mangelapinzon@gmail.com

Palabras clave:

Páramo; tomografía
computarizada

Key words:

Paramo, Computed
tomography.

Rec.: 09.08.2016

Acep.: 24.09.2016

INTRODUCCIÓN

Dos servicios ambientales fundamentales presta el páramo a la población y está relacionados con la provisión de agua y el almacenamiento de carbono orgánico atmosférico, el cual ayuda a controlar el calentamiento global; ambos tienen que ver con el comportamiento poco estudiado en profundidad y algunas veces subvalorado: *el suelo*.

El Páramo de Guerrero se halla en la cordillera Oriental, bordeando el margen occidental de la Sabana de Bogotá y sirviendo de umbral entre esta Sabana, el Valle de Ubaté y la Vertiente del Magdalena. El área ocupada por el Páramo de Guerrero, comprende una franja de montaña tropical ubicado sobre el corte de los 74° 10' W.G. y los 5° 15' L.N. En síntesis, el Páramo de Guerrero es un páramo interandino, relacionado con elementos ambientales *externos* como la dinámica del Valle del Magdalena por el NW, la Sabana de Bogotá por el SE, el Valle del Ubaté por el NE, el Valle de Subachoque por el SE y fenómenos de dinámica tropical: Masa Ecuatorial del Norte, Masa Ecuatorial Atlántica y Masa Ecuatorial Continental, (Monasterio et al. 2002).

El páramo de Guerrero ha sido uno de los más intervenidos (35%) por el hombre, con cultivos de papa especialmente, establecimiento de potreros para el desarrollo de ganadería y con otro agravante como lo es la minería. Se estima que desde 1950 comenzó la transformación de este páramo con la explotación de sus recursos naturales y el uso intensivo del suelo, lo cual desequilibró el ecosistema, los paisajes y las fuentes de agua. En el último informe del Instituto Humboldt (2016), se comentó que el país ha perdido un 16% de los ecosistemas de páramos, para dar paso a otras actividades.

Para entender a fondo el problema, es necesario conocer, entender y analizar los suelos, los cuales, presentan un bajo desarrollo genético, evolución muy lenta, además de una serie de limitaciones químicas de tipo permanente, como son bajos niveles de fertilidad y fuerte acidez, lo cual indica que la mayor parte de los suelos de este ecosistema no tienen vocación agropecuaria, por lo tanto, deben ser dedicados exclusivamente a la conservación y en algunos casos a la recuperación. Es importante enfatizar que cuando los suelos de páramo se alteran,

especialmente su horizonte O, se pierde gran cantidad de agua y con el agravante que el secado es irreversible.

Este trabajo constituye un esfuerzo por avanzar en el estudio de los suelos de páramo, así como también el de sensibilizar a investigadores, a que se continúe profundizando en lo que atañe a sus propiedades físicas y biológicas. Nos compete también, avanzar en la generación de nuevas técnicas que permitan determinar con mayor precisión las diferentes características de los suelos de este valioso ecosistema; es por ello, que el objetivo de esta investigación es el de profundizar en el conocimiento de las propiedades físicas de los suelos de páramo utilizando metodologías recientes como la Tomografía Computarizada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Area de estudio

El páramo de Guerrero está ubicado entre los 3200 y los 3780 (msnm) de la cordillera Oriental, bordeando el margen occidental de la *Sabana de Bogotá*, ocupa cerca de 39.240 hectáreas, con una temperatura que fluctúa entre los 5 y 12°C, la precipitación presenta un régimen bimodal, con dos periodos húmedos y dos secos, con variaciones en los valores de promedio entre 620 y 1.400mm y con vegetación de subparamo (Instituto Humboldt, 2016). El relieve en Guerrero está dominado por el anticlinal de Zipaquirá, el sinclinal de Río Frío, el sinclinal del Neusa, el sinclinal de Carupa, la Ceja del Páramo, y el anticlinal de Carupa, sobre estas unidades estructurales, se ubican valles glaciales, áreas de turberas y pantanos, valles morrénicos y valles con acumulaciones fluvio-glaciares. De acuerdo a su ubicación, disposición y sus dimensiones, cada elemento del relieve particulariza al páramo en una gama abundante de formas del relieve, con sus connotaciones ambientales propias.

SUELO

El desarrollo pedogenético del suelo clasificado como Hemic Haplofibrist, morfológicamente presenta la siguiente distribución de horizontes, un O en diferentes estados de descomposición así: Oi, de 32 cm de profundidad constituido por *Sphagnum* y

material vegetal sin descomponer, Oe, de 12 cm de profundidad compuesto por material hémico es decir medianamente descompuestos, de color en húmedo pardo oscuro, Oa de 8 cm de profundidad, materiales orgánicos sápricos, de color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro, estructura granular muy fina, pH de 4.4; posteriormente se encuentra el horizonte A de 26 cm con acumulación de materia orgánica humificada mezclada con material mineral, de color pardo oscuro, textura franca y estructura granular fina, consistencia en húmedo muy friable y un pH de 4,6. El siguiente horizonte es el Bw₁, de 33 cm de color pardo grisáceo, de textura franco-arcillosa, con estructura de bloques subangulares medios a gruesos que rompen a granulares finos y a bloques subangulares medios, consistencia en húmedo friable, pH de 4,5 y un Bw₂ de textura arcillosa, color en húmedo grisáceo, estructura de bloques subangulares gruesos, consistencia en húmedo muy friable y con pH de 4.3.

El suelo fue caracterizado mediante análisis físicos de: densidad aparente por el método del cilindro, textura método de la pipeta, retención de humedad ollas y platos de tensión, porosidad y microestructura por medio de la tomografía computarizada y temperatura edáfica con el geotermómetro; se hicieron los siguientes análisis químicos: pH, carbono orgánico, fósforo y nitrógeno. La tomografía computarizada (TC) es un procedimiento de diagnóstico que utiliza un equipo de rayos X especial para crear imágenes transversales del cuerpo por estudiar; para esta investigación se utilizó un tomógrafo médico Hispedd Dualonico. Para el desarrollo de la prueba con el TC se recolectó un monolito (Fig. 1), de suelo sin disturbar de 70x20x12cm., el cual fue sometida a escaneo en cortes de 4mm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La propiedad física más importante a analizar en este trabajo, fue la de conocer qué cantidad de agua se pierde cuando desaparece el horizonte orgánico; para ello, se tomó una muestra del horizonte O (Oi, Oe y Oa) cuyo peso fue de 620 g, al dejarlo secar al ambiente por 5 días, el peso disminuyó a 223.5 g, por lo tanto, el horizonte perdió 396,5 g, es decir que solo quedó el peso del material vegetal; esto permite dar una idea de la magnitud del pro-



Figura 1. Perfil del suelo.

blema de los suelos de paramo al retirar el horizonte orgánico, comprobando así su gran importancia como retenedor de agua; por otra parte al secarse un suelo orgánico no recupera la misma cantidad de agua que ha perdido, es decir que no hay rehidratación. Al realizar la retención de humedad, observamos que a 10kPa la cantidad de agua que retiene el suelo es de 433%, a 30 kPa fue de 375% y a 500kPa 242%, es decir, que casi a esta succión el horizonte orgánico ha perdido la mayor parte del agua. Los datos de retención de humedad de los horizontes O, A y Bw, se muestran en la tabla 1.

La densidad aparente (tabla 2) del horizonte O varía entre 0.08 y 0.15 g.cm⁻³; para el horizonte A corresponde una densidad de 1.0 g.cm⁻³ y en el horizonte Bw es de 1.3 g.cm⁻³; en los suelos que en este momento están en papa la densidad en el horizonte A es de 1.3 y el horizonte Bw es de 1.5, g.cm⁻³, mientras que en el suelo utilizado en ganadería la densidad es de 1.4 en el A y 1,5 en el Bw, cabe

Tabla 1. Resultados del porcentaje de retención de humedad en los tres usos.

Horizontes	Vegetación natural			Cultivo de papa			Ganadería		
	Porcentaje de retención de humedad								
	10	30	500	10	30	500	10	30	500
O	433	375	242						
A	83	75	61	79	70	56	68	63	51
Bw	80	70	58	75	66	48	70	68	50

señalar que el horizonte O ha desaparecido en estos usos (tabla 2), y en algunos casos el horizonte A, es probable que en épocas de mayor precipitación los problemas por erosión hídrica lleguen a ser muy severos y este llegue a desaparecer.

Las propiedades químicas analizadas se visualizan en la tabla 3, en donde se observan los altos porcentajes de materia orgánica en el horizonte O; al desaparecer este horizonte por cambio de uso, es evidente que el porcentaje de MO disminuye, tanto en el horizonte A como en el Bw. Es imposible hacer una comparación con el suelo sin alterar, puesto que, el enclavamiento y la fertilización alteran las características químicas de estos suelos.

Muy pocos estudios se han hecho a detalle sobre la temperatura del suelo, ésta propiedad es muy

Tabla 2. Resultados de densidad aparente g.cm^{-3} en los tres usos.

Horizontes	Vegetación natural	Cultivo de papa	Ganadería
	Densidad Aparente g.cm^{-3}		
O	0.08		
A	1.0	1.3	1.4
Bw	1.3	1.5	1.5

importante debido a la influencia sobre la humedad, la aireación, la estructura, la actividad microbiana y en las reacciones biogeoquímicas que suceden dentro de él, también algunas semillas para germinar requieren cierto grado de temperatura edáfica. Las mediciones se hicieron en los primeros 60cm, durante un mes desde las 5 am, hasta las 5 pm; en las primeras horas del día se obtuvieron temperaturas promedio de 3°C, fueron aumentando hasta llegar a un máximo de 16°C alrededor de las 2pm, nuevamente desciende a 8°C alrededor de las 5 pm; a partir de los 70cm, ya no hay gran variación, prácticamente se mantiene en un promedio de 8°C.

En el suelo con cultivos de papa la variación de la temperatura edáfica es muy marcada a través del día, como se observa en la figura 2 y seguirá siendo aun más alta con el cambio climático y el uso indebido. La temperatura medida en el horizonte A del suelo en pastizal, llama la atención debido a que este suelo se enfría más lentamente, es de suponer que este material vegetal al cubrir más el suelo hace más lento su pérdida de calor; en conclusión el cambio de uso de este suelo, los procesos físicos, químicos y biológicos se transforman, alterando completamente la edafogénesis.

Los recientes avances en la tomografía computarizada proporcionan herramientas de medición

Tabla 3. Resultados de pH materia orgánica y nitrógeno en los diferentes usos, vegetación natural, papa y ganadería.

Horizontes	Vegetación natural			Cultivo de papa			Ganadería		
	pH	MO%	N%	pH	MO%	N%	pH	MO%	N%
O	4.2	41.8	2.1						
A	4.8	22.4	0.7	6.3	12.0	0.6	5.9	7.2	0.4
Bw	4.7	8.3	0.2	6.0	3.1	0.2	6.2	3.0	0.2

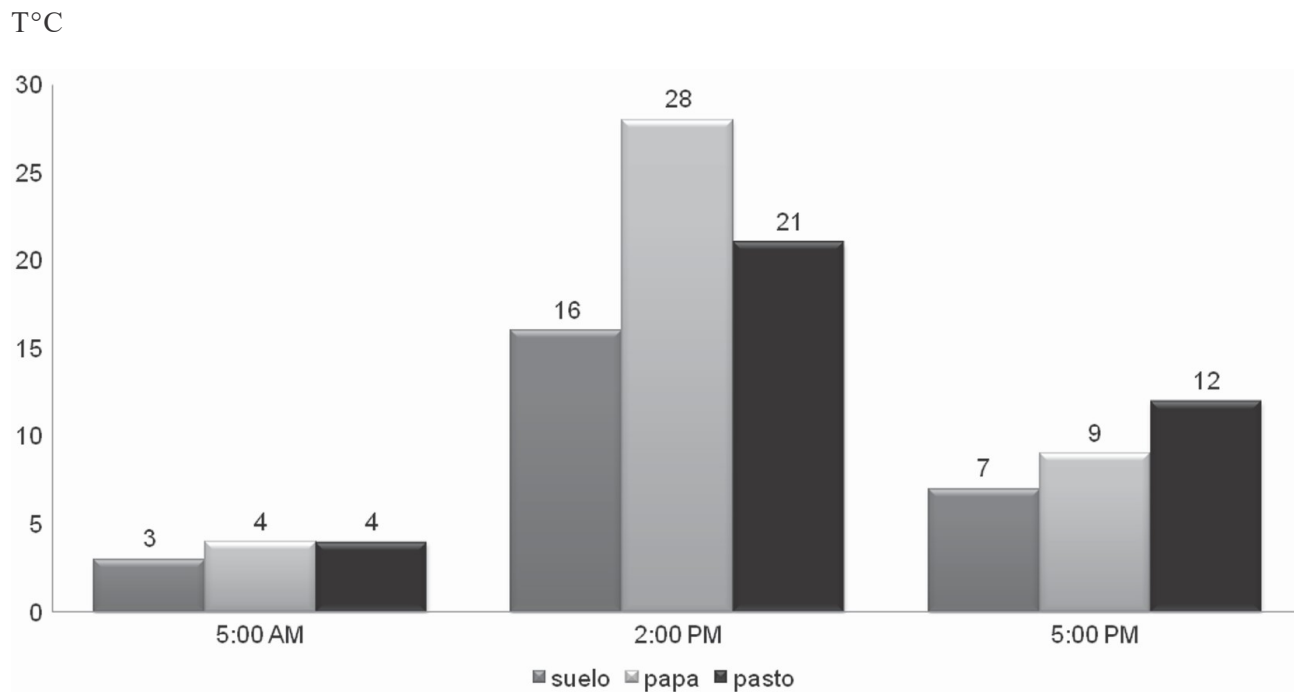


Figura 2. Temperatura edáfica en tres usos diferentes.

para el estudio de las estructuras internas de los agregados del suelo, de la porosidad y con ello conocer el flujo preferencial del agua y de la solución del suelo; ello permite mejorar nuestra comprensión de los mecanismos específicos de diversos procesos que suceden en el suelo. La figura de TC 3, muestra el perfil del suelo estudiado, en donde, se observa claramente, el material vegetal del horizonte O también se observan los poros llenos de agua. La estructura granular fina en el horizonte A, unos poros muy finos de aspecto redondeado por acción de los organismos; el horizonte Bw con estructura de bloques subangulares, fuerte que rompe en bloques subangulares finos y en menor porcentaje en granular fina, con presencia de poros interpedales en donde se cree que la conectividad de las redes de macroporos ejerce un importante control sobre el flujo preferencial en el suelo, aunque se ha avanzado poco hacia la incorporación de una comprensión de estos efectos en modelos de flujo y transporte orientados a tener mayor conocimiento de la realidad. Jarvis 2016, demostró con imágenes de TC que las redes de este tipo de poros muestran características claves predichas por la teoría clásica de la percolación y encontró que la porosidad estructural

cuantificada por TC, mostró muchas relaciones en el movimiento de la solución del suelo.

La estructura y la porosidad fueron analizadas a través de las imágenes de TC, en particular, esta técnica ha permitido estudiar el contenido, tamaño, distribución y conectividad de los poros. La estructura del suelo y la geometría del espacio de poros asociadas, modifican las tensiones hidráulicas tanto de los poros intrapedales como interpedales, cuando se cambia el uso del suelo; estas modificaciones se asocian con una simultánea destrucción, reducción del tamaño de poro como también la generación de nuevos poros. Este hecho tiene que ser considerado en el modelado de procesos de transporte, de deformación y de cambio en el suelo entre la pedosfera y la atmósfera.

En los resultados obtenidos con las imágenes de TC (fig. 3), se puede apreciar en el horizonte Oi la vegetación color gris de la imagen y la porosidad en color oscuro, es imposible reconocer el tamaño, forma y conectividad de los poros puesto que estaban llenos de agua; el horizonte Oe, muestra claramente los espacios porosos de todo los tamaños y formas n color blanco. El horizonte Oa, revela la vegetación

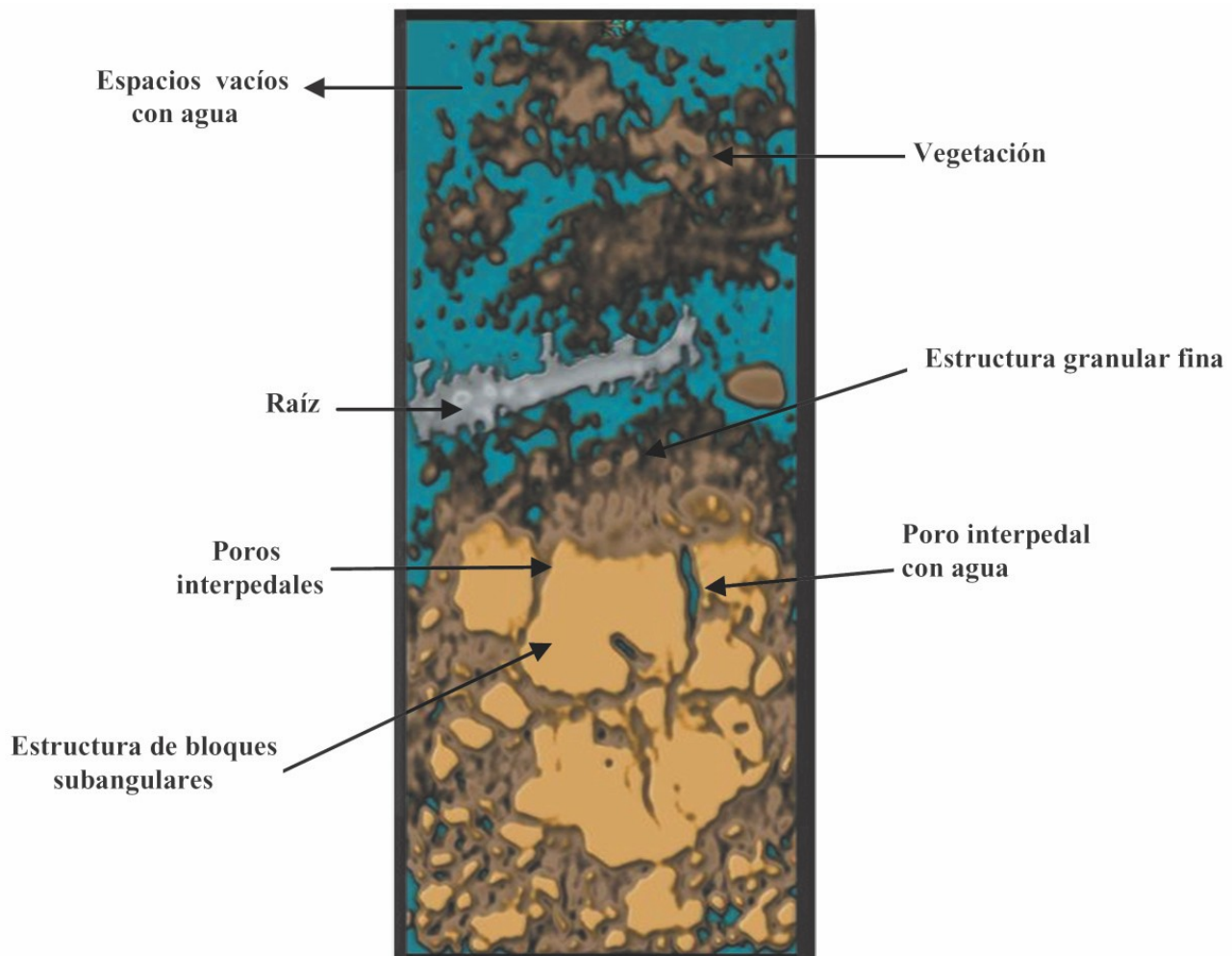


Figura 3. Imagen TC, se observa la estructura y porosidad del suelo

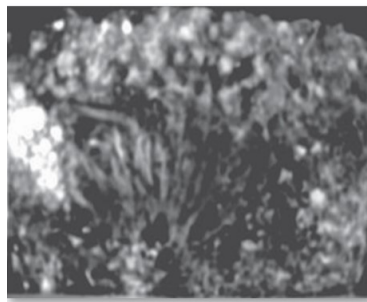
mas descompuesta; posteriormente se encuentran los horizontes A y BW_1 , en donde se visualizan estructuras granulares y de bloques subangulares respectivamente y poros interagregados conectados y de formas alargadas, en algunos casos asociados con antiguos canales de raíces.

CONCLUSIÓN

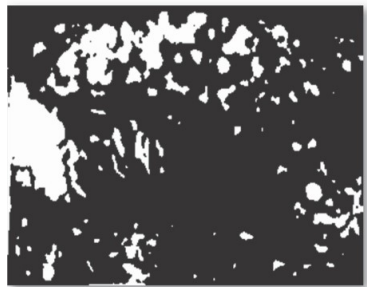
El mayor impacto sobre los páramos es sin lugar a dudas la agricultura y la ganadería, el efecto de esta transformación lo ha sufrido en primer lugar el suelo, en donde como se pudo comprobar en este trabajo, la pérdida del horizonte O, las modificaciones físico-químicas y por ende las biológicas, acarrearán grandes transformaciones pedogenéticas,

y con ello la clasificación taxonómica. También la pérdida y fragmentación de la vegetación natural lo cual puede tener consecuencias evolutivas a largo plazo, e inclusive puede tener efectos a corto plazo con cambios a nivel genético que alteren la adecuación y la viabilidad de poblaciones remanentes. Más allá de la dinámica de poblaciones y comunidades, estos cambios afectan la funcionalidad de los ecosistemas, en términos de flujo de energía, de nutrientes y de agua.

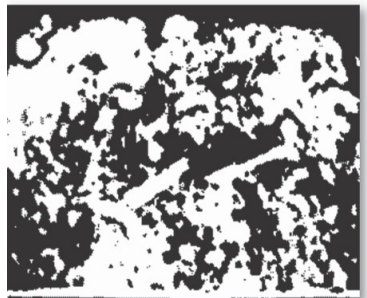
Sería deseable un trabajo posterior de TC, en usos de ganadería y de cultivo de papa en este sitio, en donde se pueda complementar la información sobre el efecto del uso del suelo en este páramo, para conocer hasta qué punto afecta la degradación



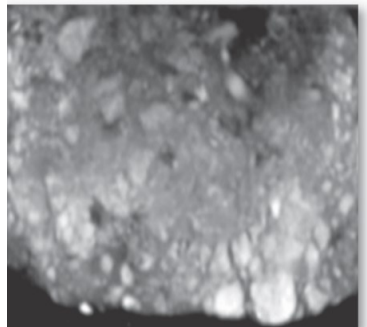
Esta imagen de TC, muestra el horizonte Oi, en donde se aprecia la vegetación de *Sphagnum* y material vegetal sin descomponer en color gris y de color oscuro los espacios vacíos llenos de agua



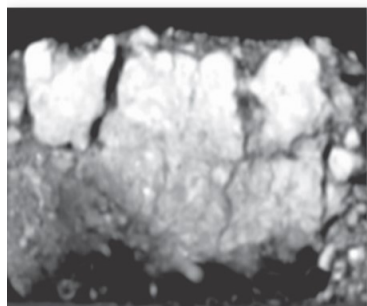
En esta imagen binaria del horizonte Oe, se aprecia la cantidad de poros de todos los tamaños y formas (color blanco), imperfectamente conectados; la vegetación está mucho más descompuesta.



En el horizonte Os, la vegetación se ha descompuesto en un 70%, solo se distinguen algunas raíces de arbustos, poros muy grandes que alojan agua, con gran conexión; se observa una estructura granular muy fina



El horizonte A, en donde se aprecia una estructura granular fina y media, la porosidad es baja (oscuro) redondeada sin conexión, hecha por los mesoorganismos existentes.



En el horizonte se observan estructuras de bloques subangulares, bien desarrollados; se identifica una porosidad interpedal y muy pocos poros intrapedales.

Figura 4. Se observan detalles de la estructura, porosidad de los horizontes del perfil.

de la estructura y la porosidad,; como también entender y relacionar los conceptos de percolación que podrían ser útiles para estimar la macroporosidad conductora en modelos de manejo de flujo preferencial y transporte en los suelos de páramos

REFERENCIAS

- HOFSTEDE, R., P.SEGARRRA Y P.MENA. 2003. Los Páramos del Mundo. Proyecto atlas mundial de los Páramos. Global peatland initiative/NC-IUCN/ Ecociencia. Quito.
- IDEAM. 2008. Situación de los Páramos en Colombia frente a la actividad antrópica y el cambio climático. Bogotá, Colombia.
- INSTITUTO ALEXANDER von HUMBOLT. 2007. Atlas de páramos de Colombia.
- INSTITUTO ALEXANDER von HUMBOLDT. 2016 Recomendaciones para la delimitación, por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de 21 complejos de páramos a escala 1:25.000. Bogotá, Colombia.
- JARVIS, N; M., LARSBO. 2016 Connectivity and percolation of structural pore networks in a cultivated silt loam soil quantified by X-ray tomography. *Geoderma* 06.026
- KEY TO SOIL TAXONOMY. 2014. Edición 25.
- MONASTERIO, M. y M. Molinillo. 2002. Integrando el Desarrollo Agrícola y la Conservación de áreas frágiles en los páramos de la Cordillera de Mérida, Venezuela. En: Resúmenes: Congreso Mundial de Páramos. Estrategias para la conservación y sostenibilidad de sus bienes y servicios ambientales. Paipa, Colombia, Mayo 13-18 de 2002. pp. 75.
- PINZÓN, A. 2006. Apuntes sobre Física de suelos. Ed. Cargrafics. Bogotá. 210 pag. Bogotá, Colombia.
- PINZON, A. 2012. Edafología. Ed. Cargrafics. Bogotá. 199 pag. Bogotá, Colombia.
- PINZON, A. 2012. Evaluación de la porosidad del suelo TYPIC HAPLUDANDS utilizando tomografía Computarizada. *Suelos Ecuatoriales*.
- SLEUTEL S., CNUUDE V., MASSCHAELE B., VLASSEN-BROEK J., DIERICK M., VAN HOOREBEKE L., JACOBS P., DE NEVE S. (2008): Comparison of different nano- and micro- focus X-ray computed tomography set-ups for the visualization of the soil microstructure and soil organic matter: *Computers & Geosciences*.