

PROPIEDADES DEL SUELO EN BOSQUE Y PAJONAL; RESERVA NATURAL PUEBLO VIEJO, NARIÑO, COLOMBIA

SOIL PROPERTIES IN FOREST AND GRASSLANDS; PUEBLO VIEJO NATURAL RESERVE, NARIÑO, COLOMBIA

Patricia Cerón¹
Hernán García²

RESUMEN

Se realizó un estudio exploratorio con el objetivo de comparar algunas propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos con cobertura en bosque de ladera (Bosque1), bosque en la vertiente del cauce de agua (Bosque2) y Pajonal, situados a similar altura, en la Reserva Natural Pueblo Viejo (Nariño). Se tomaron tres muestras de suelo por cada sitio, para un total de nueve muestras. Los datos, se procesaron mediante pruebas no paramétricas y Análisis de Componentes Principales. Se presentan diferencias estadísticas significativas entre Bosque2 y Pajonal, en C, N, CIC y Al, densidad aparente y densidad de Mollusca y, entre Bosque1 y Pajonal, en Mn y Cu. El análisis multivariado diferencia tres grupos correspondientes a los tres sitios.

Palabras clave: Suelos, pajonal, bosque alto andino, Andes, Nariño.

SUMMARY

An exploratory study was carried out in order to compare the chemical, physical and biological properties of vegetation-covered soils in ladder woodlands (Afforested

area No.1), woodlands located in the drainage area of a water source (Afforested area No.2) and grassland, situated at the same altitude, in the 'Pueblo Viejo' Nature Reserve. Three soil samples were taken in each location, with a total of nine samples. The data were processed using non-parametric tests and Principal Component Analysis. There are significant statistical differences between Afforested area No.2 and grassland of levels of C, N, CEC, Al, bulk density and density of Mollusca, and between grassland and afforested area No.1 in levels of Mn and Cu. The multivariate analysis considered three groups, corresponding to the three locations.

Key words: Soils, grassland, woodland of the High Andes, Andes, Nariño.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones sobre los suelos en los ecosistemas de alta montaña se han centrado en los páramos, siendo poco frecuentes las comparaciones de las características físicas, químicas y biológicas, entre áreas silvestres de páramo y bosque altoandino, a similar altitud.

La edafofauna, al parecer, presenta particularidades, si se trata del páramo o bosque alto andino. Chamorro & Zuluaga (1998) encontraron que el páramo muestra un índice de riqueza en los principales taxa edáficos de 0,72, mientras que en bosque alto andino es de 0,49. Rangel-Ch. & Sturm (1994) estimaron que el bosque presenta un mayor número total de individuos y de grupos taxonómicos en comparación con el páramo.

¹ Mg. Ciencias Agrarias. Docente Universidad de Nariño. Calle 23 N. 4 este 11 manzana K, casa 2, Campiña de oriente, Pasto, Nariño; patriciac1@hotmail.com

² Mg. Estadística. Docente Universidad de Nariño. Calle 13 A, # 41.09, Villas de San Rafael, Pasto, Nariño; hgarcia@udenar.edu.co

En lo concerniente a las propiedades químicas, en un estudio sobre los almacenamientos de carbono y flujo de gases, se halló mayor contenido de C superficial en bosque frente al páramo, contrario a lo esperado, lo que fue explicado como consecuencia de las continuas quemadas naturales e inducidas en el páramo. El bosque, se comportó como un sumidero neto de metano atmosférico ($-33\text{mg CH}_4 \text{ m}^2/\text{h}$), mientras que el páramo lo hizo como una fuente neta ($82\text{mg CH}_4 \text{ m}^2/\text{h}$) de dicho gas (Rondón *et al.* 2002).

A pesar de la escasez de estudios que comparan las propiedades de los suelos entre páramo y bosque, en Ecuador se vienen adelantando investigaciones en suelos de los Andes, que coadyuvan a contextualizar los de Pueblo Viejo, debido a que el área de estudio se ubica en la zona del complejo volcánico Galeras – Chiles, entre ellos Azufra, Cerro Mayasquer, Chiles, Cumbal, Galeras, Serranía de Colimba y Túquerres, algunos con actividad volcánica histórica (menos de 500 años) y evidencia geomorfológica de actividad en el Holoceno (Robertson *et al.* 2002). Dado que el complejo volcánico se encuentra cerca, influye en parte de los suelos estudiados en Ecuador, lo que posibilita equiparar factores de formación del suelo, como el material parental y el tiempo (cenizas volcánicas del Holoceno).

A partir de las investigaciones mencionadas, se conoce que los suelos de ecosistemas de alta montaña de los Andes, situados en zonas volcánicas con actividad en el Holoceno, deben buena parte de sus propiedades a la meteorización de la ceniza volcánica en interacción con el clima frío y húmedo. Una fuente de variación en la distribución de los minerales es la distancia de la zona volcánica y, por tanto, de la cantidad de ceniza depositada. En los páramos de la cuenca del río Paute, se identificó una gradual disminución de las propiedades ándicas de norte a sur, que coincide con el distanciamiento de la influencia de ceniza volcánica (Buytaert *et al.* 2007). Los suelos más cercanos son Andisoles no alófanos, en los cuales, el horizonte mineral superior está dominado por complejos organometálicos de Al y Fe y es bajo el contenido de alófana y caolín recientes, posiblemente, porque el clima húmedo y frío favorece la lixiviación de cationes básicos y el sílice liberado por la meteorización y proporciona una descomposición retardada de la materia orgánica del suelo. Con la profundidad, la alófana tiende a aumentar, lo que se atribuye a diversas

causas, entre ellas, un mayor suministro de sílice, menos materia orgánica, por tanto, menor complejación y una meteorización más avanzada (Buytaert *et al.* 2005).

En esta dirección, varias propiedades del horizonte A, como los valores elevados de CIC, gran capacidad de retención hídrica, alta porosidad, baja densidad, porosidad fina y el carácter melánico, se relacionaron con los altos contenidos de coloides orgánicos (Poulenard *et al.* 2003). La acumulación de materia orgánica en el páramo, se atribuye a las condiciones de vegetación y al clima frío y húmedo a gran altura. Buytaert *et al.* (2007) expresan que es un efecto del clima que no depende necesariamente del aluminio del suelo, puesto que en la cuenca del río Paute registraron similar contenido de C entre el norte, con mayor nivel de aluminio libre y, el sur, con disminución, sugiriendo entonces, que la mayor precipitación en el sur puede compensar la alta complejación organometálica en el norte. Otros autores consideran que condiciones edáficas, como el pH ácido, el dominio de complejos de humus-Al (Zehetner *et al.* 2003) y la predominancia de los microporos asociados con la abundancia de coloides orgánicos coadyuvan en este proceso (Poulenard *et al.* 2003). El agua y la aireación del suelo pueden ser propiedades a tener en cuenta, dado que se conoce que en el páramo la mayor cantidad de materia orgánica se relaciona con la elevada capacidad de almacenamiento de agua (Buytaert *et al.* 2007, Poulenard *et al.* 2003) y a que Rondón *et al.* (2002) encontraron que el páramo se comporta como una fuente neta de metano, indicando que prevalecen condiciones anaeróbicas en las capas superficiales del suelo, mientras que el bosque actúa como un importante sumidero neto de metano atmosférico, indicador de condiciones aeróbicas.

Los suelos derivados de ceniza volcánica también están afectados por la variación altitudinal del clima, con lo cual, las propiedades ándicas aumentan con la altitud. En las laderas del volcán Cotacachi, se detectó que por encima de 3.200m, la fracción coloidal es dominada por complejos de humus-Al y alófana; a esta altura, se registra una alta absorción de fósforo, aumentan los contenidos de limo, arcilla, C, CIC y disminuye arena, pH, P disponible, suma de bases intercambiables y las tasas de escorrentía y erosión del suelo. A elevaciones intermedias (3.200 – 2.700), se marca una zona de transición en la que coexisten alófana y halloisita. Por debajo de 2.700m halloisita es el principal constituyente

coloidal y disminuye la alófana; las variables de fertilidad innata, erosión y escorrentía siguen la tendencia contraria a los suelos, por encima de los 3.200 metros. El patrón de altitud, se percibió alterado en posiciones de paisaje inestable donde las propiedades ándicas del suelo han sido modificadas por la erosión de la capa superficial del suelo. El clima fue considerado el principal factor responsable de las diferencias de altitud en el suelo, porque afectan el régimen de lixiviación y la descomposición de materia orgánica (Zehetner *et al.* 2003, Zehetner & Miller, 2006).

Conceptualmente, se prevén propiedades particulares entre los suelos de Bosque altoandino y páramo; sin embargo, hay poca información experimental que evidencie las diferencias. En este contexto, se realizó un estudio exploratorio, con el objetivo de comparar algunas propiedades físicas y químicas, y la macrofauna del suelo con cobertura en pajonal, bosque en ladera y bosque en vertiente de agua, situados a similar altitud, en la Reserva Natural Pueblo Viejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Reserva Natural Pueblo Viejo está localizada en el suroeste de Colombia, Departamento de Nariño, municipio de Mallama. Las coordenadas geográficas extremas son 1°3'33,7" y 1°1'39,8" Norte y 77°48'3,3" y 77°46'17,2" Oeste. La temperatura promedio es de 10,9°C, presentando el valor mínimo (9,3°C), en el mes de agosto y el máximo (12,3°C), en abril; la precipitación total anual de la zona es de 961mm, datos registrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2006) en la estación El Paraíso, municipio de Túquerres. Los suelos, se clasifican como Andosoles y los bosques presentan entre 15 a 20cm de hojarasca y pajonal, entre 1 a 5cm, seguido de 50cm de horizonte mineral de color negro, con presencia de raíces y de piedra pómez pequeña.

Hay tendencia a que el área occidental de la reserva el bosque altoandino ascienda a mayor altitud, mientras que a la misma altura, en las áreas central y oriental, predomina el páramo, excepto alrededor de los cauces de las quebradas, donde también se encuentra bosque. En tal medida, se establecieron tres sitios: Bosque1, que hace parte de la ladera, en el área occidental de la reserva, Pajonal, ubicado en el área central y, Bosque2, en el área oriental, en el cauce de la cuenca alta de la

quebrada Honda, que presenta agua intermitentemente. Las muestras de suelo y de macrofauna, se colectaron durante agosto, entre los 3.300 y 3.350m de altitud, en pendientes entre 18 a 20°. De cada sitio, se tomaron tres muestras separadas, por al menos 5m, para un total de nueve muestras de suelo.

Bosque1 y Bosque2 contienen arbustos y arbolitos, entre los que se encuentran *Gynoxis sanctii-antonii* Cuatr., *Lepichinia vulcanicola* Word, *Zanthoxylum quinduense* (Tul), *Baccharis buddlejoides* H.B.K., *Hesperomeles* sp, *Oreopanax bogotensis* Cuat., *Euphorbia laurifolia* Lam., *Morella parvifolia* Benth. El Pajonal hace parte del páramo, con vegetación herbácea formadora de macollas, dominada por la familia Poaceae, especialmente del género *Calamagrostis* asociada a otros géneros como *Rhynchospora* y *Castilleja*. Comprende algunas especies, como *Hypericum junipericum* Kunth, *Hypericum laricifolium* Juss, *Lachemilla mutisi* Roth, *Hypoacheris sessiliflora* Kunth, *Cortaderia nítida* (Kung) Pilg., *Monnina aestuans* (LF) DC., *Bidens andicola* H.B.K., *Rhynchospora macrochaeta* L. y, *Pernettya postrata* (Cav). D.C.

Las muestras de suelo, se tomaron de 0 a 20cm de profundidad, alrededor de los monolitos, de los que se extrajeron la macrofauna. Se homogeneizó la muestra, se trasladó al laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, para estimar las siguientes variables: textura (Bouyoucos), humedad higroscópica (secado a 105°C hasta peso constante), densidad real (picnómetro), densidad aparente (cilindro graduado) porosidad, pH (potenciómetro, 1:1), carbono orgánico (Walkley-Black), fósforo (Bray II), nitrógeno total (estimación de la M.O.), calcio, magnesio, potasio, capacidad de intercambio catiónico (AcNH4O 1N pH 7), aluminio (KCl 1N), hierro, manganeso, cobre, zinc (DTPA) y boro (agua caliente). La macrofauna, se obtuvo de tres monolitos que consistían en la hojarasca y suelo en 25cmx25cmx30cm de profundidad, para cada uno de los sitios seleccionados (Bosque1, Pajonal y Bosque2); fue extraída manualmente, se fijó en alcohol y se procedió a cuantificar su densidad y estimar la biomasa, como peso fresco, aplicando la corrección por pérdida de humedad (19% para lombriz de tierra, 11% para coleópteros, 6% para arácnidos y miriápodos, 13% para otros invertebrados), como lo sugieren Decaëns *et al.* (1994).

Para identificar si se presentan diferencias estadísticas significativas en las características químicas, físicas y la macrofauna entre los tres sitios, se realizó un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis. En los casos donde se encontraron diferencias significativas, se llevó a cabo una prueba de comparaciones múltiples, para lo que se empleó el paquete estadístico STATISTICA. Para complementar la comparación, se efectuó una correlación de Pearson y un análisis de componentes principales (ACP) aplicando los procedimientos princomp y prinqual del paquete estadístico SAS, utilizando, como individuos, a los suelos de las diferentes localizaciones geográficas y, como variables, las siguientes propiedades: arena, humedad higroscópica, densidad real, densidad aparente, pH, C, P, Ca, Mg, K, CIC, Al, Fe, Cu, Mn, Zn, biomasa y densidad total de la macrofauna edáfica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a las propiedades químicas es de anotar que los contenidos de C, CIC, N y Al son más elevados en Pajonal, seguidos de Bosque1, con valores que no se diferencian estadísticamente, mientras que en Bosque2 hay una disminución con diferencia estadísticamente significativa de Pajonal (Tabla 1). En elementos menores, hay diferencias significativas en las variables Mn y Cu entre Bosque1 y Pajonal, siendo que en el segundo, la cantidad de Mn es más baja y de Cu más alta (Tabla 2).

En lo concerniente a propiedades físicas, se destaca la textura y la densidad aparente. Respecto a la textura de los suelos estudiados, se define como Arenosa Franca en Bosque1 y Pajonal y, Arenosa, en Bosque2; el promedio

Tabla 1. Propiedades químicas en los suelos estudiados.

Suelos	pH	CO	N total	P	CIC	Al	Ca	Mg	K
	H ₂ O	%		ppm	meq 100g ¹				
Bosque1	5,3 ^a	7ab	0,48ab	11,1 ^a	29,1ab	0,9ab	3,93 ^a	0,63 ^a	0,37 ^a
Pajonal	4,8 ^a	12 ^a	0,68 ^a	11,8 ^a	46,2 ^a	2,0 ^a	2,73 ^a	0,33 ^a	0,38 ^a
Bosque2	5,2 ^a	3b	0,25b	34,2 ^a	11,1b	0,3b	2,07 ^a	0,27 ^a	0,09 ^a
K-W	0,047	0,027	0,027	0,051	0,027	0,027	0,065	0,051	0,063

K-W: Anova Kruskal-Wallis. En letras iguales no hay diferencia significativa en la comparación múltiple ($\alpha \leq 0,05$).

Tabla 2. Elementos menores.

Suelos	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	ppm				
Bosque1	30,67 ^a	4,37 ^a	0,19b	0,38 ^a	0,08 ^a
Pajonal	34,67 ^a	1,17b	0,33 ^a	0,47 ^a	0,13 ^a
Bosque2	19,33 ^a	1,77ab	0,23ab	0,22 ^a	0,13 ^a
K-W	0,046	0,035	0,026	0,051	0,298

K-W: Anova Kruskal-Wallis. En letras iguales no hay diferencia significativa en la comparación múltiple ($\alpha \leq 0,05$).

de densidad aparente es más alto en Bosque2 y más bajo en Pajonal, con diferencias estadísticas significativas entre los dos sitios (Tabla 3).

La macrofauna edáfica pertenece a los Phylla Annelida, Arthropoda y Mollusca; la primera está constituida por la

clase Oligochaeta; la Mollusca por la clase Gastropoda y, finalmente la Arthropoda por Chilopoda, Diplopoda, Arachnida, Malacostraca e Insecta. La densidad total de la macrofauna y de los artrópodos es más alta en Bosque2, intermedia en Bosque1 y más baja Pajonal; la densidad de anélidos fue mayor en Pajonal, seguida

Tabla 3. Propiedades físicas de los suelos estudiados.

Suelos	Textura	Arena	Humedad Higroscópica	Porosidad	Densidad real	Densidad Aparente
	%				g/cc	
Bosque1	AF	73 ^a	0,96 ^a	66 ^a	2,4 ^a	0,8ab
Pajonal	AF	75 ^a	0,93 ^a	69 ^a	2,2 ^a	0,7b
Bosque2	A	89 ^a	1,00 ^a	55 ^a	2,5 ^a	1,1 ^a
K-W		0,063	0,698	0,050	0,064	0,020

K-W: Anova Kruskal-Wallis. En letras iguales no hay diferencia significativa en la comparación múltiple ($\alpha \leq 0,05$).

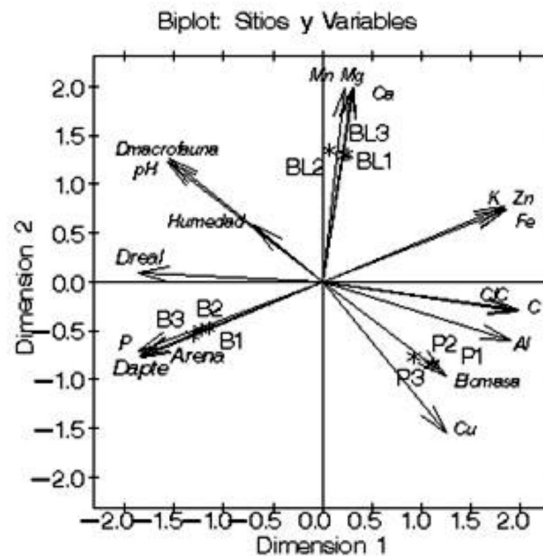
de Bosque2 y, en menor medida, en Bosque1. Los moluscos, se encontraron principalmente en Bosque2 y no se registraron en Pajonal, con diferencias estadísticamente significativas entre estos dos sitios. La biomasa está siendo aportada por artrópodos y por anélidos y teniendo en cuenta el sitio, es más alta en Pajonal, con el 53% de la biomasa total, donde Annelida constituye el 68% del peso, mientras que es similar en los bosques. En Bosque1 contribuyen, los artrópodos; en Pajonal, los anélidos y los artrópodos y en Bosque2, los artrópodos y los moluscos. No se presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 4).

En el análisis de componentes principales, se retuvieron los dos primeros factores que, en conjunto, explican el 74% de la variabilidad total de los datos. En el primer componente, con el 50%, las variables que más aportan, en forma positiva, son CIC (0,974), C (0,963), Al (0,935), Fe (0,857) y, en forma negativa, densidad aparente (-0,954), P (-0,868) y densidad real (0,840), que corresponde con Pajonal; en el segundo componente, que explica 24%, contribuyen Mn (0,969), Mg (0,879), pH (0,801) y Ca (0,797), asociadas a Bosque2. La figura 1 permite hacer un estudio conjunto de los individuos o sitios geográficos y las variables. Los sitios geográficos,

Tabla 4. Promedio de biomasa y densidad de macrofauna.

Biomasa (g.p.f m ²)	Arthropoda		Annelida		Mollusca		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Bosque1	7,0 ^a	90,1	0,7 ^a	9,6	0,02 ^a	0,3	8 ^a	23
Pajonal	5,7 ^a	31,7	12,2 ^a	68,3	0,00 ^a	0,0	18 ^a	53
Bosque2	5,9 ^a	73,6	0,5 ^a	6,3	1,62 ^a	20,1	8 ^a	24
Promedio	18,6	55,2		40,0	1,64	4,9	34	100
$\alpha \leq 0,05^{**}$	0,733		0,276		0,076		0,733	
Densidad* (ind m ²)								
Bosque1	491 ^a	94	5 ^a	1	27ab	5	523 ^a	25
Pajonal	144 ^a	54	123 ^a	46	0b	0	267 ^a	13
Bosque2	720 ^a	56	64 ^a	5	491 ^a	38	1275 ^a	62
Promedio	1355	66	192	9	517	25	2064	100
K-W	0,059		0,101		0,031		0,059	

K-W: Anova Kruskal-Wallis. En letras iguales no hay diferencia significativa en la comparación múltiple ($\alpha \leq 0,05$).



P: pajonal, BL: Bosque en ladera, B: Bosque en vertiente de fuente de agua.

Figura 1. Análisis de componentes principales.

se analizan en términos de similitud (distancias) y las variables o propiedades de los sitios geográficos, en términos de correlaciones.

En la figura, se puede observar que en cuanto a sitios, se diferencian claramente tres grupos: Pajonal (P1, P2 y P3), Bosque1 (BL1, BL2 y BL3) y Bosque2 (B1, B2 y B3). Se aprecia que Pajonal tiende a mayores niveles de biomasa total de macrofauna, C, CIC, Al y Cu y menores de pH y densidad total de macrofauna; Bosque1, se asocia con contenidos más altos de Ca, Mg y Mn y en Bosque2, se incrementa arena, P y densidad aparente y disminuye K, Fe y Zn.

Se define entonces, que los tres sitios evidencian características particulares en los suelos. Entre las variables que más contribuyen a la diferencia, se resaltar el pH, que es muy fuertemente ácido en Pajonal y fuertemente ácido en los bosques; los contenidos de C, N, CIC y Al son más elevados en Pajonal, intermedios en Bosque1 y más bajos en Bosque2. Esto corresponde a una tendencia inversa a la mostrada por la densidad total de la macrofauna y de los artrópodos, ya que decrecen en el orden: Bosque2, Bosque1, Pajonal. Por otra parte, la densidad aparente más baja, se evidencia en Pajonal y la más alta en Bosque2; la biomasa de la macrofauna se asocia a Pajonal.

En Pajonal, el pH (H₂O) es menor de cinco, condición en la que se inhibe la formación de alófana (Shoji *et al.* 1982) y en consecuencia, se estarían favoreciendo los complejos de humus-Al. El dominio de estos complejos en el horizonte A se registra en los páramos de Ecuador con influencia de cenizas volcánicas del Holoceno (Buytaert *et al.* 2007; Buytaert *et al.* 2005, Poulenard *et al.* 2003, Zehetner *et al.* 2003). Específicamente, en El Ángel, con influencia de los Volcanes Cuicocha, Soche, Azufral y Galeras, los dos últimos en el sur de Colombia, se encontraron suelos con altos niveles de coloides orgánicos, que presentaban un efecto anti-alófana, es decir, que cuando más contenido de carbón, más bajo era el de alófana. En este orden de ideas, es probable que los contenidos más altos de Al, C, CIC y N estén asociados con el pH más ácido y con la formación de complejos de humus-Al, que, en otras palabras, pueden indicar un mayor contenido de materia orgánica frente a los bosques, porque además de tener valores más altos, dichas variables se correlacionan entre sí; por ejemplo, C, presenta correlación positiva con CIC (r: 0,96 p: 0,00) y Al (r: 0,95 p: 0,00) y, en forma negativa, con pH (r: -0,71 p: 0,03), densidad aparente (r: -0,90 p: 0,00) y densidad real (R: -0,88 p: 0,00). A la vez, el incremento de materia orgánica explica la densidad más baja en este sitio y la correlación negativa de la densidad, tanto real como aparente, con C, CIC, N y Al. Igualmente, en páramos

del Ecuador, se encontró la correlación inversa entre C y densidad aparente (Buytaert *et al.* 2007).

Si bien no se presentan diferencias estadísticas en Pajonal frente a los bosques, prevalece la biomasa y disminuye la densidad de la macrofauna. La biomasa está siendo aportada, especialmente, por la lombriz de tierra, macroinvertebrado que parece estar adaptado a la estructura herbácea de la vegetación, pues Coral & Bonilla (2002), a una altitud entre 2.700 y 3.000m, cuantificaron una mayor densidad de lombriz de tierra en pastizal, (4.560ind/m²) que aportó una biomasa de 67,1g/m², en comparación a una selva secundaria, con 1.024ind/m² y biomasa de 18,2g/m². La menor densidad de macrofauna en páramo frente al bosque fue explicada por Rangel-Ch. & Sturm (1994), como consecuencia de la ausencia de hojarasca y con clima más extremo en el primero, a lo que también habría que agregar las propiedades edáficas, pues como se registró en Pajonal, existen mayores contenidos de C, N, CIC, Al y menor densidad aparente.

Bosque1 posee un pH mayor de cinco, condición en la que se forma alófana (Shoji *et al.* 1982), en tal caso y por la altitud, se puede estar presentando una coexistencia de complejos de humus-Al con alófana (Zehetner *et al.* 2003; Buytaert *et al.* 2005). Bosque2, además de la acentuada disminución de C, N, CIC y Al, registra una mayor densidad aparente y densidad de moluscos, con diferencia estadística significativa de Pajonal y, el ACP, asocia este sitio con el incremento de arena, densidad aparente y fósforo, variables que correlacionan positivamente entre sí y negativamente con C, N y CIC. Es posible que las particularidades de Bosque2 estén marcadas por su posición en la vertiente del cauce de agua, de ahí que una mejor circulación y disponibilidad de agua, así como un microclima protegido de los vientos, puede coadyuvar a un mayor grado de descomposición de la materia orgánica, por lo cual, las variables asociadas aparecen con niveles más bajos. A su vez, la ubicación en la vertiente de la quebrada, explica el porcentaje más alto de arena, que contribuye al aumento de densidad. El contenido más alto de fósforo, igualmente, se puede explicar, en relación con el menor contenido de materia orgánica, pues correlaciona, en forma positiva, con densidad aparente (r: 0,96 p: 0,00) y negativa, con C (r: -0,76 p: 0,02), CIC (r: -0,79 p: 0,01), N (r: -0,82 p: 0,01) y Fe (r: -0,93, p: 0,00). Zehetner *et al.* (2003) y Zehetner &

Miller (2006) asociaron el contenido de C y los grupos activos OH-Al con la retención del fósforo; cuando el horizonte A registró 7,5% de C, la fijación de P fue 88%, pero con 3,4% de C, el P inmovilizado fue del 61%. De igual forma, encontraron que el P disponible tenía valores de intermedio a bajo, en suelos por encima de 3.200m, donde aumenta la materia orgánica, mientras que el P se incrementaba en suelos por debajo de 2.700m, donde decrece la materia orgánica.

En otras palabras, esta exploración inicial conlleva a inferir que las propiedades edáficas de los tres sitios presentan particularidades en buena parte, debidas a diferencias en la dinámica de la materia orgánica, con incidencias en la macrofauna. En un lado, Pajonal con contenidos más altos de C, N, CIC y Al, y más bajos de densidad aparente, tendería a acumular materia orgánica, relacionada con el pH más ácido y formación de complejos de Al-humus, condición en la que si bien disminuye la densidad de macrofauna, se posibilita un incremento de su biomasa. En Bosque1 habría un nivel intermedio de materia orgánica asociada a un pH mayor de cinco, donde pueden coexistir complejos de Al-humus con alófana. En el otro extremo, en Bosque2, habría mayor descomposición de la materia orgánica, con aumento en la densidad del total de macrofauna, dada su ubicación en la vertiente de la quebrada.

CONCLUSIÓN

Se sugiere que bosque de ladera, bosque en vertiente de fuente de agua y Pajonal, ubicados a similar altitud, presentan configuraciones edáficas particulares en los primeros 20cm de profundidad. Las principales diferencias, se evidencian entre pajonal y bosque en la vertiente de la fuente de agua; el primero, con contenidos más altos en C, N, CIC y Al y más bajos en densidad aparente, y densidad de gasterópodos, con diferencias estadísticas significativas. Pajonal muestra mayor biomasa de la macrofauna, mientras que el bosque registra más densidad de macrofauna.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Nariño, por el apoyo al proyecto "Caracterización físico biótica y antrópica de la Reserva Natural Pueblo Viejo"; a Benhur Cerón y Luis Navas, compañeros de

investigación; a Elkin Noguera y Silvia Montenegro, estudiantes investigadores, a Fernando Fernández, de Ciencias Naturales, Universidad Nacional, Sede Bogotá.

BIBLIOGRAFIA

- BUYTAERT, W.; SEVINKC, J.; De LEEUWC, B.; J. DECKERS, J. 2005. Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo. *Geoderma* 127:114-129.
- BUYTAERT, W.; DECKERS, J.; WYSEURE G. 2007. Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena* 70:143-154.
- CHAMORRO, C.; ZULUAGA, D. 1998. Comunidades bioedáficas de tres regiones naturales de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 28:269-272.
- CORAL, D.; BONILLA, C. 2002. Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del Lago Guamués, Pasto, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 32:157-160.
- DECAËNS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J.; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia 1994. *Eur. J. Soil Biol.* 30(4):157-168.
- POULENARD, J.; PODWOJEWSKI, P.; HERBILLON A. 2003. Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma* 117:267-281.
- RANGEL-CH, O.; STURM, H. 1994. Consideraciones sobre la vegetación, la productividad primaria neta y la artropofauna asociada en regiones paramunas de la cordillera oriental. En: Mora & Sturm, eds. *Estudios ecológicos del páramo y del bosque altoandino, cordillera oriental de Colombia*, Tomo 1. Guadalupe, Bogotá. 47-70.
- ROBERTSON, K.; FLÓREZ, A.; CEBALLOS, J.L. 2002. Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia. *Cuadernos de Geografía*. 11(2):37-60.
- RONDÓN, M.; AMÉZQUITA, E.; DÍAZ, E.; CHÁVEZ, L.; PAZ, L.; CHÁVEZ J. 2002. Efecto de cambios en el uso del suelo sobre los almacenamientos de carbono y flujos de gases de efecto invernadero en áreas del Páramo de las Ánimas, Cauca, Colombia. En: *Congreso Mundial de páramos*, tomo 1. IDEAM (Bogotá). p.154-159.
- SHOJI, S.; FUJIWARA, Y.; YAMADA, I.; SAIGUSA, M. 1982. Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown Forest soils, and Podzolic soils formed from recent Towada ashes, northeastern Japan. *Soil Sci.* 133:69-86.
- ZEHETNER, F.; MILLER, W.P.; WEST, L.T. 2003, Pedogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador. *Soil Science Soc. Am.* 67:1797-1809
- ZEHETNER, F.; MILLER, W.P. 2006. Soil variations along a climatic gradient in an Andean agro-ecosystem. *Geoderma* 137:126-134

Recibido: Junio 19 de 2008

Aceptado: Febrero 20 de 2009