



PROPIEDADES EDÁFICAS DE BOSQUES Y POTREROS EN RECUPERACIÓN DE DOS RESERVAS NATURALES EN ZAPATOCA (SANTANDER)

Ángela Martín Pérez¹ ✉, Yeny Vélez Martínez², Jaime Polanía³

¹ Semillero de Investigación en Conservación y Restauración de Ecosistemas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

² Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

³ Departamento de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Palabras clave: suelos, robledales, potreros, estado de recuperación, potencial de restauración.

RESUMEN

El suelo es crucial en la restauración ecológica porque permite el establecimiento y desarrollo de la vegetación. Los robledales (*Quercus humboldtii*) en dos reservas naturales de la sociedad civil (RNSC) en Zapatoca (Santander, Colombia) "El Páramo-La Floresta" (PF) y "La Montaña Mágica-El Poleo" (MM) son ecosistemas de referencia para la restauración de los pastos, que actualmente están en proceso de restauración pasiva. Se determinaron propiedades edáficas (densidad real -Dr-, profundidad de la capa orgánica -PCO-, textura, pH, fertilidad, CIC, % de saturación de Al³⁺ -% Sat. Al³⁺- y % de materia orgánica -%MO-) en cuatro robledales, dos del PF (considerados más maduros) y dos de MM; más cuatro potreros, dos del PF (con más tiempo de recuperación) y dos de MM. Los valores de Dr fueron similares entre sitios, pero resultaron mayores en potreros. Las características de los suelos, mayormente francoarenosos, coincidieron con otros de robledales andinos y presentaron valores de pH muy bajos (más bajos en PF). Los bosques mostraron mayores valores de PCO, presumiblemente porque su acidez reduce las tasas de descomposición. Una calificación asignada a variables edáficas estableció el grado de recuperación, así: bosques del PF > MM, pero potreros de MM más recuperados y con mayor potencial de restauración que los de PF. En general, las diferencias halladas se presumen derivadas de las perturbaciones previas, mientras aquellas entre suelos de bosques y potreros no pueden atribuirse únicamente a la cobertura actual, pero puede presumirse su considerable influencia, pues la topografía y el clima no difirieron considerablemente.

SOIL PROPERTIES OF FOREST AND PASTURES IN RECOVERY OF TWO NATURAL RESERVES IN ZAPATOCA (SANTANDER)

Keywords: soils, oak forests, pastures, recovery status, restoration potential.

ABSTRACT

The soil is paramount in ecological restoration because it allows the establishment and development of vegetation. The oak forests (*Quercus humboldtii*) within two nature reserves of the civil society (RNSC) in Zapatoca (Santander, Colombia) "El Páramo-La Floresta" (PF) and "La Montaña Mágica-El Poleo" (MM) are reference ecosystems for restoring pastures, which currently are under passive restoration. Several soil properties (real density -DR-, depth of the organic layer -PCO-, texture, pH, fertility, CIC, % saturation of Al³⁺ -% Sat. Al³⁺- and % of organic matter -%MO- were determined in four oak forests, two in PF (that were considered more mature) and two in MM; plus four in pastures, two in PF (with more recovery time) and two in MM. Dr values were similar between sites, but higher in pastures. The characteristics of soils, mostly sandy loam, coincided with other Andean oak and presented very low pH values (lower in PF). Forests showed higher PCO, presumably because its acidity reduces decomposition rates. A rating assigned to edaphic variables set the degree of recovery, as follows: PF forests > MM, but MM pastures more recovered and with more recovering potential than those of PF. In general, the differences found are presumed to be derived from previous disturbances, while those between forest soils and pastures can not be attributed solely to the current coverage, but its considerable influence can be assumed, because the topography and climate did not differ significantly.

SUELOS
ECUATORIALES
47 (1 y 2): 25-37

ISSN 0562-5351

Rec.: 15.06.2016

Acep.: 20.12.2016

INTRODUCCIÓN

Etter *et al.* (2006) estima que hasta finales del siglo pasado 45% de los ecosistemas naturales terrestres de Colombia habían sido transformados para ganadería, agricultura o expansión urbana. Pese a una ligera recuperación de cobertura boscosa en los últimos años (2% *sensu* Sánchez-Cuervo *et al.* 2012), el cambio climático global y el desarrollo mal planificado amenazan los ecosistemas naturales del país (Murcia *et al.* 2013). Las tasas de deforestación y la probabilidad de conversión a sistemas productivos incrementan esta amenaza en bosques andinos (Etter *et al.* 2006), donde se concentran diversidad, endemismo, fuentes de agua y tres cuartas partes de la población del país (Murcia y Guariguata 2014).

La conversión de bosques a potreros perturba la dinámica de sus suelos más profunda y permanentemente que la agricultura transitoria, porque altera el ciclaje de nutrientes (Cruz-Ruiz *et al.* 2012) y aumenta su lixiviación por escorrentía superficial (Chapin *et al.* 2011) promovida, a su vez, por las precipitaciones y las fuertes pendientes (Acevedo-Sandoval *et al.* 2010). Ello provoca la reducción del pH (Romero *et al.* 2004, Sánchez *et al.* 2005), que dificulta aún más la disponibilidad de Ca^{+2} , P y Mg^{+2} para la planta; y aumenta la acumulación de Al^{+3} y NH_4^+ (Barker y Pilbeam 2007).

En los Andes colombianos Sánchez y Peláez (2005) estudiaron la dinámica de nutrientes en robledales de Antioquia, encontraron que *Quercus humboldtii* Bonpl. absorbe más Ca^{+2} que otros macronutrientes, grandes cantidades de Fe y extiende sus raíces finas preferentemente en el mantillo. Cabe señalar que los robledales (*Q. humboldtii*) colombianos están en categoría "vulnerable" de la UICN (Galindo *et al.* 2003, León *et al.* 2009). Velásquez *et al.* (2005) relacionó en suelos de bosques del Cauca contenidos de Al^{+3} y estableció rangos de macroelementos. Ramírez *et al.* (2007) y León *et al.* (2011) evaluaron en robledales de Antioquia los flujos de nutrientes a partir de la caída de hojarasca; evidenciaron que se descompone más lentamente en suelos ácidos y

que es reguladora de procesos funcionales. Tafur *et al.* (2014) caracterizó los suelos de bosques secundarios en la Cordillera Central y observó dominancia de la clase textural francoarenosa, con contenidos de arena mayores al 70%.

En este contexto donde además las figuras de protección legal no son suficientes, Murcia y Guariguata (2014) señalan que las acciones de conservación y restauración deben redoblar, por lo que este trabajo compara algunas propiedades físicas y químicas de suelos de bosques y potreros de las reservas naturales de la sociedad civil (RNSC) "Páramo-La Floresta" (PF) y "La Montaña Mágica-El Poleo" (MM) en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental. Se pretende asociar las propiedades edáficas con las coberturas y establecer el potencial de restauración de potreros, a partir de las propiedades más influyentes y de los de ecosistemas de referencia. Se plantea que la calidad de dichas propiedades (para el desarrollo de las plantas) se reduce, conforme incrementa la alteración de la cobertura; o es menor la edad de recuperación. Se espera que el potencial de restauración de los potreros y el grado de recuperación de los bosques respecto a los suelos aumente en el siguiente orden: potreros (i) de MM, (ii) de PF, y luego bosques (iii) de MM, y (iv) de PF (en mejor estado).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las RNSC PF y MM se ubican en el municipio de Zapatoca, departamento de Santander (Colombia; Figura 1), área de amortiguación del Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes, que cuenta con numerosas especies endémicas y amenazadas (Donegan y Huertas 2005). Sus bosques de roble (*Q. humboldtii*) mantienen su potencial ecológico y florístico, aunque el uso permanente y la transformación del hábitat para actividades agrícolas y ganaderas del siglo pasado produjeron deforestación y fragmentación. La precipitación media anual es 1.314 mm a^{-1} (Díaz 2008); la temperatura promedio anual de $18,8^\circ\text{C}$ y la humedad relativa del 80% (Administración municipal Zapatoca 2012).

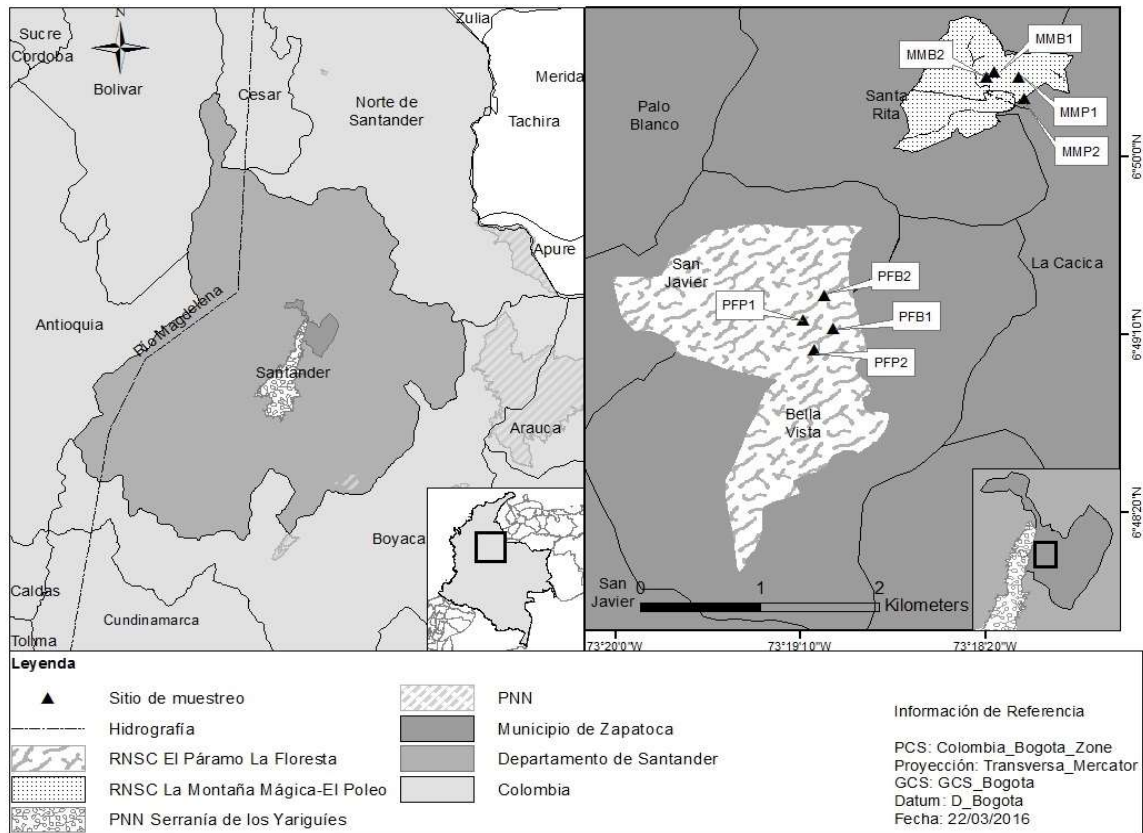


Figura 1: Ubicación de puntos de muestreo en las RNSC "El Páramo-La Floresta" (PF) y "La Montaña Mágica-El Poleo" (MM) en el departamento de Santander, Colombia.

PF: comprende aproximadamente 323 ha ($6^{\circ}49'12,85''N$, $73^{\circ}19'14,28''W$), dos zonas de bosque húmedo: (i) montano bajo bh-MB y (ii) premontano bh-PM (Díaz 2008). Alcanza una altitud máxima de 2.495 msnm, donde hay un parche de *Q. humboldtii* (Carvajal 2007). Antes de establecer la RNSC (en 2001) hubo ganadería extensiva y quema; desde entonces algunas partes del predio se han dedicado a la conservación. Los suelos se han descrito como parte del perfil PS-429 (Typic Dystropepts), con % Sat. $Al^{+3} > 60\%$ y la unidad MLDD, con % Sat. $Al^{+3} > 65\%$ (CAS *et al.* 2003, IGAC 2012).

MM: comprende 86,1 ha ($06^{\circ}50'05,4''N$, $73^{\circ}18'06,3''W$) de bosque húmedo premontano bh-PM (Díaz 2008), entre 1.850-2.300 msnm, con remanentes intervenidos de bosques andino dominados por *Q. humboldtii* y con la mayor población regional de palma de cera (*Ceroxylon quindiuense* H.Wendl. ex H.Karst.). Los potreros de la parte baja fueron usados para ganadería

extensiva alrededor de 30 años y desde 2010 se dedicaron a restauración pasiva. Los suelos pertenecen a la asociación MQAg2 y a la clase MRA2, ambas de bien a excesivamente drenadas y extremadamente ácidos a neutros (López y Retamoso 2005, IGAC 2012).

Litológicamente la zona se caracteriza por presentar sedimentitas del Cretácico inferior y Jurásico, con predominio de areniscas, lodolitas, conglomerados y en ocasiones arcillolitas caoliniticas. Los suelos presentan % Sat. $Al^{+3} > 60\%$, debido al caolín, mineral arcilloso común en la parte alta de PF y en otros sitios (GIDROT 2011).

Se realizaron muestreos aleatorios en MM en julio de 2014, y en PF en enero de 2015 en dos sitios de robleal (B1 y B2) y dos de potreros (P1 y P2). Los del PF tienen más de 10 años de abandono y los de MM algo más de cuatro (altitud y pendiente en Tabla 1). En

cada sitio de MM se tomaron 10 muestras, y en los de PF cinco (40 y 20 en total, respectivamente), para analizar densidad real (Dr). Además, se midió la profundidad de la capa orgánica (PCO). Con 10 submuestras de MM y cinco de PF de cada sitio, se obtuvo una mezcla representativa de 1 Kg para determinar textura, pH, concentraciones de P, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} y Al^{+3} , CICE, CIC, % de saturación de bases (% Sat. bases), y de Al^{+3} (% Sat. Al^{+3}) y % de materia orgánica (%MO). Adicionalmente se obtuvieron los contenidos de NH_4 , NO_3 y de nitrógeno total (%NT) en PF. Los suelos de MM fueron analizados en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, y los de PF en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Agronomía de la Sede Bogotá de la misma universidad.

Se realizó una prueba de F para determinar diferencias significativas entre las medias de Dr y una prueba de múltiples rangos para establecer cuáles fueron las medias significativamente diferentes, ambas con 95% de confianza. El grado de recuperación de bosques y potreros de las RNSC se evaluó a partir de cinco criterios: pH, % Sat. Al^{+3} , CIC, %MO y Dr. Según Obando y Tobasura (2012) los valores máximo

y mínimo de cada criterio sirvieron como rangos que, posteriormente, se calificaron con valores de 1 (muy malo) a 5 (excelente); al final las calificaciones se sumaron y se representaron gráficamente.

El potencial de restauración de los potreros, entendido como las características más favorables para iniciar una restauración activa, se analizó a través de múltiples criterios por medio del *software Expert Choice 11*, definido por un modelo jerárquico, con máximo nivel de inconsistencia 1%. Los criterios analizados fueron los mismos cinco anteriores, en orden de importancia, dado el papel que juegan en el establecimiento y desarrollo de individuos nuevos, así: pH, % Sat. Al^{+3} , CIC, %MO y Dr.

RESULTADOS

El separado arena dominó la textura en ambas reservas (Tabla 1), pero más en PF, donde se presentaron suelos arenosos-francos e incluso arenosos (PFP1). Los bosques presentaron PCO mayor a los potreros, excepto PFB1. Los valores de Dr fueron bajos, pero mayores en potreros. Hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) en valores de Dr, que permitieron identificar grupos diferentes: bosques del PF y de MM, y como homogéneos los potreros de ambas reservas.

Tabla 1: Altitud (msnm), pendiente (°) y propiedades físicas de suelos en MM (julio 2014) y PF (enero 2015): textura (FA: fracoarenosa, FArA: franco arcilloarenosa, AF:arenosafranca, A: arenosa), densidad relativa (Dr) y profundidad de la capa orgánica (PCO).

Sitio	Altitud (msnm)	Pendiente (°)	Arena	Limo (%)	Arcilla	Clase textural	Dr (g cm^{-3})	PCO (cm)
PFB1	2.550	6,0	80	14	6	AF	1,48	14
PFB2	2.558	6,5	82	10	8	AF	1,40	25
PFP1	2.540	5,0	90	4	6	A	2,50	14
PFP2	2.541	5,8	82	10	8	AF	2,14	12
MMB1	2.172	30,0	72	14	14	FA	1,99	19
MMB2	2.130	31,0	64	16	20	FArA	1,93	21
MMP1	2.060	33,5	64	22	14	FA	2,26	3
MMP2	1.968	31,5	66	20	14	FA	2,23	8

En general, los suelos mostraron un pH muy ácido. La CICE, fue menor en potreros (Tabla 2); y mayor en bosques. Se resalta que CIC (Ca , Mg^{+2} y K^{+}) presentó en MMP2 el mayor valor, distante de los demás; la concentración de

K^{+} casi siempre aportó menos a la CIC. Los contenidos de P fueron bien contrastantes entre ambas reservas. Los % Sat. Al^{+3} fueron menores en MM, en MMP2. El %MO correspondió casi siempre con el orden de CICE.

Tabla 2. Propiedades químicas en suelos de MM (julio 2014) y PF (enero 2015); pH, concentraciones de Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ (cmol:Kg⁻¹), CICE, P (mg:Kg⁻¹), %Sat. bases, % Sat. Al³⁺ y %MO.

Sitio	pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CICE	CIC	P	Sat. bases	Sat Al ³⁺	MO
		(cmol:Kg ⁻¹)					(mg:Kg ⁻¹)		(%)		
PFB1	3,5	11,2	0,46	0,55	0,34	12,6	1,4	18,5	10,6	89,2	38,6
PFB2	3,3	9,6	0,68	0,52	0,23	11,0	1,4	19,1	12,9	87,0	17,2
PFP1	3,8	1,4	0,19	0,07	0,05	1,7	0,3	9,0	17,6	81,9	2,2
PFP2	3,4	2,8	0,18	0,11	0,06	3,2	0,4	11,9	10,8	89,0	3,3
MMB1	3,7	7,5	0,72	0,76	0,36	9,3	1,8	4,0	19,7	80,3	16,1
MMB2	3,8	6,7	0,80	1,00	0,49	9,0	2,3	3,0	25,5	74,5	13,0
MMP1	4,5	3,7	0,40	0,22	0,30	4,6	0,9	2,0	19,9	80,1	12,2
MMP2	5,1	0,4	3,10	1,20	0,28	5,0	4,6	2,0	92,0	8,0	4,8

Las formas disponibles de N (Tabla 3) mostraron diferencias notables entre bosques, pero no entre potreros de PF con valores bajos para amonio y casi nada de nitrato.

Tabla 3. Contenido de nitrógeno disponible en suelos de la RNSC “Páramo-La Floresta”PF” (enero 2015).

Sitio	NH ₄	NO ₃	NT
	(mg:Kg ⁻¹)		(%)
PFB1	182,8	61,7	1,9
PFB2	119,2	37,0	0,9
PFP1	11,8	0,0	0,1
PFP2	12,9	1,1	0,2

MMP2 mostró la mayor calificación según los criterios seleccionados para establecer el grado de recuperación (Figura 2), seguido por PFB1, PFB2 y MMB2. Luego estuvo MMB1 con igual calificación que MMP1. Finalmente, los potreros de PF.

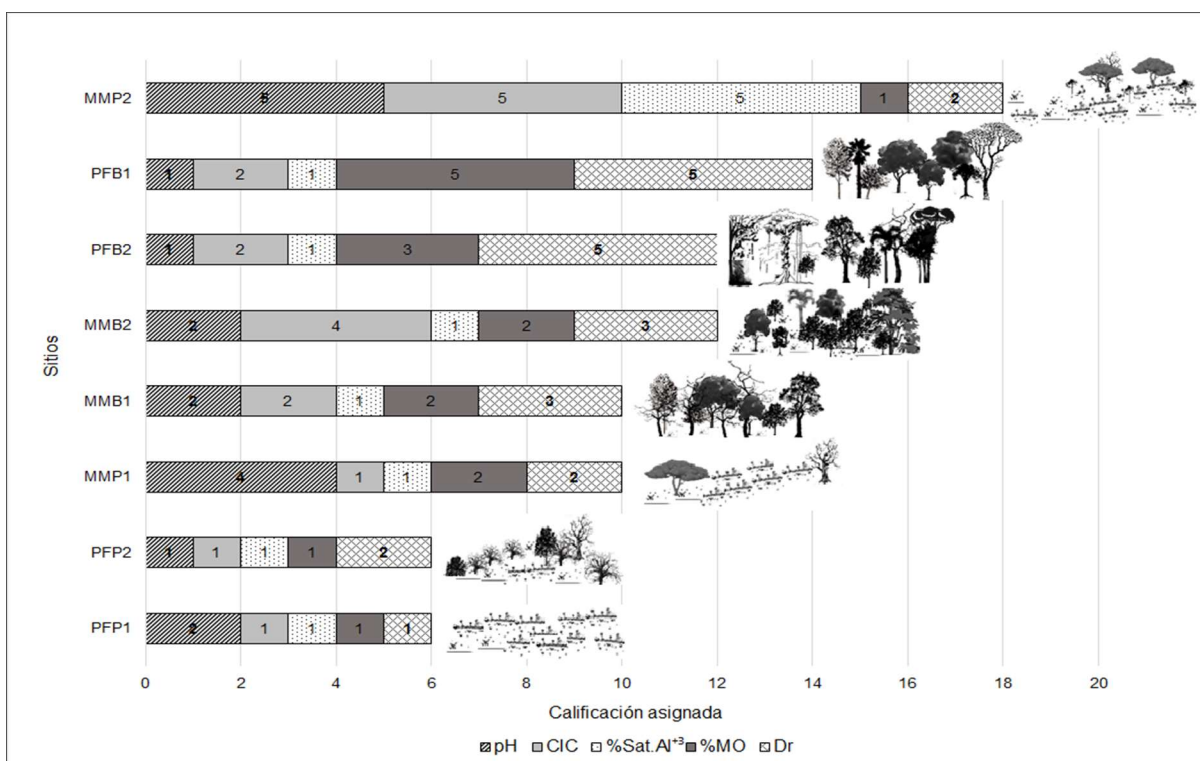


Figura 2. Grado de recuperación de los suelos en ocho sitios estudiados en MM (julio 2014) y en PF (enero 2015) a partir de la calificación asignada para cinco criterios: pH, % Sat. Al³⁺, CIC, %MO y Dr, (1 muy malo y 5 excelente).

El potencial de restauración activa (Figura 3) de MMP2 mostró mayores condiciones en los cinco criterios calificados. Los potreros del PF obtuvieron una calificación casi igual.

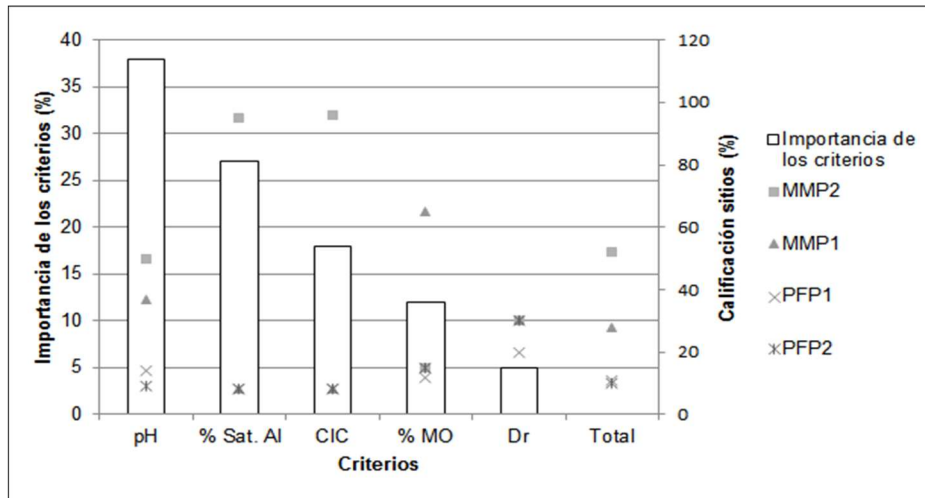


Figura 3. Potencial de restauración en %, de suelos de potreros de MM (julio 2014) y del PF (enero 2015) de acuerdo con cinco criterios en orden de importancia (reflejado en las barras blancas): pH, % Sat. Al³⁺, CIC, %MO y Dr.

DISCUSIÓN

La composición, la estructura, la historia de perturbación y el estado sucesional de las coberturas (*sensu* Díaz-R *et al.* en preparación) permiten considerar como ecosistemas de referencia los bosques del PF; a partir de ello se hacen las comparaciones entre sitios.

Los suelos variaron entre arenosos, francoarenosos y francoarcilloarenosos, tal como en otros robledales de Colombia (León *et al.* 2009). PFP1 (textura arenosa) tuvo poca concentración de bases, y CICe (más baja) indicó así bajo potencial de retención e intercambio de nutrientes; además Doerr *et al.* (2000) atribuye a la dominancia de la arena el grado de hidrofobicidad, pues espacios entre partículas admiten escasa capacidad de retención, lo que facilita el drenaje, un eficaz movimiento del aire y genera pobreza de nutrientes (*sensu* Rucks *et al.* 2004).

Valores de Dr muy bajos, significativamente mayores en potreros con respecto a bosques se presumen derivados de usos previos. Valores altos de Dr (>2,65 gm⁻³) son propios de suelos minerales con texturas gruesas (Rucks *et al.* 2004), mientras que los de las RNSC estuvieron muy por debajo; lo cual podría corresponder con altos contenidos de MO (Dexter 2004), indicar baja compactación y alta porosidad (Dorota *et al.* 2008) y, consecuentemente, mayor conductividad del agua: un ambiente adecuado para desarrollo de raíces y microorganismos (Siavosh *et al.* 2000), y más estable (Cosentino y Pecorari 2002).

En los bosques montanos tropicales nutrientes liberados del mantillo representan la principal fuente de fertilidad del suelo (Berg y Meentemeyer 2001, Parzych y Trojanowski 2006). La profundidad de la capa orgánica, que podría evidenciar cierta recuperación, no es comparable con el oriente de Antioquia (*sensu*

Sánchez y Peláez 2005: 2.490 msnm; 40-60 cm). Los valores encontrados en Zapatoca fueron mayores, pero similares a otros del norte de Antioquia (*sensu* León *et al.* 2009: 13,5-18 cm con altitud entre 2.400 y 2.850 msnm) probablemente por el aporte de biomasa. PCO está condicionada por la producción y velocidad de descomposición (León *et al.* 2011), el clima húmedo-frío y la baja presión atmosférica, característica de zonas montañosas, que favorece acumulación de materia orgánica con descomposición lenta (Jaramillo *et al.* 2011, Quichimbo *et al.* 2012). Además, la hojarasca tarda más en descomponerse en ambientes ácidos (Hagen-Thorn *et al.* 2004, Ramírez *et al.* 2007). Los suelos de MM comparten la tendencia de que a un pH y una CIC mayores, menor PCO, que indican descomposición de hojarasca (*e.g.* MMP2: pH=5,1, PCO=8 cm y CIC=4,58 cmol·Kg⁻¹), en contraste con PFB2 (el más ácido: pH=3,30, PCO=25 cm y CIC=1,43 cmol·Kg⁻¹).

El pH fue extremadamente ácido (<4,5) en bosques. En potreros de MM fue fuertemente ácido (4,5-5), asociado a procesos de lixiviación, por dominancia de textura arena y a fuertes pendientes (>30%, Tabla 1; *e.g.* Bruijnzeel 2004) y evidencian el efecto de la ganadería (*sensu* Rodas 2006). Los valores fueron cercanos a los de robledales de tres sitios de mayor altitud en la Cordillera Central en Antioquia (León *et al.* 2009: 4,0-4,6, León *et al.* 2011: 4,7-5,1) y en España (4,28 para *Q. pyrenaica*). A mayor elevación, suelos más ácidos; y Romero *et al.* (2004) y Sánchez *et al.* (2005) la asocian con humedad, precipitación y menor temperatura que, a su vez, afectan la distribución de las plantas (Bockheim y Schliemann 2014).

En general (excepto MMP2), los valores de Al⁺³ fueron muy altos. Tafur *et al.* (2014) encontraron 1,3 cmol·Kg⁻¹, también superiores al rango de acidez intercambiable (0,40 - 2,70 cmol·Kg⁻¹) en bosques comparables (Merecí y Suqui 2014). En potreros sin pastoreo Velásquez *et al.* (2005) registró un rango de 0,10-1,40 cmol·Kg⁻¹ (válido para MMP2 y PFP1). El Al⁺³ forma parte de aluminosilicatos y, para ser absorbido por las plantas, debe estar primero en solución, pero compite con otros cationes, fuerza

iónica y acidez (pH <4,5). El pH en las RNSC de Zapatoca disuelve el Al⁺³ de la gibbsite y la caolinita, y hace insoluble el PO₄⁻³ (Barker y Pilbeam 2007), se ha estudiado que puede beneficiar el crecimiento y proteger contra patógenos, pero saturaciones >70% alcanzan rangos tóxicos (Havlin *et al.* 2014), reducen la biomasa radicular y restringen la absorción de agua y nutrientes (Kidd y Proctor 2000). Salvo en MMP2, el % Sat. Al⁺³ fue superior al de toxicidad. La CICe (>70%) estuvo representada por Al⁺³ y no por las bases. Altas concentraciones de Al⁺³ pueden explicar en parte los tipos de suelos (GIDROT 2011), con % Sat. Al⁺³ >60% y materiales parentales ígneo-metamórficos, se tienden a producir suelos francoarenosos. La adición de MO puede retener altos contenidos de Al⁺³ en grupos carboxilo(-); también la cal o suplementos promueven enlaces como Al-F, Al-SO₄, y Al-P, los cuales son menos tóxicos (Barker y Pilbeam 2007). Los valores de P y %MO determinan la capacidad *buffer* y la inactividad de Al⁺³ en potreros de las RNSC.

Las concentraciones de Ca⁺² fueron inferiores a las de bosque secundario andino (Tafur *et al.* 2014: 5,01 cmol·Kg⁻¹), pero superiores a otros robledales en la Cordillera Central (Ramírez *et al.* 2007: 0,16, León *et al.* 2009: 0,1-0,2 cmol·Kg⁻¹). Los bosques de las RNSC (excepto PFB1) presentaron valores superiores a bosques secundarios del Cauca (Velásquez *et al.* 2005: 0,05-0,51 cmol·Kg⁻¹); y los de potreros fueron inferiores a pastos libres de ganado (0,57-3,01 cmol·Kg⁻¹), lo cual se esperaba, dado el cambio de uso (Potthast *et al.* 2012). A excepción de MMP2 (Tabla 2), los sitios mostraron valores críticamente bajos (*sensu* Acevedo-Sandoval *et al.* 2010). A menor pH se reduce también Ca⁺², y cuando pH es <5 suele haber deficiencia, esa tendencia aplica a las RNSC, con excepciones: MMP1 mostró uno de los mayores valores, pero bajo Ca⁺². En ausencia de cobertura (como en potreros), aumenta la temperatura del suelo, luego la descomposición de MO y la dinámica del ciclo del N, libera H⁺ y, con el Al⁺³, se ocupa una alta proporción de sitios intercambiables, que dejan Ca⁺² más expuesto a pérdida por lixiviación (Barker y Pilbeam 2007; Mahecha 2009). Por otro lado, ciertos iones (H⁺,

K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Al^{+3} y NH_4^+ *sensu* Fageria 2009) inhiben la absorción de Ca^{+2} . *Quercus humboldtii*, representativo de partes altas andinas colombianas, requiere altas concentraciones para desarrollar raíces finas, más que otros macronutrientes (Sánchez y Peláez 2005); en contraste, dichas zonas suelen ser deficientes en Ca^{+2} (Boy y Wilcke 2008).

Valores de Mg^{+2} fueron inferiores respecto a otros bosques naturales (Porrás *et al.* 2008: 1,12, Tafur *et al.* 2014: 1,3 $cmol\cdot Kg^{-1}$), pero superiores a robledales de la Cordillera Central (Ramírez *et al.* 2007: 0,18, León *et al.* 2009: 0,1-0,2 $cmol\cdot Kg^{-1}$). Los valores de bosques del PF están dentro del rango de uno de los bosques secundarios de la Cordillera Occidental (Velásquez *et al.* 2005: 0,06-0,6 $cmol\cdot Kg^{-1}$), contrastando con los valores mayores de MM. Los potreros de MM tuvieron valores dentro del rango de potreros sin pastoreo (Velásquez *et al.* 2005: 0,16-1,71 $cmol\cdot Kg^{-1}$) pero los de PF fueron inferiores. Una concentración baja a muy baja de los sitios estudiados (*sensu* Acevedo-Sandoval *et al.* 2010) es típica de suelos arenosos (Barker y Pilbeam 2007). Los suelos de las RNSC tendieron a mayor acidez y menor contenido de Mg^{+2} ; sin embargo, MMB2 y PFP1 presentaron igual pH y diferentes concentraciones de Mg^{+2} , debido a que la MO fue mayor en el bosque. Pese a que el pH determina descomposición lenta, la MO puede aportar Mg^{+2} , el cual compite por sitios de enlace con $K^+ > NH_4^+ > Ca^{+2} > Na^+$ (Barker y Pilbeam 2007), lo que aumenta su probabilidad de lixiviación. Dentro de la planta Mg^{+2} antagoniza con Ca^{+2} , K^+ y NH_4^+ ; en cambio NO_3^- promueve su absorción, pero en los suelos de las RNSC predominó NH_4^+ . Esto es importante para elegir especies para restauración.

En la mayoría de coberturas, excepto en potreros del PF, el K^+ fue $>0,09 cmol\cdot Kg^{-1}$ (registrado por Tafur *et al.* 2014, así como por Ramírez *et al.* 2007 y León *et al.* 2009 en bosques comparables). Los bosques de las RNSC contienen valores mayores a los registrados por Velásquez *et al.* (2005; e.g. 0,07-0,34 $cmol\cdot Kg^{-1}$) y los potreros de MM estuvieron dentro de su rango para pastos. Según Cerón *et al.* (2008), los suelos de las RNSC tuvieron una concentración ideal, a excepción de los potreros

de PF, cuyos bajos contenidos de K^+ responden a altos valores de Al^{+3} (Velásquez *et al.* 2005) y bajo pH.

En suelos del PF hay mayor disponibilidad de P, pero no así en bosques de MM; en general la disponibilidad fue baja, por la inmovilización durante la formación de fosfatos de Fe y Al^{+3} (Múnera 2014). Teniendo en cuenta que 90% de las pérdidas de P se producen durante las lluvias (Chapin *et al.* 2011).

La CICE se redujo a medida que aumentó el grado de deterioro en los potreros, o fue menor la edad de recuperación en los bosques (Chacón-Vintimilla *et al.* 2003, Cruz-Ruiz *et al.* 2012), lo cual se asocia parcialmente con alto contenido de arenas (74-72 %, *sensu* Benton 2012, Havlin *et al.* 2014). En general las CIC encontradas se consideran bajas (Acevedo-Sandoval *et al.* 2010) y no superan los valores de robledales en Antioquia (Ramírez *et al.* 2007: 7,47 $cmol\cdot Kg^{-1}$). El mismo orden de la CICE se esperaba al considerar solo los cationes básicos (CIC), pero no fue así: MMP2 tuvo $>CIC$ y los bosques invirtieron su orden. En todo caso, una CIC mayor en MMP2 se considera positiva para su recuperación.

A excepción de MMP2, todas las muestras tuvieron menor % Sat. bases que los registros de Chinchilla *et al.* (2011: 22,17%), Merecí y Suqui (2014: 64,68-96,27%) y Tafur *et al.* (2014: 61,3%) en diferentes bosques con *Quercus* spp. Tafur *et al.* (2014) considera valores $<35\%$ como “bajos”; sin embargo, son mayores a los de robledales de Costa Rica (Chinchilla *et al.* 2011: 3-7%). El bajo % Sat. bases encontrado (excepto en MMP2) se asocia directamente con la fitotoxicidad del % Sat. $Al^{+3} >25\%$ (Casierras y Aguilar 2007).

Los bosques de las RNSC tienen valores mayores de %MO que los bosques de *Q. pyrenaica* (Porrás *et al.* 2008: 6,81%) y secundarios andinos (Tafur *et al.* 2014: 4,48%). En MM hubo relación inversa entre %MO y pH (*i.e.* Sánchez *et al.* 2005, Díaz-Maroto *et al.* 2013). MMB1, acorde a su mayor recuperación, presentó mayor %MO que MMB2, similar a PFB2 (el más maduro). Es presumible que en los potreros no haya biota edáfica suficiente

para mineralizar la MO; en los de MM la MO no se acumuló tanto, debido a las fuertes pendientes (Tabla 1) y en los del PF (menores valores de %MO) no hubo un aporte de MO considerable. Ello indicaría mayor potencial de restauración en MM que en PF.

Tanto los valores de NO_3 como de NH_4 en potreros estuvieron por debajo de bosques de niebla en Ecuador (Merecí y Suqui 2014: 1-48 y 21-128 $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$, respectivamente), mientras PFB1 estuvo por encima. Respecto a los valores de %NT, los bosques de PF tuvieron mayor disponibilidad que otros de Antioquia (Ramírez *et al.* 2007: 0,3%), o España (Porras *et al.* 2008: 0,2%, Cobo-Díaz 2014: 0,3%). Ello refleja la ausencia actual de ganado, ya que el N es uno de los principales nutrientes aportados por heces y orina. En PF se presentó NO_3 en valores extremadamente bajos, considerados limitantes para el establecimiento natural de nuevas plantas; al menos lo fue para el desarrollo de plántulas de *Q. humboldtii* en Antioquia (Sepúlveda *et al.* 2014).

El estudio de NO_3 a mayor profundidad podría confirmar la posibilidad de plantar individuos con sistema radicular profundo, ya que puede ser lixiviado y almacenado más abajo en el subsuelo. En suelos con condiciones extremas de bajo pH es posible que se acumule NH_4 más allá de lo normal (Barker y Pilbeam 2007), como ocurrió en bosques de PF, debido a que probablemente se inhibió la nitrificación o se promovió la mineralización.

Con frecuencia en Colombia la restauración se ha iniciado en respuesta a procesos de abandono (Etter *et al.* 2006). MMP2 obtuvo la mejor calificación respecto al grado de recuperación (Figura 2), a consecuencia de su pH más alto, favorable CIC y bajo % Sat. Al^{+3} . Los bosques de referencia del PF no muestran aún propiedades edáficas favorables, por dos razones: (i) su inusual concentración de Al, y (ii) baja tasa de descomposición de hojarasca en comparación con otros bosques naturales y robledales (León *et al.* 2011). Ello explica sus bajos valores de CIC, en contraste con bosques en proceso de recuperación aún no dominados por *Q. humboldtii*. Los bosques de la MM no estuvieron tan distantes de los de PF, sobre todo

MMB2 de PFB2, lo que indica su cercanía a los ecosistemas de referencia del PF. El desarrollo óptimo de esta especie requiere: $\text{Ca}^{+2} > \text{K}^{+} > \text{Mg}^{+2}$ (Sepúlveda *et al.* 2014). Aunque crece en diferentes tipos de suelos, prospera mejor en aquellos con una capa gruesa de humus y relativamente sueltos (Devia y Arenas 2000, Botrel *et al.* 2002).

En Colombia históricamente la restauración activa se ha implementado para recuperar fuentes hídricas o conectar bosques (Murcia y Guariguata 2014). Este trabajo comparte esos motivos y, consecuentemente, estableció el potencial de restauración activa: potreros de MM > PF (Figura 3). Sobre todo MMP2, considerado mejor sitio para iniciar restauración activa, es apropiado para establecer nuevos individuos. Los potreros de MM han mostrado un mejor proceso de restauración pasiva en menor tiempo que los del PF, lo que puede deberse a: (i) usos previos menos intensivos en MM o (ii) características propias de suelos, como textura dominada por arenas en PF.

CONCLUSIONES

Las diferencias entre suelos de bosques y potreros de las dos RNSC no pueden atribuirse únicamente a la cobertura, pero es posible inferir su influencia, dado que en topografía y clima no difieren considerablemente. La Dr se comportó como se esperaba, así como CIC y %MO (excepto en suelos de MMP2), en contraste con pH y contenido de Al^{+3} . El primero fue muy bajo y el segundo muy alto en todos los bosques, respecto a potreros. En general los valores de concentración de Al^{+3} y la acidez fueron inusualmente altos en la mayoría de sitios muestreados, donde una estrategia de tratamiento, la selección de especies tolerantes, aumento del pH o reducción de valores % Sat. Al^{+3} promoverá el establecimiento y el desarrollo de individuos nuevos.

De acuerdo con la calidad de las propiedades edáficas para el desarrollo de las plantas, se pueden ordenar los sitios como: MMP2, PFB1, PFB2, MMB2, MMB1, MMP1, PFP2 y PFP1. Contrario a lo esperado, el potencial de restauración de potreros de MM > PF.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Reynaldo Díaz y Daniel Díaz de la RNSC “La Montaña Mágica-El Poleo”, a Milton Rueda de la RNSC “El Páramo-La Floresta”, por permitirnos desarrollar este estudio en las reservas, a Josué Rueda, Andrés Rueda, Estefanía Ruíz e integrantes del Semillero en Conservación y Restauración de Ecosistemas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, por su apoyo en campo.

REFERENCIAS

- ACEVEDO-SANDOVAL O, VALERA-PÉREZ MA, PRIETO-GARCÍA F (2010) Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia* 26(2): 137-150.
- ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL ZAPATOCA (2012) Acuerdo No. 007 Por el cual se adopta el plan de desarrollo del municipio de Zapatoca para el período 2012 – 2015 “Unidos por Zapatoca”.
- BARKER AV, PILBEAM DJ (2007) *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Florida. 632 p.
- BENTON J (2012) *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*, 2ª Ed. CRC. Press 304 p.
- BERG B, MEENTEMEYER V (2001) Litterfall in European pine and spruce forests as related to climate. *Can. J. Forest. Res.* 31: 292-301.
- BOCKHEIM JG, SCHLIEMANN SA (2014) Soil richness and endemism across an environmental transition zone in Wisconsin. *Catena* 113: 86-94.
- BOTREL RT, OLIVEIRA AD, RODRIGUES LA, CURI N (2002) Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. *Rev. Bras. Bot.* 25(2): 195-213.
- BOY J, WILCKE W (2008) Tropical Andean forest derives calcium and magnesium from Saharan dust. *Global Biogeochem. Cy.* 22(1).
- BRUIJNZEEL LA (2004) Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agr. Ecosyst. Environ.* 104(1): 185-228.
- CARVAJAL FM (2007) Estructura y composición florística de un bosque de roble *Quercus humboldtii* Bonpl. en la Reserva Natural “El Páramo-La Floresta”, Parque Nacional Serranía de los Yariquíes, Santander, Colombia. Monogr. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 58 p.
- CASIERRAS F, AGUILAR O (2007) Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Rev. Col. Cien. Hort.* 1(2): 246-257.
- CERÓN P, MONTENEGRO S, NOGUERA E (2008) Macrofauna en suelos de Bosque y Pajonal de la reserva natural Pueblo Viejo, Nariño, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 32(125), 447.
- CHACÓN-VINTIMILLA G, GAGNON D, PARÉ D, PROLUX D (2003) Impacto de la deforestación, pastizales, plantaciones de Eucalipto y Pino en suelos de bosque montano alto, en la Sierra Sur del Ecuador. *Revista de Investigaciones de la Universidad del Azuay* 11: 19-34.
- CHAPIN III FS, MATSON PA, VITOUSEK P (2011) *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer Science & Business Media. 529 p.
- CHINCHILLA M, ALVARADO A, MATA R (2011) Factores formadores y distribución de suelos de la subcuenca del río Pirris, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 33-57.
- COBO-DÍAZ JF (2014) Análisis del metabolismo procariótico del nitrógeno en la rizosfera de quercíneas del Espacio Protegido de Sierra Nevada mediante técnicas moleculares y metagenómicas. Tesis doctoral. Universidad de Granada, España. 231 p.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER (CAS), CORPORACIÓN AUTÓNOMA PARA LA DEFENSA DE BUCARAMANGA (CDMB); INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC) (2003) Estudio general de suelos y zonificación de tierras Departamento de Santander, Colombia. Monografía.
- COSENTINO DJ, PECORARI C (2002) Limos de baja densidad: impacto sobre el comportamiento físico de los suelos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* 20(1): 9-16.
- CRUZ-RUIZ E, CRUZ-RUIZ A, AGUILERA-GÓMEZ LI, NORMAN-MONDRAGÓN HT, VELÁSQUEZ RA, NAVA-BERNAL G, REYES-

- REYES BG (2012) Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana* 30(2): 189-197.
- DEVIA C, ARENAS H (2000) Evaluación del estatus ecosistémico y de manejo de los bosques de fagáceas (*Quercus humboldtii* y *Trigonobalanus excelsa*) en el norte de la Cordillera Oriental (Cundinamarca, Santander y Boyacá). p. 63-77. En: CÁRDENAS F (ed.), *Desarrollo Sostenible en los Andes de Colombia* (Provincias de Norte, Gutiérrez y Valderrama) Boyacá, Colombia. IDEADE, Bogotá: Universidad Javeriana con el apoyo de la Unión Europea.
- DEXTER AR (2004) Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 201 – 214
- DÍAZ-MAROTO IJ, VILA-LAMEIRO P, VIZOSO-ARRIBE O (2013) Nutritional analysis of natural oak forests in Galicia in relation to soil properties. *Spanish Journal of Rural Development* 4(3).
- DÍAZ M (2008) Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguies plan de manejo. Unidad de Parques Nacionales Naturales, Patrimonio Natural Fondo Biodiversidad y Áreas Protegidas 38-39.
- DÍAZ-R DM, CARO AF, VÉLEZ-MARTÍNEZ Y, MARTÍN-PÉREZ A, CUERVO AM, POLANÍA J (En preparación) Potencial de restauración de robledales (*Quercus humboldtii* Bonpl.) en una reserva de la Serranía de los Yariguies.
- DOERR SH, SHAKESBY RA, WALSH RP (2000) Soil water repellency, its characteristics, causes and hydro-geomorphological consequences. *Earth-Science Rev.* 51: 33-65.
- DONEGAN TM, HUERTAS B (2005) Threatened species of Serranía de los Yariguies: final report. Colombian EBA Project Report Series, 5.
- DOROTA D, DÖRNER J, BECKER-FAZEKAS O, HORN R (2008) Effect of bulk density on hydraulic properties of homogenized and structured soils. *RC Suelo Nutr. Veg.* 8(1): 1-13.
- ETTER A, MCALPINE C, PULLAR D, POSSINGHAM, H (2006) Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *J. Environ. Manag.* 79:74-87.
- FAGERIA NK (2009) *The use of the nutrients in crop plants.* New York: FL. CRC Press. 430 p.
- GALINDO R, BETANCUR J, CADENA JJ (2003) Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del santuario de flora y fauna Guanentá-Alto río Fonce, Cordillera Oriental colombiana. *Caldasia* 25: 313-335.
- GRUPO DE INVESTIGACIÓN SOBRE DESARROLLO REGIONAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (GIDROT) Santander 2030 (2011) Diagnóstico dimensión biofísico ambiental territorial de Santander. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- HAGEN-THORN A, CALLESEN I, ARMOLAITIS K, & NIHLGARD B (2004). The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest. Ecol. Manag.* 195(3): 373-384.
- HAVLIN J, TISDALE S, WERNER L, BEATON J (2014) *Soil fertility and fertilizers, an introduction to nutrient management.* 8ª Ed. USA. 516 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC) (2012) Mapa de suelos de Colombia. Subdirección de Agrología Proyecto SIGA, Bogotá.
- JARAMILLO DF, ANAYA ML, RESTREPO CA, GONZÁLEZ HA, ÁLVAREZ F (2011) Variables físicas que explican la variabilidad de suelo aluvial y su comportamiento espacial. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 46(12): 1707-1715.
- KIDD PS, PROCTOR J (2000) Effects of aluminium on the growth and mineral composition of *Betula pendula* Roth. *J. Exp. Bot.* 51(347): 1057-1066.
- LEÓN JD, GONZÁLEZ MI, GALLARDO JF (2011) Ciclos biogeoquímicos en bosques naturales y plantaciones de coníferas en ecosistemas de alta montaña de Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 59(4): 1883-1894.
- LEÓN JD, VÉLEZ G, YEPES AP (2009) Estructura y composición florística de tres robledales en la región norte de la Cordillera Central de Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 57(4): 1165- 1182.
- LÓPEZ SA, RETAMOSO HH (2005) Estudio de prefactibilidad técnica para el trazado de la carretera por el cañón del chicamocha, como parte integral del corredor vial Bucaramanga-

- llanos orientales. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia.
- MAHECHA L (2009) El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Rev. Col. Cienc. Pecuarias* 15(2): 226-231.
- MARTÍNEZ E, FUENTES JP, ACEVEDO E (2008) Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Rev. Cienc. Suelo. Nutr. Veg.* 8(1): 68-96.
- MERECÍ JV, SUQUI AM (2014) Efecto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Zhuruca. *Monog. Universidad de Cuenca. Ecuador.* 146 p.
- MÚNERA G (2014) El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 11-24.
- MURCIA C, GUARIGUATA MR (2014) La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales CIFOR 107. Bogor, Indonesia.
- MURCIA C, KATTAN GH, ANDRADE-PÉREZ GI (2013) Conserving biodiversity in a complex biological and social setting: The case of Colombia. 86-96. En: N. S. Sodhi, L. Gibson, y P. H. Raven (eds.) *Conservation Biology: Voices from the Tropics.* John Wiley & Sons, Ltd. EE.UU.
- OBANDO H, TOBASURA I (2012) Evaluación de la calidad del suelo por medio de indicadores locales en sistemas de agricultura de conservación en zona de ladera. *Suelos Ecuat.* 42 (1): 28-34.
- PARZYCH A, TROJANOWSKI J (2006) Precipitation and duff fall as natural sources of nitrogen and phosphorus for forest soils in the Słowiński National Park. *Baltic Coastal Zone J. of Ecol. Protec. Coast.* 10: 47-59.
- PORRAS EM, GALVÁN LC, MARTÍN JM, PALOMARES AT, GARCÍA-MARES RT (2008) Influencia del dosel arbóreo en las características químicas del suelo. Análisis comparativo de suelo bajo robledales, hayedos y pinares. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 25: 287-298.
- POTTHAST K, HAMER U, MAKESCHIN F (2012) Land-use change in a tropical mountain rainforest region of southern Ecuador affects soil microorganisms and nutrient cycling. *Biogeochemistry* 111(1-3): 151-167.
- QUICHIMBO P, TENORIO G, BORJA P, CÁRDENAS I, CRESPO P, CÉLLERI R (2012) Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al Sur del Ecuador. *Suelos Ecuat.* 2(42): 138-153.
- RAMÍREZ JA, ZAPATA CM, LEÓN JD, GONZÁLEZ MI (2007) Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia* 32(5): 303-311.
- RODAS F (2006) Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L.F.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en petén, Guatemala. Tesis MSc Agroforestería tropical. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- ROMERO N, RÍOS M, BARRIOS L (2004) Caracterización química de los suelos en los tramos alto y medio de la cuenca del río Maracay, estado Aragua, con fines didácticos. *Paradigma* 1: 177-198.
- RUCKS L, GARCÍA F, KAPLÁN A, PONCE DE LEÓN J, HILL M (2004) *Propiedades Físicas del Suelo.* Universidad de la República, Montevideo. Uruguay. 68 p.
- SÁNCHEZ LH, PELÁEZ JD (2005) Masa total y contenido de nutrientes en raíces finas de ecosistemas forestales (*Pinus patula* Schldtl y *Cham Cupressus lusitanica* Mill y *Quercus humboldtii* Bonpl.) de Piedras Blancas, Antioquia-Colombia. *Rev. Fac. Nac. Agron.* 58(2): 2007-2930.
- SÁNCHEZ B, RUIZ M, RÍOS M (2005) Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Trop.* 55(4): 507-534.
- SÁNCHEZ-CUERVO AM, AIDE TM, CLARK ML, ETTER A (2012) Land cover change in Colombia: surprising forest recovery trends between 2001 and 2010. *PLoS ONE* 7:e43943.
- SEPÚLVEDA YL, DÍEZ MC, MORENO FH, LEÓN JD, OSORIO NW (2014) Efectos de la iluminación relativa y la fertilización sobre el crecimiento de plántulas de roble andino en vivero. *Acta Biol. Col.* 19(2): 211-220.

- SIAVOSH S, RIVERA JM, GÓMEZ ME (2000) Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".
- TAFUR LE, VARÓN JV, PATIÑO JG (2014) Caracterización física, química y mineralógica de suelos con vocación forestal protectora, región andina central colombiana. Rev. Fac. Nac. Agron. 67(2): 7335-7343.
- VELÁSQUEZ E, LAVELLE P, BARRIOS E, JOFFRE R, REVERSAT F (2005) Evaluating soil quality in tropical agroecosystems of Colombia using NIRS. Soil Biol. Biochem. 37(5): 889-898.