

## Caracterización Física, Química y Mineralógica de Suelos con Vocación Forestal Protectora, Región Andina Central Colombiana

Physical, Chemical and Mineralogical Characterization of Soils with a Protective Forest Vocation, Central Andean Region of Colombia

Leyder Echeverri Tafur<sup>1</sup>; Jaime Vicente Estévez Varón<sup>2</sup> y Juan Guillermo Bedoya Patiño<sup>3</sup>

**Resumen.** En la Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, ubicada sobre la vertiente occidental de la cordillera central colombiana, municipios de Manizales y Villamaría, departamento de Caldas, se hizo la caracterización física, química y mineralógica de dos perfiles de suelos, descritos sobre dos laderas, con un manejo actual correspondiente a una plantación de aliso (*Alnus acuminata*) y un bosque secundario. Los resultados permitieron establecer, desde el punto de vista físico, el dominio de clase textural arena francosa en la plantación de aliso y franco arenoso en el bosque secundario. Químicamente el suelo del perfil plantado con aliso, presentó valores de pH más bajos, mayor saturación de acidez intercambiable y menor saturación de bases en comparación con el perfil del bosque secundario. En ambos perfiles, el análisis óptico con microscopio petrográfico, permitió observar que los feldespatos, del grupo de las plagioclasas y el vidrio volcánico, se destacan como minerales abundantes en la fracción arena; mientras que en la fracción arcilla, el material no cristalino, se considera mineral predominante, seguido de la cristobalita y los feldespatos, según la metodología de difracción de rayos X. Se concluye que la vocación de uso forestal protector, bajo el cual se encuentran sometidos ambos suelos, es el más adecuado, teniendo en cuenta que las limitaciones químicas, dificultan el establecimiento de sistemas de producción agropecuaria.

**Palabras clave:** Plantación de aliso, bosque secundario, suelos volcánicos, manejo sostenible de suelo.

**Abstract.** The physical, chemical and mineralogical characterization of two soil profiles on two slopes, with a management currently corresponding to an Andean alder plantation (*Alnus acuminata*) and a secondary forest, was carried out at the Protective Forest Reserve of the CHEC. This reserve is located on the western slope of the Central Mountain Range of the Colombian Andes, in the municipalities of Manizales and Villamaria, Caldas department. The results established a dominance of the sandy - loam textural class in the alder plantation, and the loamy-sand class in the secondary forest. Chemically, the soil profile of the alder plantation presented lower pH values, a higher saturation of exchangeable acidity, and a lower saturation of bases in comparison to the secondary forest's soil profile. In both profiles, the optical analysis by petrographic microscopy determined that feldspars, as a part of the plagioclase and volcanic glass group, stand out as abundant minerals in the sandy fraction. Meanwhile, in the clay fraction, the non-crystalline material is considered a predominant mineral, followed by cristobalite and feldspars, according to X-ray diffraction methods. The vocational protective forest use on both sites is the most adequate, taking into account that chemical limitations hinder the establishment of agricultural production systems.

**Key words:** Andean alder plantation, secondary forest, volcanic soils, sustainable soil management.

La región andina en Colombia ha sido el soporte del desarrollo económico del país, dando lugar al crecimiento demográfico, la demanda de recursos naturales y la expansión de la frontera agrícola, generando una serie de trastornos sobre los ecosistemas, expresados primordialmente en cambios en la cobertura vegetal de los suelos (Rudas *et al.*, 2007). Situación que ha originado una gran presión especialmente sobre las áreas boscosas, destacándose los bosques del piso montano, ubicados entre los 2.000 y 3.000 msnm en las laderas de las cordilleras andinas (Cuesta *et al.*, 2009), como uno de los más afectados.

En estos bosques, se ha dado lugar a una fuerte regresión y el posterior reemplazo por plantaciones forestales de rápido crecimiento, mediante el establecimiento de especies exóticas y nativas (Lentijo y Kattan, 2005; Ramírez *et al.*, 2007). Asimismo, se presenta la sucesión vegetal secundaria, definida como un proceso ecológico por el cual se recupera la cobertura boscosa en lugares que anteriormente estuvieron sometidos a algún tipo de perturbación natural o antrópica (Yepes *et al.*, 2010).

Como ejemplo, en la vertiente occidental de la cordillera central colombiana, departamento de Caldas, se

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo. Universidad de Caldas - Facultad de Ciencias Agropecuarias - Grupo de Investigación SOSANDINOS. A.A. 275. Manizales. <leydere@gmail.com>

<sup>2</sup> Profesor Asistente. Universidad de Caldas - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Departamento de Ciencias Biológicas. A.A. 275. Manizales. <jaime.estevez@ucaldas.edu.co>

<sup>3</sup> Ingeniero Agrónomo. Universidad de Caldas - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Grupo de Investigación en Ecosistemas Tropicales. A.A. 275. Manizales. <jguillermobedoya@gmail.com>

Recibido: Mayo 09 de 2013; aceptado: Noviembre 01 de 2013.

doi: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44175>



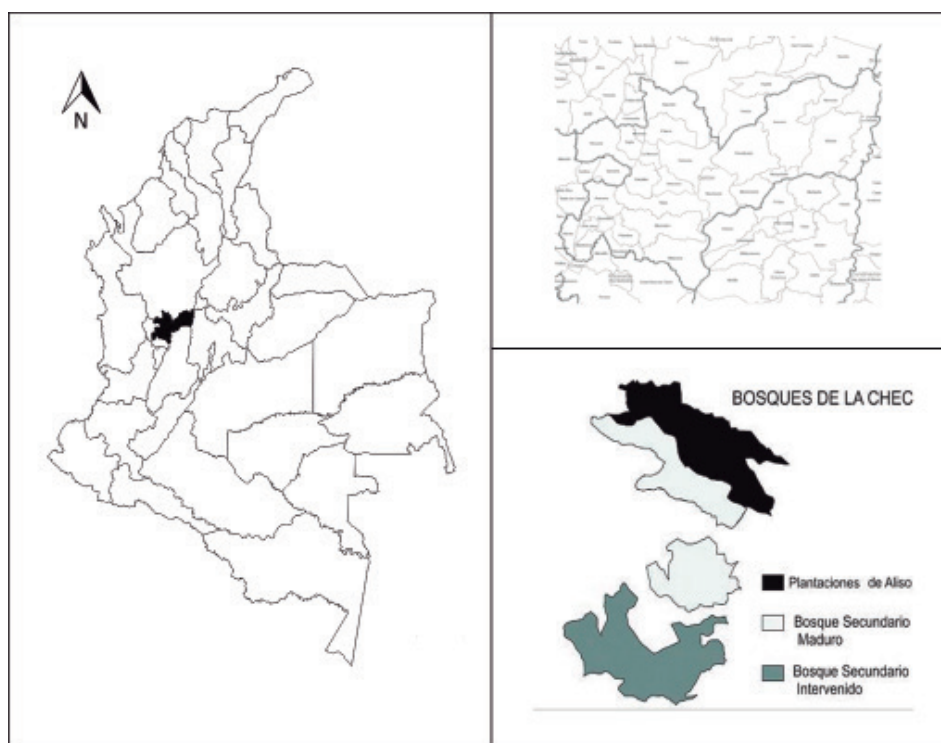
puede citar el establecimiento de la Reserva Forestal Protectora Bosques de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC), la cual en un período de más de 40 años, ha crecido con las sucesivas adquisiciones de predios, configurándose en una matriz de bosques mixtos, albergando una vasta área de bosque nativo y secundario, que ha ganado terreno y espacio donde el dosel arbóreo es uniespecífico, con especies cultivadas como aliso (*Alnus acuminata*), urapán (*Fraxinus chinensis*), ciprés (*Cupressus lusitanica*), pino (*Pinus* spp.) y eucalipto (*Eucalyptus* sp.) (Álvarez *et al.*, 2007). El uso del suelo en la reserva, se considera de interés ambiental, debido a la importancia desde el punto de vista del recurso hídrico, cobertura boscosa y conservación de flora y fauna (Alcaldía de Manizales, 2007). Los suelos son derivados de cenizas volcánicas, altamente permeables, permitiendo la alta infiltración y acumulación de aguas lluvias, condiciones que hacen de la reserva, una zona de alta susceptibilidad a los deslizamientos y erosión hídrica (CORPOCALDAS, 2002).

El objetivo de la investigación fue realizar la caracterización física, química y mineralógica, de dos

perfiles representativos ubicados en una plantación de aliso y un bosque secundario al interior de la Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, región andina central colombiana, departamento de Caldas, con el fin de establecer las limitaciones y potencialidades que conlleven al manejo apropiado del recurso suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** La investigación se llevó a cabo en dos laderas intermedias, contenidas dentro de un gran paisaje correspondiente a relieve montañoso volcánico – erosional (Serrato, 2009), ubicadas al interior de la Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC (Figura 1), propiedad de la CHEC, establecida mediante la adquisición de predios en la década de los años 50 con el fin de proteger la cuenca del río Chinchiná como fuente generadora de energía eléctrica (Ospina, 2002) y declarada por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, como área natural protegida de carácter departamental, mediante el acuerdo 009 de julio 2 de 2002 (CORPOCALDAS, 2002).



**Figura 1.** Ubicación de la Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, departamento de Caldas, región andina central colombiana.

El área protegida cubre una extensión aproximada de 3.893 ha, en un rango altitudinal comprendido entre los 2.400 y 4.000 m, con ecosistemas de bosques alto andinos y sub páramos en conservación, formando parte de la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados y del corredor biológico integrado por las reservas forestales Río Blanco, Torre IV y La Fe (CHEC, 2008). La reserva se encuentra ubicada sobre la vertiente occidental de la cordillera central colombiana (04°52'30"N, 75°24'00"W), parte alta de la subcuenca hidrográfica andina del río Chinchiná, jurisdicción de los municipios de

Manizales y Villamaría, departamento de Caldas (Roncancio y Estévez, 2007).

**Sitios de estudio.** La primera ladera media (Figura 2), se ubica sobre un paisaje fisiográfico correspondiente a manto de piroclastos (Serrato, 2009), aproximadamente a 12 km sobre la vía que comunica a Manizales con la ciudad de Bogotá D.C., vereda Gallinazo, municipio de Villamaría, con uso forestal protector dominado por una plantación de aliso, espacialmente distribuido a distancias de 6 x 6 m entre fustes y caracterizado por un dosel entre 20 – 30 m (Roncancio y Estévez, 2007).



**Figura 2.** Paisaje fisiográfico correspondiente a relieve montañoso volcánico – erosional. A la izquierda, ladera sobre la cual se ubica la plantación de aliso (*Alnus acuminata*). A la derecha, cumulo – domo, sobre el cual se ubica el bosque secundario. Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, departamento de Caldas, región andina central colombiana.

La segunda ladera media, se encuentra ubicada sobre un paisaje fisiográfico correspondiente a un cumulo - domo (Serrato, 2009), a una distancia aproximada de 9,5 km sobre la vía anteriormente citada, vereda La Esperanza, corregimiento Río Blanco, municipio de Manizales, con uso forestal protector correspondiente a un bosque secundario, el cual presenta un bajo nivel de disturbio desde el año 1968, sobre una pendiente fuerte a muy fuerte (31 – 70%), con diferentes estratos de vegetación (Roncancio y Estévez, 2007).

Ambas laderas están localizadas a una altitud de 2.640 m. Los suelos corresponden a la unidad cartográfica denominada Asociación Villamaría – Santa Isabel, la cual está conformada por suelos de los conjuntos Villamaría (*Umbric Vitrandepts*) en un 50%, originados a partir de capas de arenas volcánicas y

Santa Isabel (*Hydric Dystrandeps*) en un 40%, formados a partir de cenizas volcánicas (IGAC, 2004).

Desde el punto de vista climático, ambos sitios presentan una distribución bimodal de precipitación, con un máximo de lluvia en los meses de abril y octubre con 270 mm y 300 mm respectivamente, una media anual de 2.266 mm (período 1996 – 2012), según datos suministrados por la CHEC, responsable de la operación de la estación pluviométrica El Cedral Sabinas (código 6-9073, par de coordenadas planas origen Bogotá X: 1048112.32 Y: 851983.70), ubicada sobre la corriente hídrica del río Chinchiná, municipio de Manizales, en inmediaciones de la reserva.

**Descripción de perfiles.** Sobre cada ladera, se consideró un área de 1 ha, correspondiente al espacio delimitado por 8 parcelas de 50 x 25 m, utilizadas

previamente en la investigación realizada por Ramos (2010). La descripción de cada perfil representativo, se hizo por medio de una calicata (1,0 m de ancho x 1,50 m de largo y 1,50 m de profundidad). El perfil denominado PA, se encuentra ubicado al interior de la plantación de aliso, mientras que el perfil PBS, se localiza al interior del bosque secundario. La caracterización y registro en campo, de los atributos de cada perfil descrito, se fundamentó en criterios de la FAO (2009). La designación de horizontes, se basó en las Claves para la Taxonomía de Suelos (USDA, 2010).

**Caracterización de suelos.** En cada horizonte, se tomó una muestra de 0,5 kg de suelo. La caracterización química y física se realizó con la determinación de: capacidad de intercambio catiónico, textura, pH, contenido de calcio, magnesio, potasio, sodio, fósforo y aluminio de cambio, saturación de bases y carbón orgánico. Para el horizonte

A, se elaboraron los análisis mineralógico de arcillas (difracción de rayos x) y mineralogía óptica de arenas - fracción entre 50 y 250  $\mu$  de diámetro.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presentan los resultados de la caracterización en campo de los dos perfiles representativos PA y PBS, mencionados. Ambos suelos se han desarrollado bajo condiciones similares de precipitación, altura, paisaje (laderas intermedias) y vocación de uso (forestal - protector), lo cual se ve reflejado en una morfología relativamente uniforme de los perfiles, presentando una secuencia de horizontes O, A, B, con límites claro, gradual y difuso y una topografía ondulada.

El color negro se presentó en los horizontes Oe y A, mientras que en los horizontes B, el color correspondió

**Tabla 1.** Caracterización en campo de dos perfiles representativos (PA y PBS). Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, departamento de Caldas, región andina central colombiana.

| PA             |                |            |         |            |                        |                         |        |            |
|----------------|----------------|------------|---------|------------|------------------------|-------------------------|--------|------------|
| Horizonte      | Profundidad cm | Color*     | Textura | Estructura | Consistencia en húmedo | Adhesividad Plasticidad | Límite | Topografía |
| O <sub>1</sub> | 00 – 03        | -          | -       | -          | -                      | -                       | -      | -          |
| Oe             | 03 – 06        | 5 YR 2.5/1 | FLA     | SBFMST     | FR                     | SST / SPL               | C      | W          |
| A1             | 06 – 12        | 10 R 2.5/2 | AF      | ABMCST     | LO                     | SST / NPL               | G      | W          |
| A2             | 12 – 40        | 10 R 2.5/1 | FA      | SBMCMO     | VFR                    | SST / SPL               | D      | W          |
| B1             | 40 – 98        | 2.5 Y 3/2  | AF      | ABFMWE     | LO                     | SST / SPL               | D      | W          |
| B2             | 98 – X         | 2.5 Y 3/3  | FA      | SBMCST     | FR                     | SST / NPL               | D      | W          |

**Observaciones:** Presencia de toba volcánica (2 mm - 2 cm de diámetro) poca grava fina y media sub-redondeados, intemperizado; color pardo amarillento claro (2.5 Y 6/3).

| PBS            |                |            |         |            |                        |                         |        |            |
|----------------|----------------|------------|---------|------------|------------------------|-------------------------|--------|------------|
| Horizonte      | Profundidad cm | Color*     | Textura | Estructura | Consistencia en húmedo | Adhesividad Plasticidad | Límite | Topografía |
| O <sub>1</sub> | 00 – 04        | -          | -       | -          | -                      | -                       | -      | -          |
| Oe             | 04 – 12        | 10 YR 2/1  | F       | SBFMST     | FR                     | SST / SPL               | G      | W          |
| A              | 12 – 40        | 10 R 2.5/1 | F       | SBMCST     | FR                     | SST / NPL               | D      | W          |
| B1             | 40 – 58        | 10 YR 3/3  | FA      | SBFMMO     | VFR                    | NST / NPL               | D      | W          |
| B2             | 58 – 89        | 2.5 Y 3/2  | AF      | GRFMWE     | LO                     | NST / NPL               | D      | W          |
| B3             | 89 – 132       | 2.5 Y 3/3  | FL      | SBMCST     | FR                     | SST / NPL               | D      | W          |

**Observaciones:** Lapilli a partir de los 132 cm. Presencia de toba volcánica en los horizontes A (2 mm - 2 cm de diámetro) muy poca grava fina y media sub-redondeados, intemperizado; B1 (2 mm de diámetro) muy poca grava fina sub-redondeados, intemperizado y B3 (2 mm a 1 cm de diámetro) muy poca grava fina y media su-redondeados, intemperizado; color pardo amarillento claro (2.5 Y 6/3).

**Color\*** descrito con la Tabla Munsell. **Textura:** (F: Franca, A: Arena y L: Limo). **Estructura:** Tipo (AB: Bloques angulares, SB: Bloques sub-angulares, GR: Granular), **Clase (FM: Fino a medio, MC: Medio a grueso), Grado (WE: Débil, MO: Moderado, ST: Fuerte). Consistencia en húmedo: (LO: Suelto, VFR: Muy friable, FR: Friable). Adhesividad (NST: No adherente, SST: Ligeramente adherente). Plasticidad (NPL: No plástico, SPL: Ligeramente plástico). Límite (C: Claro, G: Gradual, D: Difuso). Topografía (W: Ondulado). Caracterización realizada en base a las clasificaciones propuestas por la FAO (2009).**

al pardo. El horizonte A1 del PA, mostró un color rojo muy oscuro (10 R 2,5/2), posiblemente asociado a los nódulos que se encuentran en la raíz de las plantas de aliso, como consecuencia de la simbiosis con un actinomiceto del género *Frankia*, posiblemente la especie *alnii*, capaces de fijar el nitrógeno atmosférico. Los nódulos forman grupos hasta de 6 cm de diámetro y se concentran en los primeros cinco centímetros del suelo. Entre los componentes químicos de estos nódulos se halla un glicósido de color amarillo rojizo, capaz de inhibir el crecimiento de hongos patógenos (Ospina *et al.*, 2005).

Con respecto a la textura determinada en campo, en ambos perfiles se apreció un dominio de la clase textural franca

en combinación con las clases limo y arena. La estructura dominante es del tipo bloques sub-angulares, clases de tamaño combinada fino a medio, medio a grueso, grado débil, moderado y fuerte. La consistencia de la masa del suelo en húmedo, varía entre suelta, friable y muy friable. La adhesividad varió entre no adherente y ligeramente adherente. La plasticidad en el PBS, se caracterizó por la clase no plástica a través del perfil, excepto el horizonte Oe, en el cual el suelo es ligeramente plástico. En el PA, la plasticidad se calificó entre no plástica y ligeramente plástica.

La Tabla 2, resume los resultados de la caracterización física y química. Desde el punto de vista físico, el contenido de arena en ambos perfiles, supera el 70%,

**Tabla 2.** Propiedades físicas y químicas en dos perfiles representativos (PA y PBS). Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, departamento de Caldas, región andina central colombiana.

| Horizonte  | Profundidad<br>cm | Granulometría (%)                                       |      |      | Clase<br>Textural | pH<br>1:1 | Al<br>cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> | SAI<br>(%)               | CO<br>(%) |
|------------|-------------------|---|------|------|-------------------|-----------|--|--------------------------|-----------|
|            |                   | A   | L    | Ar   |                   |           |  |                          |           |
| <b>PA</b>  |                   |   |      |      |                   |           |  |                          |           |
| Oe         | 03 - 06           | 77,6  | 18,3 | 4,1  | AF*               | 4,2       | 0,8  | 31,6                     | 4,0       |
| A1         | 06 - 12           | 76,7  | 16,9 | 6,4  | AF*               | 3,8       | 3,0  | 20,7                     | 20,8      |
| A2         | 12 - 40           | 75,4  | 22,5 | 2,1  | AF*               | 4,9       | 4,9  | 23,4                     | 5,4       |
| B1         | 40 - 98           | 81,2  | 14,6 | 4,2  | AF*               | 4,6       | 1,6  | 11,3                     | 12,6      |
| B2         | 98 - X            | 71,5  | 20,3 | 8,2  | FA*               | 4,3       | 3,2  | 78,2                     | 3,8       |
| <b>PBS</b> |                   |   |      |      |                   |           |  |                          |           |
| Oe         | 04 - 12           | 71,4  | 24,5 | 4,1  | FA*               | 4,6       | 1,3  | 26,3                     | 3,8       |
| A          | 12 - 40           | 71,6  | 24,3 | 4,1  | FA*               | 5,7       | -  | -                        | 2,6       |
| B1         | 40 - 58           | 77,4  | 18,5 | 4,1  | FA*               | 6,2       | -  | -                        | 5,1       |
| B2         | 58 - 89           | 73,6  | 20,3 | 6,1  | FA*               | 5,8       | -  | -                        | 2,7       |
| B3         | 89 - 132          | 81,5  | 16,4 | 2,1  | FA*               | 6,3       | -  | -                        | 5,2       |
| Horizonte  | CIC               | Complejo de cambio cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> |      |      |                   | BT        | SB<br>(%)                                  | P<br>mg kg <sup>-1</sup> |           |
|            |                   | Ca  | Mg   | K    | Na                |           |  |                          |           |
| <b>PA</b>  |                   |   |      |      |                   |           |  |                          |           |
| Oe         | 16,5              | 1,3   | 0,34 | 0,07 | 0,09              | 1,8       | 10,6                                       | 16,7                     |           |
| A1         | 48,5              | 7,6   | 2,70 | 0,75 | 0,43              | 11,5      | 23,7                                       | 30,1                     |           |
| A2         | 24,0              | 4,0   | 0,83 | 0,07 | 0,04              | 4,9       | 20,5                                       | 12,4                     |           |
| B1         | 38,3              | 9,9   | 2,30 | 0,21 | 0,10              | 12,5      | 32,7                                       | 19,4                     |           |
| B2         | 15,7              | 0,52  | 0,17 | 0,07 | 0,13              | 0,9       | 5,7  | 15,1                     |           |
| <b>PBS</b> |                   |   |      |      |                   |           |  |                          |           |
| Oe         | 16,1              | 2,5   | 0,62 | 0,08 | 0,42              | 3,6       | 22,6                                       | 17,2                     |           |
| A          | 13,6              | 6,9   | 1,3  | 0,09 | 0,04              | 8,3       | 61,3                                       | 12,9                     |           |
| B1         | 21,8              | 2,4   | 3,8  | 0,30 | 0,02              | 6,5       | 29,8                                       | 11,6                     |           |
| B2         | 13,2              | 8,7   | 1,3  | 0,09 | 0,05              | 10,1      | 76,5                                       | 19,4                     |           |
| B3         | 24,8              | 20,9  | 3,7  | 0,31 | 0,11              | 25,0      | SAT**                                      | 13,5                     |           |

Textura (A – arena, L – limo, Ar – arcilla, F – franco); acidez intercambiable **AI**; carbono orgánico **CO**; capacidad de intercambio catiónico **CIC**, bases intercambiables **Ca, Mg, K y Na**; fósforo **P**.

\* La muestra no dispersó apropiadamente, el porcentaje de arcilla puede ser mayor.

\*\* SAT (Saturado).



seguido por el limo y menor presencia de la fracción arcilla (<10%). La clase textural areno francosa predomina en el PA, mientras que en el PBS, la textura franco arenosa es característica. El pH en el PA, presenta un rango que varía entre 3,8 (extremadamente ácido) y 4,9 (muy fuertemente ácido), valores más bajos a los registrados en el PBS, con un rango entre 4,6 (muy fuertemente ácido) y 6,3 (ligeramente ácido). El aluminio intercambiable, presente en todos los horizontes del PA, se considera muy alto > 0,8 cmol (+) kg<sup>-1</sup>. Asimismo, se determinó una alta saturación de acidez intercambiable (SAI), en los primeros 40 cm del perfil, con valores entre 20,7 y 31,6%, considerado limitante para especies moderadamente tolerantes. El contenido de materia orgánica, se considera media

a alta, en el PA, a diferencia del PBS, en el cual se clasifica entre baja a media. La saturación de bases en el PBS se clasifica entre baja y alta, mientras que en el PA, se considera baja en todo los horizontes (<35%). En ambos perfiles, se observa media a alta capacidad de intercambio catiónico, bajo a alto contenido de bases intercambiables y bajo a medio contenido de P disponible para las plantas. La relación Ca/Mg en ambos perfiles, demostró una relación ideal de 2 – 4 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, lo que indica un contenido adecuado de ambas bases en el suelo. A diferencia de la relación Ca/K, que indicó deficiencia de K en el PBS, excepto en el horizonte B1, mientras que en el PA sólo se presenta deficiencia del elemento, en los horizontes A2 y B1 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Relaciones Ca/Mg y Ca/K en dos perfiles representativos (PA y PBS). Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, departamento de Caldas, región andina central colombiana.

| Horizonte  | Profundidad (cm) | Relación Ca/Mg*<br>cmol (+) kg <sup>-1</sup> | Relación Ca/K**<br>cmol (+) kg <sup>-1</sup> |
|------------|------------------|--|--|
| <b>PA</b>  |                  |  |  |
| Oe         | 03 - 06          | 3,8  | 18,6   |
| A1         | 06 - 12          | 2,8  | 10,1   |
| A2         | 12 - 40          | 4,8  | 57,0   |
| B1         | 40 - 98          | 4,3  | 47,1   |
| B2         | 98 - X           | 3,1  | 7,4  |
| <b>PBS</b> |                  |  |  |
| Oe         | 04 - 12          | 4,0  | 31,2   |
| A          | 12 - 40          | 5,3  | 77,0   |
| B1         | 40 - 58          | 0,6  | 8,0  |
| B2         | 58 - 89          | 6,7  | 97,0   |
| B3         | 89 - 132         | 5,6  | 67,0   |

\* Relación Ca/Mg ideal: 2 – 4 cmol (+).kg<sup>-1</sup>

\*\* Deficiencia de K, cuando la relación Ca:K es > 30 cmol (+) kg<sup>-1</sup>

Los resultados concuerdan con la información reportada por Cavelier y Santos (1999), en suelos bajo plantación de aliso y regeneración natural. En los que encontraron que el suelo de la plantación de aliso, tenía pH más bajo 4,7 (muy fuertemente ácido), mientras que en el bosque de regeneración natural el pH era de 5,6 (medianamente ácido). La saturación de bases se consideró alta en el bosque de regeneración natural y baja en la plantación de aliso. La baja disponibilidad de P y una saturación de bases < 20%, no deben considerarse muy bajas si de plantaciones forestales se trata. Desde el punto de vista de la fertilidad, estos suelos se pueden calificar como de fertilidad media,

especialmente cuando se trata de especies como el aliso, los cuales presentan nódulos de actinomicetos y micorrizas que le ayudan en la captación del nitrógeno y el fósforo respectivamente (Del Valle y González, 1988).

De otro lado, en la mineralogía de la fracción arena (Tabla 4), se destacan los feldespatos y el vidrio volcánico como minerales abundantes (>30%), seguido por la hornblenda y los fragmentos de toba como minerales comunes y en menor proporción (<5%) se encuentran la hiperstena, la lamprobolita, la magnetita y los fitolitos. Este último registrado solo en el PA.

**Tabla 4.** Composición mineralógica de la fracción arena en dos perfiles representativos (PA y PBS). Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, departamento de Caldas, región andina central colombiana.

| Perfil | Horizonte      | Profundidad<br>cm | Minerales (%) |            |            |                       |                     |              |           |                        |
|--------|----------------|-------------------|---------------|------------|------------|-----------------------|---------------------|--------------|-----------|------------------------|
|        |                |                   | Feldespatos   | Hornblenda | Hiperstena | Fragmentos<br>de toba | Vidrio<br>volcánico | Lamprobolita | Magnetita | Fitolitos <sup>1</sup> |
| PA     | A <sub>1</sub> | 06 – 12           | 35            | 15         | 5          | 10                    | 32                  | 1            | 1         | 1                      |
| PBS    | A              | 12 – 40           | 40            | 13         | 2          | 12                    | 28                  | 1            | 4         | ---                    |

<sup>1</sup> Sílice opalina de síntesis en el parénquima de las plantas por precipitación y solidificación de la sílice coloidal inmersa en el metabolismo vegetal.

Los fragmentos de toba son granos conformados por una matriz vítrea que embebe, en diferente proporción, microlitos minerales. La hornblenda e hiperstena se encuentran como granos prismáticos, la mayoría recubiertos por vidrio volcánico. La lamprobolita se denomina al vidrio volcánico y que es típico y por eso se toma como mineral índice, de materiales piroclásticos. Los feldespatos del grupo de las plagioclasas, se encuentran en granos prismáticos aplanados, gran parte con aspecto zonal y recubiertos por vidrio volcánico. Un alto porcentaje de la magnetita detectada se encuentra recubierta con vidrio volcánico. El vidrio volcánico en su mayor parte se encuentra como película o cutícula que recubre a feldespatos, anfíboles, piroxenos y magnetita; muy poco ocurre como unidad vítrea independiente.

La composición mineralógica de la fracción arena, concuerda con investigaciones realizadas en suelos derivados de cenizas volcánicas de la región andina

colombiana, los cuales resaltan el vidrio volcánico y feldespatos ácidos (plagioclasas) como minerales dominantes (Luna, 1972; Malagón *et al.*, 1992). En algunos suelos, los componentes cristalinos de la fracción arena, incluyen plagioclasas, cuarzo y vermiculita entre los minerales ligeros y piroxenos, hornblenda, anfíbol sódico, magnetita y apatita, entre los pesados. Los componentes no cristalinos, son vidrio volcánico, material amorfo pedogenético y fitolitos (Franzmeier y Cortes, 1972).

En la mineralogía de la fracción arcilla (Tabla 5), se destaca el material no cristalino, probablemente aluminosilicatos hidratados amorfos (alófana), como mineral dominante en el PA y abundante en el PBS, seguido por la cristobalita y los feldespatos. La bohemita sólo se detectó en el PBS y se considera mineral común. Los integrados 2:1 – 2:2 corresponde a arcillas 2:1 (vermiculita o montmorillonita) con pequeñas y aisladas capas octaédricas (pilares) de hidroxialúmina en el espacio interlamina.

**Tabla 5.** Composición mineralógica semicuantitativa de la fracción arcilla en dos perfiles representativos (PA y PBS). Reserva Forestal Protectora Bosques de la CHEC, departamento de Caldas, región andina central colombiana.

| Perfil | Horizonte      | Profundidad<br>cm | Feldespatos | Cristobalita | Bohemita | Material no<br>cristalino | Integrados 2:1 - 2:2 |
|--------|----------------|-------------------|-------------|--------------|----------|---------------------------|----------------------|
| PA     | A <sub>1</sub> | 06 – 12           | +           | +            | +        | ++++                      | tr                   |
| PBS    | A              | 12 – 40           | +           | ++           | ++       | +++                       | +                    |

++++ DOMINANTE (>50%); +++ ABUNDANTE (30-50%); ++ COMUN (15-30%); + PRESENTE (5-15%); tr TRAZAS (<5%)

La composición mineralógica de la fracción arcilla, es similar a lo reportado por el IGAC (2004), para la Consociación Santa Isabel, destacándose el material no cristalino, como mineral dominante (>50%), seguido por trazas (<5%) de cristobalita, integrados 2:1 – 2:2 y minerales interestratificados. De igual manera, otras investigaciones desarrolladas

en suelos derivados de cenizas volcánicas en la región andina colombiana, resaltan los materiales no cristalinos como mineral dominante de la fracción arcilla, asociado con minerales cristalinos como los integrados, además de minerales primarios como los feldespatos y anfíboles (Franzmeier y Cortes, 1972; Luna, 1972; Malagón *et al.*, 1992).

## CONCLUSIONES

Se pudieron establecer diferencias entre el perfil de la plantación de aliso y el perfil del bosque secundario, pese a que ambos suelos se han desarrollado bajo condiciones similares de precipitación, altura, paisaje (laderas intermedias) y vocación de uso (forestal - protector). Esta situación podría asociarse a la génesis de los suelos, considerando que la geología del perfil del bosque secundario, corresponde a lavas andesíticas, mostrando una geoforma característica de domo.

El material parental son rocas ígneas intrusivas que dan origen a suelos poco profundos, de textura variable y ligeramente ácidos; mientras que el material parental del suelo en la plantación de aliso, corresponde a depósitos superficiales de arenas y cenizas volcánicas, dando lugar a suelos superficiales, bien drenados, de texturas gruesas, ácidos y con un contenido medio de materia orgánica.

Es necesario resaltar la importancia de considerar especies nativas como el aliso al momento de definir planes de reforestación en suelos con limitaciones químicas, como las reportadas en el estudio (pH ácidos, toxicidad por aluminio, baja saturación de bases, deficiencia de K y con bajo contenido de P asimilable para las plantas).

Las relaciones simbióticas que esta especie establece tanto con actinomicetos como con micorrizas, le permiten la fijación de nitrógeno atmosférico y la asimilación de nutrientes, especialmente el fósforo, facilitando la adaptación y el desarrollo en condiciones de suelos de ladera altoandinos, degradados y de baja fertilidad.

La vocación de uso forestal protector, bajo el cual se encuentran sometidos los suelos estudiados, se considera la más apropiada, debido a que las limitaciones químicas reportadas, dificultan el establecimiento de sistemas de producción agropecuaria; más aún, teniendo en cuenta la importancia desde el punto de vista ambiental, que cumple la reserva en el entorno regional, tanto para la regulación hídrica como para la preservación de fauna y flora.

## AGRADECIMIENTOS

A la Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC S.A. E.S.P por permitir la realización de la investigación al

interior de la reserva. Este artículo, es un producto del Proyecto Código VIP 0373709 "Composición del banco de semillas del suelo y su relación con la vegetación presente en una plantación de aliso (*Alnus acuminata*) y un bosque secundario de la misma edad en Manizales, Colombia", financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas.

## BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Manizales. 2007. Capítulo 1. Suelo. pp. 1-86. En: Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales. Diagnóstico Integral del Territorio. Área rural. Manizales. 209 p.

Álvarez, L.M., D. Sanín, N.F. Alzate, N. Castaño, J.C. Mancera y G. González. 2007. Plantas de la región Centro – Sur de Caldas – Colombia. Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados, Universidad de Caldas, Manizales. 528 p.

Cavelier, J. y C. Santos. 1999. Efectos de plantaciones abandonadas de especies exóticas y nativas sobre la regeneración natural de un bosque montano en Colombia. *Revista de Biología Tropical* 47(4): 775-784.

Central Hidroeléctrica de Caldas. 2008. Informe anual de gestión. CHEC S.A, E.S.P, Manizales. 158 p.

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas). 2002. Acuerdo No. 009. De Julio 2 de 2002. Por el cual se declara como Reserva Forestal Protectora los Bosques de la CHEC. Corpocaldas, Manizales. 4 p.

Cuesta, F., M. Peralvo y N. Valarezo. 2009. Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático. Serie Investigación y Sistematización No. 5. Programa Regional ECOBONA – Intercooperation, Quito. 41 p.

Del Valle, J. y H. González. 1988. Rendimiento y crecimiento del cerezo (*Alnus jorullensis*) en la región central andina, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 61(1): 61-91.

Franzmeier, D. y A. Cortes. 1972. Climosecuencia de suelos derivados de cenizas volcánicas en la cordillera central de Colombia. pp. 139-152. En: Memorias.



- II Panel sobre Suelos Volcánicos de América. Universidad de Nariño, IICA, OEA, Pasto. 497 p.
- Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO). 2009. Guidelines for soil description. Fourth edition. FAO, Roma. 111 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Caldas. IGAC, Bogotá D.C. CD-ROM.
- Lentijo, G. y G. Kattan. 2005. Estratificación vertical de las aves en una plantación monoespecífica y en bosque nativo en la cordillera central de Colombia. *Ornitología Colombiana* 3: 51-61.
- Luna, C. 1972. Caracterización físico química de algunos suelos volcánicos del departamento del Cauca (Colombia). pp. 279 - 294. En: Memorias. II Panel sobre Suelos Volcánicos de América. Universidad de Nariño, IICA, OEA, Pasto. 497 p.
- Malagón, D., C. Pulido y R. Llinás. 1992. Génesis y taxonomía de los andisoles colombianos. *Revista Suelos Ecuatoriales* 22(1): 50-68.
- Ospina, O. 2002. Diseño de un corredor biológico como componente básico de la ecología del paisaje en la conservación de agroecosistemas locales. Tesis Magister en Agroecología. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, Manizales. 292 p.
- Ospina, C. M., R.J. Hernández, D.E. Gómez, J.A. Godoy, F.A. Aristizábal, J.N. Patiño y J.A. Medina. 2005. El aliso o cerezo *Alnus acuminata* H.B.K. ssp. *acuminata*. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. FNC – Cenicafé, Chinchiná. 37 p.
- Ramírez, J.A., C.M. Zapata, J.D. León y M.I. González. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia* 32(5): 303-311.
- Ramos, F.A.. 2010. Estructura y composición florística de un bosque secundario y una plantación de aliso (*Alnus acuminata*) en los andes centrales colombianos. Trabajo de grado. Programa de Biología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Caldas. Manizales. 14 p.
- Roncancio, N. y J. Estévez. 2007. Evaluación del ensamblaje de murciélagos en áreas sometidas a regeneración natural y a restauración ecológica por medio de plantaciones de aliso. *Boletín Científico - Centro de Museos - Museo de Historia Natural* 11: 131-143.
- Rudas G., D. Marcelo, D. Armenteras, N. Rodríguez, M. Morales, L.C. Delgado y A. Sarmiento. 2007. Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá D.C. 128 p.
- Serrato, P.K. 2009. Clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales. *Perspectiva Geográfica* 14(1): 181-218.
- United States Department of Agriculture (USDA). Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11th ed. USDA - Natural Resources Conservation Service, Washington DC. 339 p.
- Yepes, A., J. Del Valle, S. Jaramillo y S. Orrego. 2010. Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 58(1): 427-445.

