

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE SAN FÉLIX, DEPARTAMENTO DE CALDAS

Daniel F. Jaramillo J.¹

RESUMEN

En 5 perfiles de suelos derivados de piroclastos de la secuencia El Cedral, en el altiplano de San Félix, Municipio de Salamina (Caldas), se estudiaron las propiedades ándicas y espódicas de sus materiales, con el fin de clasificarlos taxonómicamente según el sistema del USDA (Soil Survey Staff, SSS, 1998), con ayuda de la propuesta de ajuste de Shoji et al (1996).

Ninguno de los suelos cumple todos los requisitos para materiales espódicos o ándicos pero por sus características fueron clasificados en el orden Andisol; sus propiedades químicas los ubicaron en el subgrupo Acrudoxic de los grandes grupos Fulvudand (3 de 5 perfiles) y Hapludand, familia medial isomésica.

Se sugiere incluir en la clasificación del subgrupo, la partícula Thaptic para resaltar la presencia de un horizonte Ab, cuando el límite superior de éste se presente dentro de los 100 cm superiores del suelo, aún si no cumple estrictamente los requerimientos de color.

En algunos perfiles se detectaron procesos incipientes de eluviación - iluviación de complejos órgano - minerales que pueden llegar a producir podzolización o acumulación de Fe cerca a la superficie del terreno.

ABSTRACT

In five (5) ash volcanic soils of the "El Cedral" sequence, on the San Félix plateau, Salamina town, were studied yours andic and spodic properties, for classification in the USDA taxonomic system (SSS, 1998), with help of proposed revisions of Shoji et al (1996).

None soils presents completely the requirements for andic or spodic materials, however their characteristics, were classified in the Acrudoxic Fulvudand or Acrudoxic Hapludand subgroup of the Andisol order (three of the five profiles), medial isomesic family.

¹ Profesor Titular Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. ICNE A.A. 3840. Medellín.

At the subgroup class must to be included the Thaptic particle for soils with Ab horizon within 100 cm from the mineral soil surface, with or without the color. Some profiles show evidence of eluviation-iluviation process of organo-metalic complexes that can produce podzolization or accumulation of Fe near soil surface.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los Andisoles comprende un conjunto de procesos definidos como andosolización, caracterizados por Ugolini y otros investigadores, citados por Shoji *et al* (1993), como la acumulación de Fe, Al y carbono orgánico disuelto, en el horizonte A, con poco lavado de estos componentes hacia el horizonte B, cuya formación está dominada por procesos de meteorización *in situ*.

El material parental más frecuente de los Andisoles, incluso en Colombia, lo constituyen los depósitos de piroclastos o tefras, aunque también pueden desarrollarse a partir de otros materiales volcánicos; cabe aclarar, que estos materiales litológicos no siempre dan origen a Andisoles.

Los Andisoles constituyen una clase de suelos que tienen una serie de características y propiedades muy particulares, originadas en la fracción coloidal que poseen; el USDA, en su sistema de clasificación de suelos (Soil Survey Staff, SSS, 1998), define el orden **Andisol** como:

“Suelos que tienen propiedades ándicas en 60% o más de alguno de los siguientes espesores:

1. *Dentro de 60 cm desde la superficie del suelo mineral o del tope de una capa orgánica con propiedades ándicas, la que esté más superficial, si no hay contacto denso, lítico o paralítico, duripán u horizonte petrocálcico dentro de ese espesor; o*
2. *Entre la superficie del suelo mineral o del tope de una capa orgánica con propiedades ándicas, la que esté más superficial, y un contacto denso, lítico o paralítico, un duripán o un horizonte petrocálcico”.*

Los materiales con propiedades ándicas en los suelos se caracterizan por poseer altos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de fijar fosfatos, baja densidad aparente y unos determinados contenidos de Al y de Fe extractables con oxalato ácido de amonio, que se relacionen con unos contenidos proporcionales de vidrio volcánico; estas propiedades las imprimen al suelo cantidades significativas de alofano, imogolita, ferrihidrita y/o complejos Al-humus y el SSS (1998) las define como sigue:

“Para que un material de suelos sea reconocido como poseedor de propiedades ándicas, debe contener menos de 25% (por peso) de carbono orgánico y cumplir uno o ambos de los siguientes grupos de requerimientos:

1. En la fracción tierra fina, todos los siguientes:
 - a. $[Al (\%) + \frac{1}{2} Fe (\%) \text{ (por oxalato ácido)}] > 2,0\%$, y
 - b. Una densidad aparente, medida a 33 kPa de retención de humedad, de $0,90 \text{ g cm}^{-3}$ o menos, y
 - c. Una retención de fosfatos de 85% o más, o
2. En la fracción tierra fina, una retención de fosfatos de 25% o más, 30% o más de partículas de diámetro entre 0,02 y 2,0 mm, y alguna de las siguientes:
 - a. $[Al (\%) + \frac{1}{2} Fe (\%) \text{ (por oxalato ácido)}] \geq 0,40\%$ y, en la fracción entre 0,02 y 2,0 mm, tener 30% o más de vidrio volcánico, o
 - b. $[Al (\%) + \frac{1}{2} Fe (\%) \text{ (por oxalato ácido)}] \geq 2,0\%$ y, en la fracción entre 0,02 y 2,0 mm, tener 5% o más de vidrio volcánico, o
 - c. $[Al (\%) + \frac{1}{2} Fe (\%) \text{ (por oxalato ácido)}]$ entre 0,40% y 2,0% y, en la fracción entre 0,02 y 2,0 mm, tener un contenido de vidrio volcánico proporcional entre 30% y 5% (según gráfica sumi-nistrada)".

Parfitt y Kimble (1989) encontraron que el alofano se forma a pH entre 5 y 7 a partir del vidrio y a pH alrededor de 5 a partir de feldspatos y/o biotita, en suelos bajo régimen údico y buen drenaje. Concluyeron que, se requieren valores de pH mayores a 4,7 para que se precipite alofano. En condiciones alcalinas (pH > 7,7), Farmer *et al* (1991) encontraron que se favorece la transformación de alofano en arcillas silicatadas

laminares, principalmente de tipo 2:1 ó 2:1:1.

Dahlgren *et al* (1991) encontraron que en suelos con pH < 5 y alto contenido de humus, se forman, preferencialmente, complejos humus Al, en lugar de que se produzca reacción del Al con el Si para formar aluminosilicatos de bajo rango de ordenamiento como alofano o imogolita. Ellos concluyeron que la formación de materiales alofánicos no es limitada por el suministro de Si sino por la disponibilidad del Al.

Shoji *et al* (1996) evaluaron algunos de los requerimientos propuestos por el sistema taxonómico japonés para definir horizontes y propiedades diagnósticos para los Andosoles (equivalente al Andisol del USDA), algunos de los cuales son los mismos que utiliza el sistema norteamericano.

En dicha revisión observaron que la retención de fosfatos mayor a 70% implicaba cambios en el manejo de la fertilidad del suelo, con respecto a los suelos cuya retención era menor a ese valor y que había una fuerte correlación entre el valor de 70% de fijación de fósforo con un contenido de $[Al (\%) + \frac{1}{2} Fe (\%) \text{ (por oxalato ácido)}] = 1,2\%$, por lo cual el valor de 2,0 propuesto por el USDA como límite para definir propiedades ándicas es alto, al igual que lo es la retención de fosfatos de 85% o más.

Con este trabajo se pretende establecer la clasificación taxonómica de los suelos derivados de piroclastos jóvenes de la secuencia El Cedral, ubicados en el

altiplano de San Félix, departamento de Caldas, las sugerencias hechas por Shoji *et al* (1996) como resultado de las evaluaciones que realizaron al sistema de clasificación de los Andosoles en el Japón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción de la zona.

La zona de estudio se ubica en el altiplano de San Félix, municipio de Salamina, departamento de Caldas, cerca al eje de la cordillera central colombiana, entre los 2780 y los 3200 m de altitud (Figura 1). Se caracteriza por presentar, como paisaje predominante, colinas redondeadas,

amplias, con pendientes desde fuertemente inclinadas ($\approx 12\%$) hasta muy escarpadas ($> 50\%$); se presentan algunas áreas pequeñas planas aluviales que también tienen recubrimiento de ceniza volcánica.

Las condiciones climáticas corresponden a la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), con temperatura promedio anual comprendida entre 12 y 18°C y precipitación media anual entre 2000 y 4000 mm; los suelos se han desarrollado depósitos espesos de piroclásticos y fueron clasificados como Hydric Dystrandept (López y Díaz, 1988).

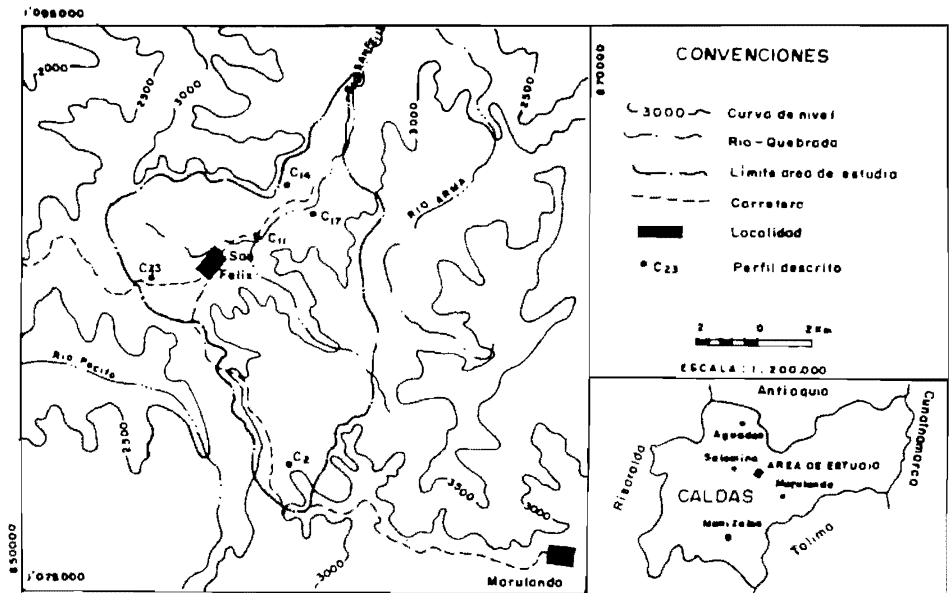


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

En la región estudiada el uso dominante de la tierra es la ganadería de leche extensiva, con potreros grandes de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en buen estado y con ganado Holstein o Normando; se presentan algunos cultivos de papa de poca extensión y en cercanías al casco urbano del corregimiento de San Félix; muy pocas áreas conservan vegetación natural boscosa.

METODOLOGÍA

Se seleccionaron cinco perfiles de suelos representativos de los suelos observados en 34 sitios del altiplano de San Félix, cuya ubicación se presenta en la Figura 1. Los suelos seleccionados fueron descritos y muestreados en campo, siguiendo las pautas del Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993).

En los recorridos preliminares se llevaron a cabo observaciones de control y se definió el tipo y espesor de los horizontes observados. Para establecer las características y propiedades diagnósticas exigidas en la clasificación de los suelos seleccionados se realizaron las siguientes determinaciones:

En campo: En cada horizonte se definió su espesor, color, textura, estructura y consistencia, (según SSDS, 1993).

En laboratorio: Se determinaron las siguientes propiedades:

Propiedades ándicas del USDA: Densidad aparente (Da) por el método del cilindro; contenidos de Fe y Al extractables con oxalato ácido de amonio (Feo

y Alo, respectivamente); fijación de fosfatos (FF) según Blakemore; contenido de carbono orgánico (CO) por Walkley y Black y contenido de vidrio volcánico mediante conteo de alrededor de 500 granos en microscopio petrográfico.

Además de las propiedades ándicas anteriores se determinaron otras propiedades relacionadas con el comportamiento ándico de los suelos, como: El pH en agua 1:1 V:V (pHa); el pH en NaF 1:50 (pHn); el contenido de Si extractable con oxalato ácido de amonio (Sio); los contenidos de Al y de Fe extractables con pirofosfato de sodio (Alp y Fep, respectivamente); el índice melánico (IM); la densidad óptica a 430 nm (ODO E) y el contenido de Al intercambiable (Al) por KCl; los métodos de análisis mencionados se describen en Motta *et al* (1990) y/o en ICA (1989).

Con la información obtenida de algunos de los análisis anteriores se hicieron las siguientes estimaciones, propuestas por Parfitt y colaboradores y descritas por Nanzzy *et al* (1993):

$$\text{Contenido de Alofano (\%)} = 7,1 \times \text{Sio}$$

$$\text{Contenido de Ferrihidrita (\%)} = 1,7 \times \text{Feo}$$

$$\text{Relación Al/Si} = \frac{\text{Alo} - \text{Alp}}{\text{Sio}}$$

$$\text{Relación } \frac{\text{Alp}}{\text{Alo}}$$

Mediante la caracterización realizada, los suelos se clasificaron en el sistema taxonómico de clasificación de suelos del USDA (SSS, 1998) y, además, esta clasificación fue evaluada con ayuda de la propuesta de clasificación presentada por Shoji *et al* (1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades generales de los suelos.
En la Tabla 1 se exponen las principales propiedades morfológicas de los suelos descritos en campo.

Tabla 1. Algunas características físicas* de los suelos derivados de las tefras de la secuencia El Cedral en el altiplano de San Félix, Salamina, Caldas.

Perfil, Altitud (msnm), Pendiente (%)	Horizonte	Textura	Estructura	Color**	Consistencia
C2 3175 12-25	Ap	FA	Mifm	10YR2/2	fnPnp
	2Ab	FA	bsafm	10YR2/2	FnPnp
	3Bwb	FA	Pfd	10YR3/4	FnPnp
	3BAb	FA	Pfd	10YR4/4 + 10YR3/3	FnPnp
	4Ab	FARa	PMm	N	FPp
C11 2795 25-50	Ap	FARa	bsaMm	5YR2,5/1	fiPlp
	2Ab	FARa	bsaFm	5YR2,5/1	fiPlp
	3Bwb	FARa	bsafm	10YR3/3	FPp
	3BAb	FARa	bsaMm	7,5YR2/0 + 10YR3/3	fiPlp
	4Ab	FARa	PMm	N	fiPlp
C14 2945 25-30	Ap	FARa	Mifm	10YR3/4	fiPlp
	2Ab	FARa	bsafm	10YR3/3	fPp
	3Bwb	FAR	bsafm	10YR4/4	fPp
	3BAb	FARa	bsafm	10YR3/3 + (30%) 10YR5/6	fiPlp
	4Ab	FAR	Pfm	5YR2,5/1 + (5%) 5YR5/8	fPp
C17 2790 12-25	Ap	FARa	MifF	N	fiPlp
	2Ab	FARa	bsafm	N	fiPlp
	3Bwb	FARa	Pfd	10YR4/4 + (5%) 10YR5/8	fiPlp
	3BAb	FARa	bsaMm	7,5YR3/2 + N	fiPlp
	4Ab	FAR	Pfd	N	fPp
C23 2885 12-25	Ap	FARa	Mifm	10YR2/2	fiPlp
	2Ab	FARa	Mifm	10YR3/4	fiPlp
	3Bwb	FARa	bsafm	10YR4/4	fiPlp
	3BAb	FARa	bsafm	10YR3/3 + 5YR2,5/1	fiPlp
	4Ab	F	bsafm	N	fiPlp

* Textura: **FA**: Franco-Arenosa. **FARa**: Franco-Arcillo-Arenosa. **FAR**: Franco-Arcillosa. **F**: Franca.
Estructura: **Mi**: Migajosa. **bsa**: Bloques subangulares. **P**: Prismas. **f**: Fina. **F**: Fuerte. **d**: Débil. **M**: Media.
m: Moderada. Consistencia: **f**: Friable. **F**: Firme. **I**: Ligeramente. **n**: No. **P**: plástico. **p**: pegajoso.

** Según Tabla Munsell; entre paréntesis cantidad de manchas; cuando hay dos colores sin cantidades equivale a mezcla

Todos los perfiles seleccionados tuvieron como material parental piroclastos de la secuencia El Cedral, descrita por Parra *et al* (1991); el régimen de humedad es údico y el de temperatura es isomésico; el relieve de la zona varía entre colinado (pendientes entre 12 y 25%) y escarpado (pendientes entre 25 y 50%); los suelos son bien drenados y de moderadamente a muy profundos.

Los suelos descritos presentan texturas medias, colores pardos dominantes con bajos valores de value y de chroma en los horizontes superficiales, buen desarrollo estructural y adecuadas condiciones físicas. Por las características morfológicas, en campo se definieron: epipedones úmbricos en los perfiles C2, C11, C17 y C23 y ócrico en el perfil C14.

En todos los perfiles se definieron endopedones cámbicos, compuestos por los horizontes 3Bwb y 3BAb; además, se definieron horizontes úmbricos enterrados (horizontes 4Ab) en los perfiles C11, C14 y C17; con ayuda de resultados de laboratorio se identificaron horizontes melánicos enterrados (horizontes 4Ab) en los perfiles C2 y C23.

Determinación del orden taxonómico.

En la clave taxonómica para el orden -SSS (1998) - se encuentra el Espodosol antes que el Andisol, razón por la cual se debe confirmar la presencia de materiales espódicos en los suelos estudiados.

Los materiales espódicos los define la taxonomía como:

“Materiales de suelos minerales que no cumplen todas las propiedades de un argílico o de un kándico; están dominados por material amorfo activo e iluvial, compuesto de materia orgánica y aluminio, con o sin hierro, y que tienen:

1. *Un pH en agua (1:1) de 5,9 o menos y un contenido de carbono orgánico de 0,6% o más; y*
2. *Una o más de las siguientes:*
 - a. *Un álbico superpuesto que se extiende horizontalmente en 50% o más de cada uno de los pedones y que tiene, directamente debajo del álbico, colores en húmedo como sigue:*
 - 1 *Hue de 5YR o más rojo; o*
 - 2 *Hue de 7,5 YR, value de 5 o menos y chroma de 4 o menos; o*
 - 3 *Hue de 10YR o neutro y value y chroma de 2 o menos; o*
 - 4 *Un color 10YR3/1; o*
 - b. *Uno de los colores anteriores o un hue de 7,5YR, value en húmedo de 5 o menos y chroma de 5 ó 6 y alguna de las siguientes:*
 - 1 *Cementación por materia orgánica y aluminio, con o sin hierro, en 50% o más de cada pedón y consistencia firme o muy firme en la parte cementada; o*
 - 2 *10% ó más de recubrimientos en granos de arena; o*
 - 3 *[Al (%) + ½ Fe (%) (por oxalato ácido)] ≥ 0,5% y la mitad o menos de este valor en un epipedón úmbrico (ó subhorizonte de él), un epipedón ócrico o un horizonte álbico, superpuesto; o*

4 *Un ODOE > 0,25 y un valor medio tan alto o menor en un epipedón úmbrico (o subhorizonte de él), un epipedón ócrico o un horizonte álbico, superpuesto*".

Para llevar a cabo la evaluación de los materiales espódicos se tuvieron en cuenta los parámetros que se encuentran cuantificados en la Tabla 2. Es de anotar que en campo no se observaron rasgos morfológicos que permitieran definir la presencia de procesos de eluviación -

iluviación, ni horizontes álbico o espódico, ni cementación, ni cutanes, por lo cual en campo no se clasificó ninguno de los suelos estudiados dentro del orden Espodosol.

En la Tabla 2 se observa que todos los horizontes cumplen ampliamente con el requisito del contenido de carbono orgánico, en tanto que los demás requerimientos son llenados por algunos pocos horizontes, sin poderse establecer un patrón definido para su comportamiento.

Tabla 2. Propiedades relacionadas con la presencia de materiales espódicos en los suelos derivados de piroclastos de la secuencia El Cedral en el altiplano de San Félix, Salamina, Caldas.

PERFIL	HORIZONTE	pHa	Alp (%)	Fep (%)	Alo+1/2 Fec (%)	CO (%)	HUE	VALUE	CHROMA	ODOE
C2	Ap	5,5	0,35	0,35	0,6	8,0	10YR	2	2	0,89
	2Ab	5,6	0,34	0,40	1,1	4,8	10YR	2	2	0,61
	3Bwb	6,1	0,15	0,15	1,5	2,8	10YR	3	4	0,27
	3BAb	6,4	0,15	0,11	1,5	2,3	10YR	4-3	4-3	0,26
	4Ab	6,4	0,39	0,46	2,0	5,5	N	-	-	0,78
C11	Ap	5,7	0,41	0,34	1,3	8,7	5YR	2,5	1	0,85
	2Ab	5,7	0,37	0,42	1,4	7,5	5YR	2,5	1	0,78
	3Bwb	5,8	0,30	0,36	2,2	5,0	10YR	3	3	0,48
	3BAb	5,8	0,19	0,18	1,8	4,4	7,5YR	2-3	0-3	0,45
	4Ab	5,7	0,28	0,26	2,1	5,5	N	-	-	0,71
C14	Ap	5,3	0,35	0,41	1,0	6,1	10YR	3	4	0,44
	2Ab	5,5	0,20	0,30	1,3	4,5	10YR	3	3	0,41
	3Bwb	5,9	0,22	0,27	2,0	3,0	10YR	4	4	0,34
	3BAb	5,7	0,28	0,28	2,6	3,1	10YR	3	3	0,41
	4Ab	6,0	0,28	0,27	1,7	4,1	5YR	2,5	1	0,24
C17	Ap	5,6	0,39	0,37	1,1	7,3	N	-	-	0,50
	2Ab	5,6	0,35	0,38	1,2	5,8	N	-	-	0,48
	3Bwb	6,1	0,11	0,08	1,6	2,3	10YR	4	4	0,24
	3BAb	6,1	0,15	0,09	1,6	2,6	7,5YR	3	2	0,45
	4Ab	6,4	0,30	0,28	2,7	6,2	N	-	-	0,13
C23	Ap	5,6	0,34	0,30	1,1	10,4	10YR	2	2	0,43
	2Ab	5,5	0,38	0,35	1,5	7,3	10YR	3	4	0,49
	3Bwb	6,1	0,18	0,13	2,1	3,9	10YR	4	4	0,30
	3BAb	6,4	0,10	0,03	1,9	2,2	10YR	3-2,5	3-1	0,23
	4Ab	6,0	0,38	0,30	2,7	6,3	N	-	-	0,85

En los perfiles C2 y C11 no se presenta ninguna evidencia de procesos de iluviación y definitivamente cumplen con pocos requisitos para ser considerados como materiales espódicos. En los demás perfiles se presentan indicios de iluviación en alguna parte del perfil, los cuales se analizan a continuación.

En el perfil C14, en el horizonte 3BAb se advierten incrementos en los valores de CO, Alp, Fep, $(Alo + \frac{1}{2} Feo)$ y ODOE, así como un oscurecimiento en su color, en relación con las propiedades del horizonte 3Bwb; a pesar de lo anterior no se considera que los materiales de aquel horizonte cumplan los requerimientos para ser considerados como material espódico ya que no llenan el requisito de color ni cumplen con la proporción de $(Alo + \frac{1}{2} Feo)$ que debe haber entre los horizontes involucrados.

En el horizonte 3BAb del perfil C17 también se presentan incrementos en los valores de CO, Alp, Fep y ODOE, con respecto a los valores encontrados en el horizonte 3Bwb suprayacente; sin embargo, tampoco se considera que los materiales sean espódicos debido a que no cumplen con el requerimiento de la proporción de $(Alo + \frac{1}{2} Feo)$, con respecto al horizonte 3Bwb, ni tampoco se ajusta a los valores de pH establecidos para los materiales espódicos.

En el perfil C23, en el horizonte 2Ab hay incrementos en Alp, Fep y ODOE, con respecto a los valores del horizonte Ap, pero no se cumplen los requerimientos de color ni la relación de $(Alo + \frac{1}{2} Feo)$ para que sea considerado como un

horizonte compuesto por materiales espódicos; además, éste es el horizonte A de la segunda discontinuidad litológica y es lógico que por eso incrementa el contenido de complejos órgano-metálicos con respecto al horizonte superior.

Debido a las consideraciones anteriores, en ninguno de los perfiles estudiados se presentan horizontes que estén compuestos por materiales espódicos no se puede por lo tanto definir la presencia de horizontes espódicos en ninguno de ellos.

Varios autores han encontrado suelos derivados de piroclastos que han cumplido con los requerimientos para tener materiales espódicos y ándicos, resolviendo, finalmente, su clasificación con base en la presencia o ausencia de las características morfológicas típicas del Espodosol (secuencia álbico-espódico) para incluirlos en el orden Espodosol o en el Andisol, (Rourke *et al.*, 1988; Ping *et al.*, 1988; Ping *et al.*, 1989; Shoji *et al.*, 1993).

En atención a lo expuesto en el párrafo anterior, debido a la ausencia de la secuencia de horizontes álbico-espódico y al cumplimiento parcial de las propiedades de los materiales espódicos no se incluyó ninguno de los suelos estudiados en el orden Espodosol, aun cuando en algunos de ellos se están presentando procesos incipientes de eluviación-iluviación que pueden inducir podzolización y generar, en algún tiempo, Espodosoles.

Continuando con la observación de la

clave taxonómica de los órdenes (SSS, 1998), inmediatamente después de los Espodosoles se encuentran los Andisoles; se hace necesario entonces confirmar los requerimientos de este orden y

la presencia de las propiedades ándicas que lo caracterizan; al evaluar las propiedades ándicas de los suelos estudiados se obtuvieron los resultados de la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades ándicas de los suelos derivados de piroclastos de la secuencia El Cedral en el altiplano de San Félix, Salamina, Caldas.

PERFIL	HORIZONTE	CO (%)	Al _o + ½ Fe _o (%)	Da * (Mg m ⁻³)	FF (%)	VI-DRIO (%) **	ESPE-SOR (cm)
C2	Ap	8,0	0,6	0,60	92,6	5	24
	2Ab	4,8	1,1	0,73	100	3	46
	3Bwb	2,8	1,5	0,78	100	7	26
	3BAb	2,3	1,5	0,80	85,1	7	20
	4Ab	5,5	2,0	0,58	100	3	47
C11	Ap	8,7	1,3	0,64	99,7	-	21
	2Ab	7,5	1,4	0,58	100	-	22
	3Bwb	5,0	2,2	0,60	95,9	-	13
	3BAb	4,4	1,8	0,68	100	-	8
	4Ab	5,5	2,1	0,62	100	-	29
C14	Ap	6,1	1,0	0,62	95,0	7	12
	2Ab	4,5	1,3	0,63	98,5	3	29
	3Bwb	3,0	2,0	0,75	99,8	6	18
	3BAb	3,1	2,6	0,64	100	6	25
	4Ab	4,1	1,7	0,46	100	3	32
C17	Ap	7,3	1,1	< 0,9	98,5	7	14
	2Ab	5,8	1,2	< 0,9	100	4	30
	3Bwb	2,3	1,6	< 0,9	94,0	8	20
	3BAb	2,6	1,6	< 0,9	100	8	10
	4Ab	6,2	2,7	< 0,9	98,5	3	40
C23	Ap	10,4	1,1	0,50	98,5	7	14
	2Ab	7,3	1,5	0,51	99,2	5	14
	3Bwb	3,9	2,1	0,49	100	8	37
	3BAb	2,2	1,9	0,67	99,2	7	35
	4Ab	6,3	2,7	0,52	100	5	37

* En el perfil C17 no se determinó, se establece por lo observado en campo.

** En el perfil C11 no se determinó.

Todos los horizontes de los suelos descritos cumplen los requisitos de contenido de carbono orgánico, densidad aparente y retención de fosfatos, establecidos para los materiales ándicos; apenas los horizontes C2-4Ab, C11-3Bwb, C11-4Ab, C14-3Bwb, C14-3BAb, C17-4Ab, C23-3Bwb y C23-4Ab cumplen con la totalidad de los requisitos exigidos en el primer grupo de propiedades que define la taxonomía del USDA (SSS, 1998) para los materiales ándicos y solamente el horizonte C23-3BAb

cumple el requisito alternativo de la relación entre el contenido de vidrio y la suma ($Al_0 + \frac{1}{2} Fe_0$); se observa entonces que 9 horizontes de 25 pueden considerarse compuestos por materiales ándicos en el sentido estricto de la taxonomía; los demás horizontes cumplen 3 de los 4 requisitos establecidos para definir aquellos materiales. Adicionalmente, a las propiedades ándicas, se determinaron otras propiedades que ayudan a establecer el carácter de los suelos estudiados, cuyos valores se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Algunas propiedades relacionadas con características ándicas de los suelos derivados de piroclastos de la secuencia El Cedral en el altiplano de San Félix, Salamina, Caldas.

PERFIL	HORIZONTE	pHa	pHn	Al*	Alp/Al ₀	Al/Si	ALOFANO (%)	FERRIHI-DRITA(%)
C2	Ap	5,5	10,80	ND	0,946	0,154	0,92	0,7
	2Ab	5,6	11,41	ND	0,405	1,000	3,55	0,99
	3Bwb	6,1	11,22	ND	0,130	1,149	6,18	1,00
	3BAb	6,4	11,32	ND	0,136	1,011	6,67	1,33
	4Ab	6,4	11,32	ND	0,257	1,076	7,46	1,70
C11	Ap	5,7	11,09	ND	0,418	0,826	4,90	1,14
	2Ab	5,7	11,39	ND	0,343	1,014	4,97	1,16
	3Bwb	5,8	11,28	ND	0,192	1,145	7,81	2,06
	3BAb	5,8	11,53	ND	0,137	0,968	8,80	1,41
	4Ab	5,7	11,35	ND	0,170	1,007	9,59	1,43
C14	Ap	5,3	11,11	0,8	0,500	0,714	3,48	1,09
	2Ab	5,5	11,33	ND	0,213	1,027	5,11	1,36
	3Bwb	5,9	11,33	ND	0,156	1,000	8,45	1,97
	3BAb	5,7	11,31	ND	0,140	1,005	12,14	2,09
	4Ab	6,0	11,26	ND	0,202	1,009	7,74	1,16
C17	Ap	5,6	11,04	ND	0,527	0,729	3,41	1,05
	2Ab	5,6	11,35	ND	0,384	0,812	4,90	1,07
	3Bwb	6,1	11,18	ND	0,091	0,973	8,02	1,46
	3BAb	6,1	11,19	ND	0,118	1,098	7,24	1,11
	4Ab	5,4	11,46	0,5	0,141	1,188	10,93	1,92
C23	Ap	5,6	11,21	ND	0,382	0,917	4,26	0,85
	2Ab	5,5	11,60	ND	0,345	1,029	4,97	1,31
	3Bwb	6,1	11,33	ND	0,107	1,102	9,66	1,38
	3BAb	6,4	11,16	ND	0,064	1,050	9,94	1,26
	4Ab	6	11,35	ND	0,167	1,181	11,36	1,36

* cmol (+) kg⁻¹ de suelo. ND: No determinado por presentar, pH > 5.5.

Parfitt (1985) sostiene que los suelos con propiedades ándicas presentan baja densidad aparente, alta retención de fosfatos, alto contenido de Al extractable con oxalato ácido, alto contenido de carbono orgánico, alto valor de pH en NaF y bajo contenido de Al intercambiable; teniendo en cuenta lo anterior y con base en los resultados de las Tablas 3 y 4, haciendo caso omiso del contenido de $(Al_0 + \frac{1}{2} Fe_0)$, se puede decir que los suelos analizados presentan propiedades típicamente ándicas.

La taxonomía de suelos del USDA, en la definición del orden Andisol, establece que el suelo debe presentar propiedades ándicas en 60% o más del espesor de la sección control correspondiente. Para los suelos de este estudio, la sección control comprende los primeros 60 cm del suelo, medidos desde la superficie del terreno; ésto quiere decir que se deben presentar propiedades ándicas en un espesor acumulado mínimo de 36 cm, dentro de los primeros 60 cm de suelo, contados desde la superficie del terreno.

De los horizontes que cumplen todos los requisitos de los materiales ándicos, solamente los del perfil C23 acumulan el espesor necesario, dentro de la sección control, para que ese suelo sea clasificado como Andisol con toda solvencia; en los demás perfiles los horizontes ándicos están por fuera de la sección control y/o tienen espesores que no acumulan el tamaño requerido para incluirlos en dicho orden.

A pesar de las desviaciones anotadas anteriormente, los suelos estudiados se

pueden clasificar en el orden Andisol debido a que presentan varias propiedades inherentes al concepto central de estos suelos:

- Son derivados de cenizas volcánicas.
- Tienen alta retención de fosfatos.
- Tienen baja densidad aparente.
- Tienen cantidades importantes de materiales de bajo grado de ordenamiento como alofano, ferrihidrita y complejos humus-Al o Fe.
- Tienen horizontes superficiales con alto contenido de materia orgánica.
- Tienen pH en NaF mucho mayor a 9,4.

Adicionalmente a lo anotado en el párrafo anterior, Shoji *et al* (1996) evaluaron las propiedades utilizadas para definir horizontes ándicos en la taxonomía japonesa en 1463 horizontes, correspondientes a 260 pedones de suelos derivados de eyectos volcánicos y concluyeron que muchos de los requerimientos eran altos. Propusieron entonces ajustar los requerimientos para caracterizar los horizontes no vitrándicos, equivalentes a caracterizar las propiedades ándicas de la taxonomía del USDA, así:

“Un horizonte no vitrándico debe cumplir los siguientes requerimientos:

1. *Tener un espesor de 30 cm ó más, empezando dentro de los primeros 30 cm del suelo,*
2. *Tener $(Al_0 + \frac{1}{2} Fe_0) > 1,2 \%$,*
3. *Tener una retención de fosfatos $> 70 \%$, y*
 - a. *Para horizontes con $(Al_0 + \frac{1}{2} Fe_0) > 2,0 \%$, una densidad aparente menor de $0,9 Mg m^{-3}$, o*

b. *Para horizontes con (Alo + ½ Feo) que tengan valores entre 1,2 y 2,0%, un contenido de vidrio volcánico en la tierra fina mayor a 2% y proporcional (según gráfica suministrada por el autor de la propuesta), sin requerimiento de densidad aparente”.*

Con el apoyo de las recomendaciones de Shoji *et al* (1996), en la Tabla 3 se observa que todos los perfiles estudiados, exceptuando el C2, cumplen completamente con los requerimientos de las “nuevas” propiedades ándicas; el perfil C2 se encuentra tocando el límite del contenido de (Alo + ½ Feo) en el segundo horizonte y de éste en adelante no tiene ninguna desviación, pudiéndose considerar que, desde un punto de vista práctico, cumple con las propiedades ándicas.

Teniendo en cuenta lo discutido anteriormente, los suelos estudiados pueden clasificarse dentro del orden Andisol; observando en la Tabla 4 el comportamiento dominante de la relación Alp/Alo ($< 0,5$), el de la relación Al/Si (> 1) y el del pH ($> 5,0$), puede decirse que se trata de **Andisoles alofánicos** en la mayor parte del solum, con horizontes superficiales no alofánicos.

El contenido de alofano y de ferrihidrita a través del perfil presenta un comportamiento normal de incremento de aquellos materiales en profundidad, con los menores valores en el horizonte superficial, debido a la formación de complejos de Al con la materia orgánica. La formación de estos complejos en

aquel horizonte la evidencia la disminución que se produce, en profundidad, en el valor de la relación Alp/Alo.

Determinación de otras categorías taxonómicas. De acuerdo con las claves de clasificación de los Andisoles en otras categorías más bajas, todos los suelos analizados pertenecen al suborden Udands; para establecer la clasificación de los perfiles descritos hasta el nivel de subgrupo presentan los resultados de la Tabla 5; en la Tabla 2 se pueden observar los valores de value y chroma del color y en la Tabla 4 los del contenido de aluminio intercambiable (Al), para completar el grupo de propiedades diagnósticas utilizadas en éstas categorías del sistema taxonómico.

En la Tabla 5 se observa que solamente hay 3 horizontes que tienen índice melánico (IM) menor a 1,7, dos de los cuales corresponden a horizontes 4Ab y no pueden tomarse como epipedones melánicos; el otro horizonte (Ap del perfil C14), a pesar de cumplir el requisito del IM, no tiene ni el espesor ni el color exigidos para definirlo como epipedón melánico; la ausencia de éste epipedón descarta la clasificación de los suelos en el gran grupo Melanudands.

Al nivel de gran grupo, los perfiles C2, C11 y C17 llenan los requerimientos de color, contenido de carbono orgánico y espesor del epipedón para ser clasificados como fulvudands; los perfiles C14 y C23 no cumplen la exigencia de color y se clasifican como Hapludands.

En todos los perfiles estudiados se

presenta una CICE $< 2,0$ cmol (+) kg^{-1} de suelo, en un espesor de más de 30 cm, dentro de los 100 cm superiores del suelo, por lo cual, en los dos grandes grupos definidos el subgrupo estará afectado por el adjetivo Acrudoxic.

En los Fulvudands no está prevista la combinación de Acrudoxic con Thaptic

para destacar la presencia de horizontes A enterrados en los primeros 100 cm del suelo, como sí lo está en los Hapludands; sin embargo, en el perfil C14 no se cumple el requisito de color y en el C23 el de la posición, como para que el horizonte 4Ab afecte el subgrupo con la partícula Thaptic.

Tabla 5. Algunas propiedades químicas de Andisoles derivados de piroclastos de la secuencia El Cedral en el altiplano de San Félix, Salamina, Caldas.

PERFIL	HORIZONTE	ESPESOR (cm)	IM	CO (%)	CICE*
C2	Ap	24	1,97	8,0	3,40
	2Ab	46	1,89	4,8	1,90
	3Bwb	26	2,10	2,8	0,83
	3BAb	20	1,90	2,3	0,90
	4Ab	47	1,55	5,5	2,20
C11	Ap	21	1,81	8,7	3,50
	2Ab	22	1,88	7,5	1,40
	3Bwb	13	1,92	5,0	0,50
	3BAb	8	1,76	4,4	0,44
	4Ab	29	2,57	5,5	0,70
C14	Ap	12	1,60	6,1	1,80
	2Ab	29	2,66	4,5	1,20
	3Bwb	18	3,41	3,0	1,44
	3BAb	25	1,91	3,1	0,90
	4Ab	32	2,28	4,1	0,60
C17	Ap	14	1,86	7,3	3,70
	2Ab	30	1,84	5,8	2,20
	3Bwb	20	2,82	2,3	0,50
	3BAb	10	1,68	2,6	1,00
	4Ab	40	1,83	6,2	1,60
C23	Ap	14	2,26	10,4	4,70
	2Ab	14	2,66	7,3	2,20
	3Bwb	37	2,10	3,9	0,60
	3BAb	35	1,78	2,2	0,40
	4Ab	37	1,59	6,3	0,70

* cmol (+) kg^{-1} de suelo.

En sentido estricto, entonces, los perfiles C2, C11 y C17 se clasifican como **Acrudoxic Fulvudands**, en tanto que los perfiles C14 y C23 se clasifican como **Acrudoxic Hapludands**.

Desde un punto de vista más práctico, se debe considerar que la presencia de horizontes A enterrados (sobretudo el 4Ab) es un rasgo característico de los suelos desarrollados de los piroclastos de la secuencia El Cedral y que debe resaltarse en su clasificación taxonómica. Se podrían aceptar algunas desviaciones en los requerimientos de color exigidos en

las claves de los Hapludands para el subgrupo Thaptic y se debería incluir este subgrupo, con los ajustes planteados, en el gran grupo Fulvudands.

En los 34 sitios observados en campo estuvo presente un horizonte A enterrado (4Ab) con un espesor mayor a 10 cm y, como se aprecia en la Figura 2, en 22 de ellos, dicho horizonte tiene su límite superior antes de los 100 cm de profundidad dentro del perfil; solamente en 5 perfiles (14,71% de la muestra), el horizonte 4Ab empieza a desarrollarse a más de 120 cm de profundidad.

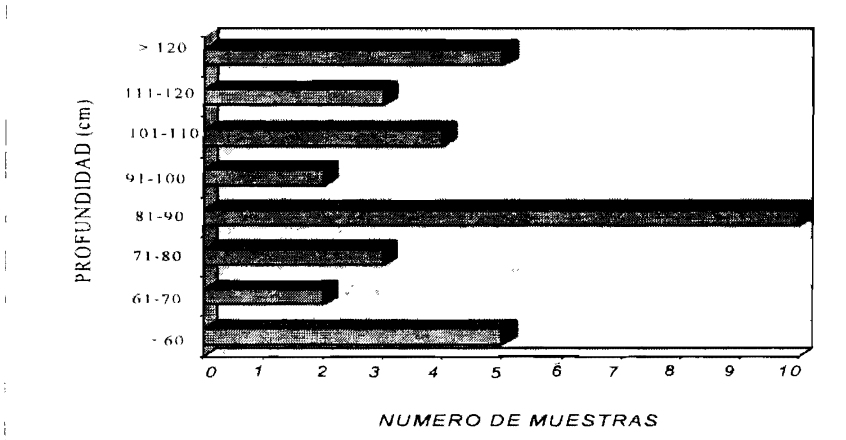


Figura 2. Distribución de la profundidad de ubicación del horizonte 4Ab dentro del perfil de los suelos derivados de piroclastos de la secuencia El Cedral, en el altiplano de San Félix, Salamina, Caldas.

Con base en la discusión anterior, se sugiere que en los suelos derivados de los piroclastos de la secuencia El Cedral sea reconocida la presencia de horizon-

tes A enterrados, adicionando a los subgrupos la partícula Thaptic, tanto en el gran grupo Hapludands como en el Fulvudands, a continuación del adjetivo

Acrudoxic, cuando dicho horizonte presente su límite superior en o por encima de 100 cm de profundidad en el perfil, aun cuando no se cumpla el requerimiento de color para epipedón mólico en él. Al nivel de familia, los 5 perfiles analizados llevan los adjetivos **medial isomésico**.

Otros aspectos relacionados con la génesis de estos andisoles. Adicionalmente a las posibilidades de que en algunos de los suelos estudiados se esté presentando un proceso de podzolización incipiente, la distribución de los complejos humus-Fe dentro de la mayoría de los perfiles muestra un incremento de ellos en el horizonte 2Ab, como puede comprobarse con los resultados expuestos en la Tabla 2 para Fep.

La acumulación de aquellos complejos órgano-metálicos puede llevar a la formación inicial de bandas de acumulación de hierro en el horizonte 2Ab, las cuales pueden evolucionar posteriormente hacia horizontes plácicos cerca de la superficie del suelo con los consiguientes problemas de manejo que ello implica.

En condiciones de campo no es perceptible el incremento mencionado para el horizonte 2Ab de los suelos de la secuencia El Cedral pero, la migración de Fe y la formación de horizontes plácicos sí es un proceso que se manifiesta frecuentemente en Andisoles desarrollados de otras secuencias de tefras en la zona trabajada, e inclusive se observa, en algunos sitios, en la base de la secuencia El Cedral.

Hechos como que la mayoría de los horizontes estudiados no presente cantidades importantes de aluminio extractable con oxalato ácido de amonio, que sólo un perfil cumpla los requerimientos de espesor de horizontes con propiedades ándicas en la sección control y que se presenten valores de pHa entre moderada y ligeramente ácidos, hacen suponer que los suelos estudiados tienen muy bajo grado de evolución, que son suelos jóvenes, al parecer porque el tiempo que llevan expuestos a la pedogénesis (<2500 años, según González *et al*, 1993), bajo las condiciones climáticas reinantes, no ha sido lo suficientemente largo como para producir cambios más dramáticos en ellos.

CONCLUSIÓN

Los suelos estudiados, en la mayoría de sus horizontes, no cumplen el requisito de contenido de $(A_0 + \frac{1}{2} Fe_0)$ para que sus materiales sean considerados como ándicos, según las exigencias del USDA; sin embargo, sí lo cumplen cuando se tienen en cuenta los límites propuestos por Shoji *et al* (1996).

Atendiendo las propuestas de Shoji y sus colaboradores y teniendo en cuenta que todas las otras propiedades de los materiales de los suelos se ajustan apropiadamente al concepto central de materiales ándicos, los suelos estudiados se clasificaron en el orden Andisol. Con base en el color, contenido de materia orgánica y espesor del epipedón, se definieron los grandes grupos Fulvudands (3 de 5 perfiles) y Hapludands.

Lá baja CICE ubicó los suelos en el subgrupo Acrudoxic . Se sugiere que en los suelos estudiados se pueda incluir la partícula Thaptic en todos los subgrupos para destacar la presencia de horizontes A enterrados cuyo límite superior esté dentro de los primeros 100 cm del suelo, aún cuando ellos no cumplan el requerimiento de color exigido por la taxonomía para el epipedón mólico.

Los suelos estudiados son jóvenes y, en algunos de ellos se está presentando un proceso incipiente de podzolización. En otros hay acumulación de complejos Humus-Fe, la cual puede conducir, con el tiempo, a la formación de horizontes plácicos cerca a la superficie del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- DAHLGREN, R. *et al.* Soil-forming processes in Alic Melanudands under Japanese pampas grass and oak. *En: Soil Science Society of America Journal*. Vol.55 (1991); p.1049-1056.
- FARMER, V. C. *et al.* Synthetic allophanes formed in calcareous environments: Nature, conditions of formation and transformations. *En: Soil Science Society of America Journal* Vol.55 (1991); p.1162-1166.
- GONZÁLEZ, L.H.; PARRA, L.N. y FLÓREZ, M.T.. Andisoles fósiles en el norte de Colombia. *En: Suelos Ecuatoriales*. Vol. 23 No.1 /2 (1993); p.31-44.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: ICA, 1989. 253p. (Manual de asistencia técnica No. 47).
- LÓPEZ, H.A. y DÍAZ, P.A.. Suelos departamento de Caldas. Tomo I. Bogotá: IGAC, 1988. 202 p.
- MOTTA, B. *et al.* Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 5ed. Bogotá: IGAC, 1990. 502 p.
- NANZYU, M.; DAHLGREN, R. y SHOJI, S. Chemical characteristics of volcanic ash soils. *In: Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization. Developments in soil science* 21. Amsterdam: Elsevier, 1993. p.145-187.
- PARFITT, R. The nature of andic and vitric materials. *In: Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop. Part 1: Papers*. Santiago de Chile: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1985. p.21-39.
- _____ y KIMBLE, J.M. Conditions for formation of allophane in soils. *En: Soil Science Society American Journal*. Vol.53 (1989); p.971-977.
- PARRA, L.N.; GONZÁLEZ, L.H. y FLÓREZ, M.T. Lito y pedoestratigrafía preliminar para las tefras del norte de la cordillera central colombiana. *En: Boletín de Ciencias de la Tierra*. No.10 (1991); p.41-73.
- PING, C. L. *et al.* Characteristics and classification of volcanic-ash-derived soils in Alaska. *En: Soil Science*. Vol.148, No.1 (1989); p.8-28.
- _____ ; SHOJI, S. y ITO, T. Properties and classification of three volcanic ash derived pedons from Aleutian Islands and Alaska peninsula, Alaska. *En: Soil Science Society of America Journal*. Vol. 52 (1988); p.455-462.

- ROURKE, R.V.; CONINCK, F. de y HOLZHEY, C.S. The Andisol-Spodosol transition. **In:** Proceedings of the Ninth International Soil Classification Workshop. Japón. (1988: Japón). p.203-210.
- SHOJI, S. *et al.* Evaluation and proposed revisions of criteria for Andosols in the World Reference Base for Soil Resources. *En:* Soil Science. Vol.161, No.9 (1996); p.604-615.
- SHOJI, S.; DAHLGREN, R. y NANZYO, M. Genesis of volcanic ash soils. **In:** Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization. Developments in soil science 21. Amsterdam: Elsevier, 1993. p.37-71.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF (SSDS). Soil Survey Manual. Washington: USDA, 1993. 437p.(Handbook No. 18)
- SOIL SURVEY STAFF (SSS). Keys to soil taxonomy. 8ed. Washington: USDA, 1993. 326 p.

Aprobado para su publicación: Julio 6 - 2000