



## Características Redoximórficas en Paleoambientes de los Andes Colombianos

### *Redoximorphic Characteristics in the Colombian Andes*

Jorge A. Sánchez Espinosa<sup>1</sup>

#### Resumen

Se ha establecido que el abanico diluvial de Fusagasugá fue configurado por materiales transportados desde la parte alta de la región de Pasca, y depositados con características de un flujo diluvial, cuyo espesor varía hasta alcanzar los 420 metros en el sector de Chinauta, y es el principal depósito cuaternario de la zona correspondiente al Pleistoceno tardío. El objetivo de la investigación se centra en la evaluación de los suelos y de la evolución pedológica del abanico, tomando como trazadores de la edafogénesis la mineralogía de las arcillas y arenas, la caracterización física química y la micromorfología. Los suelos estudiados en el abanico corresponden a los Grandes Grupos taxonómicos Melanudands, Paleudults, Paleudalfs y Haplustalfs. Sobre la base de las diferencias climáticas, los materiales parentales y las geoformas, se seleccionaron los perfiles modales de los suelos y en cada horizonte se tomaron muestras para realizar los análisis químicos, físicos, mineralógicos y muestras no alteradas in situ para los estudios micromorfológicos. La dinámica edafológica de este sistema está determinada por los flujos de materia y energía, a través del movimiento vertical del agua dentro del suelo, los cuales dependieron, a su vez, de la alternancia de condiciones climáticas contrastantes de periodos de alta precipitación y de periodos secos, que son muy diferentes a las actuales. Los procesos de oxidación-reducción, que definen condiciones redoximórficas relacionadas con procesos de hidromorfismo en los suelos, indican claramente que ciertas etapas de su formación ocurrieron en condiciones medioambientales diferentes a las que prevalecen en la actualidad.

**Palabras clave:** Factores formadores, procesos de formación, geomorfología, mineralogía de arenas y arcillas y micromorfología.

1. Ph.D en Ciencias Agrarias UN. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología [jasanchez@igac.gov.co](mailto:jasanchez@igac.gov.co) Ciencias de la tierra





## Abstract

*It was established that deposited materials configured the present morphology of Fusagasugá. These were transported from the Upper region of Pasca, with characteristics of a diluvial flow clear; whose thickness varies up to 420 m., the Chinauta sector is the main quaternary deposit area for the late Pleistocene. The objective of the research focuses on the assessment of pedagogical evolution of the fan using as tracers of pedogenesis of the mineralogy of the sands and types of clay. The physicochemical characterization and the micromorphology of soils to determine which relationships may exist between Genesis, mineralogy, micromorphology and soil fertility in the diluvial fan of Fusagasugá. The studied soils belong to the following major taxonomic groups: Melanudands, Paleudults, Paleudalfs and Haplustalfs; differences in climate, parent materials and landforms as modal profiles, each single sample was taken for chemical, physical and mineralogical analysis and selected in situ to undisturbed samples for micromorphological studies. The dynamics of this system are determined by the flows of matter and energy through hydrological processes (vertical movement in the soil), which depend on the alternation of contrasting climatic conditions high rainfall and dry periods, conditions very different from today. The oxidation-reduction processes, which define the conditions related with redoximorphic marked evidence of hydromorphism in soils clearly indicate that certain stages of its formation occurred in different environmental conditions.*

**Keywords:** *Factors trainers, training processes, geomorphology, sand and clay mineralogy and micromorphology.*





## Introducción

De acuerdo con la morfología actual del abanico de Fusagasugá, se ha establecido que este fue configurado por materiales transportados y depositados desde la parte alta de la región de Pasca, con características de un flujo diluvial con claro sorteamiento. Su espesor varía hasta alcanzar los 420 metros en el sector de Chinauta (IGAC, 2000; INGEOMINAS, 2001; Khobzi & Usselman, 1973). Según Bürgli (1957), es el principal depósito cuaternario de la zona correspondiente al Pleistoceno tardío. Posteriormente la acción de los agentes modeladores sobre el abanico configuró un panorama morfológico complejo, a lo que se aunó la interacción de los factores formadores (clima, relieve, material parental, organismos y tiempo) y los procesos de formación (ganancias, pérdidas, transformaciones y translocaciones) del suelo, lo cual generó un mosaico de suelos con pedogénesis distintas y complejas (IGAC, 2000). Tales eventos explican la distribución de los diferentes suelos en este piedemonte de origen diluvial, cuyo grado de evolución varía desde moderado (Inceptisoles y Andisoles) hasta avanzado (Ultisoles y Alfisoles). En el primer caso, los procesos más importantes en la edafogénesis han sido las transformaciones, las ganancias y las pérdidas, mientras que en el segundo ha predominado la acumulación de arcilla iluvial que ha originado un horizonte argílico (Bt) en el suelo. La condición húmeda y la estabilidad de la geoforma explican la presencia de Ultisoles, mientras que en los sectores bajo condición seca, ocurre la presencia de Alfisoles.

La geomorfología del país presenta muchos ejemplos de abanicos diluviales. Entre ellos se destacan los macroabanicos de Armenia-Pereira e Ibagué, formados hacia la base de las vertientes occidental y oriental de la Cordillera Central, respectivamente; y la sucesión de abanicos-terrazza de Pasca, Fusagasugá-Chinauta y Tolemaida, localizados en depresiones intramontanas a lo largo de la vertiente oeste de la Cordillera Oriental.

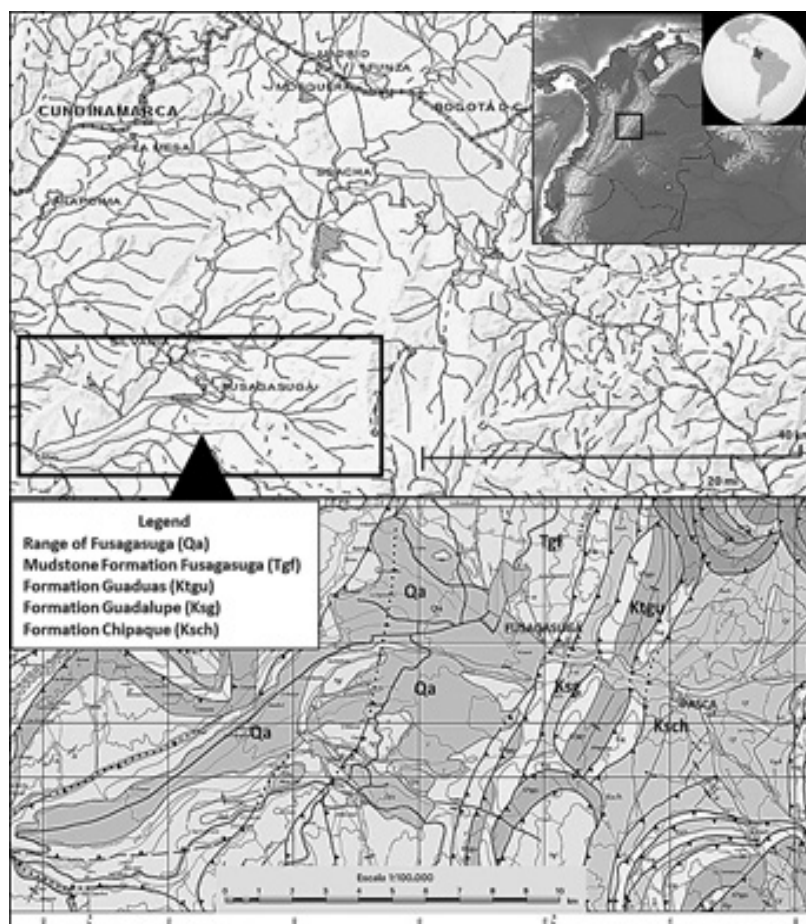
Para el desarrollo de la presente investigación se plantearon como objetivo, por una parte, evaluar la evolución pedológica del abanico, tomando como trazadores de la edafogénesis, la mineralogía de arcillas y arenas, la micromorfología y la caracterización físico química de los suelos; y, por otro, determinar las relaciones pedogenéticas que pueden existir, con el fin de establecer relaciones geopedológicas y climáticas de los suelos con el propósito de esclarecer su origen y evolución.

## Desarrollo teórico y metodológico

El abanico diluvial de Fusagasugá<sup>1</sup> se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca entre los 4° 21' 00" Latitud Norte, 74° 24' 00" Longitud Oeste, y a 64 Kilómetros al sur-occidente de Bogotá (Ver figura 1). Fusagasugá es la capital de la Provincia del Sumapaz que, junto con el municipio de Pasca, hacen parte de la cuenca del río Sumapaz, la cual pertenece al sistema hidrográfico occidental del departamento de Cundinamarca. La superficie actual del abanico diluvial se encuentra a una altitud de entre 550 y 3050 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media anual varía de 14° a 26° C y la precipitación media anual está entre 1080 y 1840 mm (IGAC, 2009).

2. Sedimentación diluvial, término sugerido por Goosen (1979) del ITC de Holanda y adoptado por la Unidad de Suelos del CIAF (hoy Oficina Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi). A diluvial se le asigna una connotación de fuerte torrencialidad (Villota, 1998).





**Figura 1.** Mapa localización del área de estudio  
Fuente IGAC e INGEOMINAS-2001

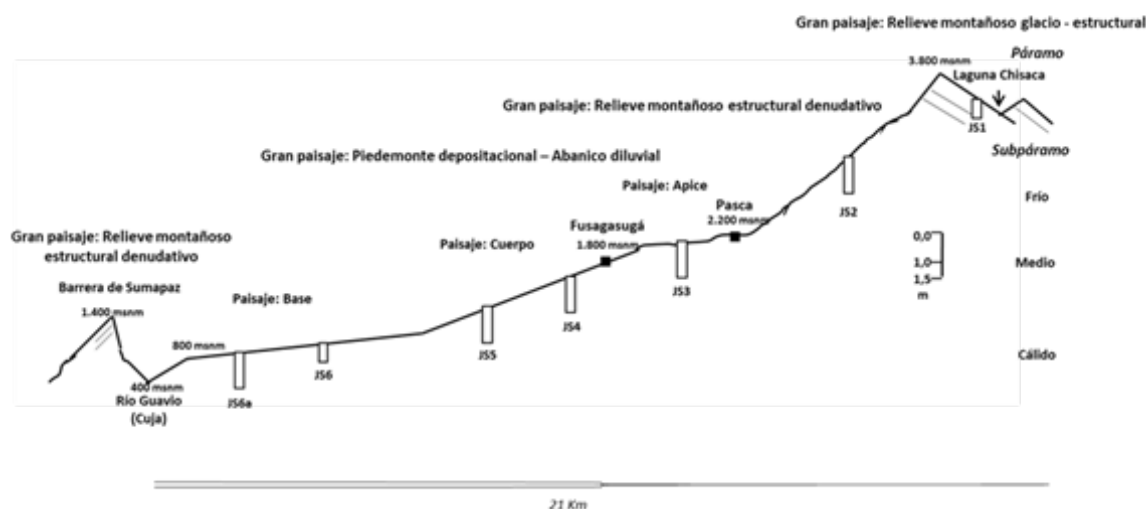
Este estudio se llevó a cabo a lo largo de un transecto EW. Con base en las diferencias geomorfológicas, en los pisos climáticos y en los materiales parentales, se identificó la variedad de suelos y su distribución en el paisaje. Las descripciones de los suelos se realizaron de acuerdo con las directrices del Soil Survey Staff (IGAC, 1995). Se tomaron siete perfiles de suelos desarrollados en diferentes paisajes y pisos altitudinales, de acuerdo con la secuencia geomorfoclimática mostrada en la figura 2: dos perfiles en páramo y subpáramo, un perfil en clima frío, dos en clima medio y dos en clima cálido. De cada horizonte se recolectaron muestras para realizar los análisis químicos, físicos y mineralógicos. En total fueron 28 muestras, de las cuales 22 fueron no alteradas para los estudios micromorfológicos.

En el páramo de Sumapaz del municipio de Usme, en el sector los Tunjos y laguna de Chisacá, se ubicó el perfil denominado JS1 a una altitud de 3940 msnm, correspondiente al relieve montañoso estructural-glaciario-denudativo. Se describió el perfil JS2E, en el municipio de Pasca, en la vereda Juan Viejo y a una altitud de 3280 msnm, en el abanico coluvio-diluvial muy inclinado. El perfil JS3 se ubica en el municipio de Pasca, vereda Alto del Molino, a 2140 msnm, en el ápice del abanico diluvial parte media. En el municipio de Fusagasugá, vereda Novilleros y a una altitud de 1660 msnm, en el cuerpo del abanico diluvial, se describieron los perfiles JS4 y JS5; y en el sitio del peaje de Chinauta a una altitud de 1100 msnm, en la base del abanico, se ubicaron los perfiles JS6 y JS6a.





### Provincia fisiográfica: Cordillera de plegamiento



**Figura 2.** Perfil topográfico y secuencia de los perfiles de suelos descritos en el abanico diluvial de Fusagasugá, desde el Páramo hasta la barrera de Supamaz. La escala vertical de los perfiles (a la derecha) es exagerada con respecto a la del relieve. Los perfiles 1-2 son Melanudands, perfil 3 es Paleudults, perfiles 4 y 5 Paleudalfs y perfiles 6 y 6a Haplustalfs.

En las muestras de suelos correspondientes a la fracción de suelo fino (<2 mm), se determinó: (1) la distribución del tamaño de partículas, mediante los métodos de la pipeta y Bouyoucos, utilizando como dispersante el hexametáfosfato de sodio; (2) pH por el método potenciométrico en relación suelo:agua 1:1, 1:2, 1:3 y pasta de saturación; (3) carbono orgánico por digestión vía húmeda (Walkley & Black); (4) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y (5) bases extractables mediante Acetato de amonio 1N pH 7,0; (6) cuantificación de las bases por espectrofotometría de absorción y emisión atómica; (7) acidez, aluminio e hidrógeno intercambiables por extracción con KCl 1N; (8) acidez extractable con cloruro de bario y trietanolamina pH: 8.2; (9) fósforo disponible por Bray – II modificado; (10) aluminio, hierro y silicio activos por extracción con oxalato ácido de amonio a pH 3, pirofosfato de sodio 0.1M a pH 10 y ditionito citrato bicarbonato y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica; (11) índice melánico por el método colorimétrico; (12) retención fosfórica por el método de fijación de fosfato y cuantificación colorimétrica con solución de vanadato de amonio – molibdato de amonio – ácido nítrico; densidad aparente por el método del terrón parafinado y densidad real de las partículas con el pentapícnometro, retención de agua por el método de extractor de presión con platos de cerámica y/o membrana de celulosa para tensiones entre -33 y 1.500 kPa, micro, macro y porosidad total fueron calculadas a partir de la densidad aparente, densidad real y retención de agua a saturación y a -33 kPa (IGAC, 2006).

Para el estudio mineralógico se emplearon las técnicas de microscopía óptica y difracción de rayos-X, a fin de establecer la composición mineral de las arenas y las arcillas, respectivamente y determinar cuál es la especie o especies más características de cada suelo (IGAC, 2006).





Para la descripción micromorfológica se utilizan los conceptos y términos técnicos descritos en los manuales especializados de análisis micromorfológico: Atlas de micromorfología de suelos e introducción a la micromorfología, de Josefina Benayas del Rey (1982); Fabric and mineral analysis of soils, de Roy Brewer (1964); Handbook for soil thin section description de Bullock, Fedorof, Jongerius, Stoops & Tursina (1985); Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections, de Stoops (2003); Soil survey laboratory methods manual, de USDA (2011); Kellogg soil survey laboratory methods manual, de USDA (2014). Para la elaboración de la sección delgada se utilizó la cortadora y desbastadora Petro-Thin, dotada de un disco de corte de borde continuo diamantado y copa diamantada, con aglomerante sintético (ver Métodos analíticos del laboratorio de Suelos del IGAC, 2006).

Para dar alcance al cumplimiento de los objetivos, respecto a establecer las relaciones geopedológicas y climáticas, y a fin de esclarecer el origen y evolución de los suelos del abanico de Fusagasugá, se requiere caracterizar el cuerpo natural suelo, siguiendo un hilo conductor desde lo mega en su contexto geomorfológico y climático, pasando a lo macro, que es el perfil del suelo y teniendo en cuenta lo MICRO para el análisis micromorfológico. Bajo estas condiciones de campo y sobre la base de las diferencias climáticas de los materiales parentales y de las geoformas, se seleccionaron los perfiles para su descripción morfológica. De cada horizonte se tomaron muestras simples para realizar los análisis químicos, físicos y mineralógicos, y muestras no alteradas para los estudios micromorfológicos. Los horizontes resultan de la diferenciación del material originario por los procesos pedogenéticos y el modo de análisis es la observación y descripción directa en el campo (Zinck, 2012).

El perfil, en términos de pedón, representa las condiciones pedológicas del polipedón, cuyos límites van hasta donde hay un cambio del suelo y así pueden ser cartografiados de acuerdo con los diferentes niveles de detalle de los levantamientos de suelos, lo cual no es objeto de este estudio.

## Resultados

En la tabla 1, se presentan los resultados relacionados con la “actividad” de la fracción arcilla, en términos de la superficie disponible para retener el agua a una presión de 1500 kiloPascuales, también conocida como el índice de meteorización de Comerma (Comerma, 1968). Esta relación se refiere al grado de meteorización de algunos suelos en zonas tropicales, encontrándose que, a valores menores de 0,3, los suelos son muy evolucionados y muy degradados; a valores entre 0,3 y 0,4 son moderadamente evolucionados y menos degradados; y valores por encima de 0,5 para suelos recientes.





**Tabla 1.** Relación Contenido de Arcilla en % vs retención de agua a -1500 kPa Índice de Comerma (Comerma, 1968).

| Perfil  | Prof. Cm  | Nomenclatura | ARCILLA % | Retención de humedad 1500 kPa | Relación Retención de humedad 1500 kPa / %Ar |
|---------|-----------|--------------|-----------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| JS - 2  | 0 - 30    | Ap           | 42,42     | 34,34                         | 0,8                                          |
| JS - 2  | 30 - 49   | AB           | 47,37     | 28,12                         | 0,6                                          |
| JS - 2  | 49 - 70   | 2Btg1        | 47,77     | 24,47                         | 0,5                                          |
| JS - 2  | 70 - 120  | 2Btg2        | 51,03     | 22,89                         | 0,4                                          |
| JS - 3  | 0 - 23    | Ap           | 45,44     | 23,15                         | 0,5                                          |
| JS - 3  | 23 - 54   | 2Btg1        | 75,31     | 35,27                         | 0,5                                          |
| JS - 3  | 54 - 70   | 2Btg2        | 72,03     | 30,13                         | 0,4                                          |
| JS - 3  | 70 - 92   | 2Btg3        | 70,59     | 34,34                         | 0,5                                          |
| JS - 3  | 92 - 120  | 2Btg4        | 72,73     | 25,09                         | 0,3                                          |
| JS - 4  | 0 - 25    | Ap           | 22,96     | 14,20                         | 0,6                                          |
| JS - 4  | 25 - 45   | AB           | 40,35     | 14,74                         | 0,4                                          |
| JS - 4  | 45 - 59   | 2Btg1        | 43,14     | 12,64                         | 0,3                                          |
| JS - 4  | 59 - 88   | 2Btg2        | 40,19     | 15,52                         | 0,4                                          |
| JS - 4  | 88 - 110  | 2Btg3        | 41,60     | 17,19                         | 0,4                                          |
| JS - 5  | 0 - 18    | Ap           | 22,22     | 11,91                         | 0,5                                          |
| JS - 5  | 18 - 56   | 2Btg1        | 60,90     | 23,92                         | 0,4                                          |
| JS - 5  | 56 - 79   | 2Btg2        | 72,93     | 28,14                         | 0,4                                          |
| JS - 5  | 79 - 103  | 2Btv         | 73,98     | 26,86                         | 0,4                                          |
| JS - 5  | 103 - 117 | 2Btg         | 88,49     | 32,79                         | 0,4                                          |
| JS - 6  | 0 - 18    | Ap           | 7,81      | 6,57                          | 0,8                                          |
| JS - 6  | 18 - 60   | Bt           | 28,87     | 13,58                         | 0,5                                          |
| JS - 6a | 0 - 26    | Ap           | 7,43      | 9,69                          | 1,3                                          |
| JS - 6a | 26 - 33   | AB           | 37,05     | 19,66                         | 0,5                                          |
| JS - 6a | 33 - 49   | Bt1          | 19,84     | 14,38                         | 0,7                                          |
| JS - 6a | 49 - 59   | Bt2          | 32,80     | 15,21                         | 0,5                                          |
| JS - 6a | 59 - 82   | Bt3          | 15,00     | 13,96                         | 0,9                                          |
| JS - 6a | 82 - 100X | Bt4          | 76,51     | 24,13                         | 0,3                                          |

Así mismo, en la tabla 2 se presenta el índice de desgaste de Martini (Benavides, 1973). El índice de desgaste disminuye con la CIC de la arcilla y con un aumento en el contenido de arcilla del horizonte como resultado del intemperismo. Se encontró que, por una parte, los suelos, JS2 horizontes Ap AB y 2Btg1, JS3 horizonte Ap, JS4 horizonte Ap, JS5 horizonte Ap y JS6a horizontes Ap Bt1, Bt2 y Bt3 son menos alterados o intemperizados; mientras que los suelos JS2 horizonte 2Btg2, JS3 horizontes 2Btg1, 2Btg2, 2Btg3 y 2Btg4; JS4 horizontes AB, 2Btg1, 2Btg2; JS5 horizontes 2Btg1, 2Btg2, 2Btv y 2Btg y JS6a horizontes AB y Bt4 son más alterados o intemperizados.





**Tabla 2.** Índice de desgaste de Martini  $I_w = \text{CIC Ar} / \% \text{Ar}$ . (Benavides, 1974)

| No. Perfil | Prof. Cm  | Ar % | CIC<br>cmol/Kg | CO % | MO %  | CIC<br>cmol/Kg<br>en Ar | INDICE DE<br>DESGASTE<br>Martini (1970) |
|------------|-----------|------|----------------|------|-------|-------------------------|-----------------------------------------|
| JS - 2     | 0 - 30    | 42,4 | 43,0           | 8,8  | 16,72 | 67,9                    | 1,6                                     |
| JS - 2     | 30 - 49   | 47,4 | 30,4           | 3,1  | 5,89  | 58,0                    | 1,2                                     |
| JS - 2     | 49 - 70   | 47,8 | 24,2           | 0,96 | 1,82  | 48,7                    | 1,0                                     |
| JS - 2     | 70 - 120  | 51,0 | 21,2           | 0,26 | 0,49  | 41,0                    | 0,8                                     |
| JS - 3     | 0 - 23    | 45,4 | 24,5           | 2,3  | 4,37  | 49,3                    | 1,1                                     |
| JS - 3     | 23 - 54   | 75,3 | 23,5           | 0,60 | 1,14  | 30,0                    | 0,4                                     |
| JS - 3     | 54 - 70   | 72,0 | 21,7           | 0,33 | 0,63  | 29,5                    | 0,4                                     |
| JS - 3     | 70 - 92   | 70,6 | 21,9           | 0,36 | 0,68  | 30,3                    | 0,4                                     |
| JS - 3     | 92 - 120  | 72,7 | 18,8           | 0,17 | 0,32  | 25,5                    | 0,4                                     |
| JS - 4     | 0 - 25    | 23,0 | 11,1           | 1,5  | 2,85  | 45,3                    | 2,0                                     |
| JS - 4     | 25 - 45   | 40,4 | 12,3           | 1    | 1,90  | 28,5                    | 0,7                                     |
| JS - 4     | 45 - 59   | 43,1 | 10,1           | 1,1  | 2,09  | 21,2                    | 0,5                                     |
| JS - 4     | 59 - 88   | 40,2 | 7,4            | 0,27 | 0,51  | 17,9                    | 0,4                                     |
| JS - 4     | 88 - 110  | 41,6 | 7,8            | 0,07 | 0,13  | 18,6                    | 0,4                                     |
| JS - 5     | 0 - 18    | 22,2 | 10,1           | 1,8  | 3,42  | 41,9                    | 1,9                                     |
| JS - 5     | 18 - 56   | 60,9 | 14,4           | 0,51 | 0,97  | 22,6                    | 0,4                                     |
| JS - 5     | 56 - 79   | 72,9 | 13,4           | 0,11 | 0,21  | 18,2                    | 0,2                                     |
| JS - 5     | 79 - 103  | 74,0 | 15,6           | 0,07 | 0,13  | 20,9                    | 0,3                                     |
| JS - 5     | 103 - 117 | 88,5 | 17,7           | 0,11 | 0,21  | 19,8                    | 0,2                                     |
| JS - 6     | 0 - 18    | 7,8  | 4,3            | 0,92 | 1,75  | 53,2                    | 6,8                                     |
| JS - 6     | 18 - 60   | 28,9 | 13,7           | 0,32 | 0,61  | 46,8                    | 1,6                                     |
| JS - 6a    | 0 - 26    | 7,4  | 3,1            | 0,43 | 0,82  | 40,9                    | 5,5                                     |
| JS - 6a    | 26 - 33   | 37,1 | 11,9           | 0,42 | 0,80  | 31,3                    | 0,8                                     |
| JS - 6a    | 33 - 49   | 19,8 | 20,5           | 0,2  | 0,38  | 102,9                   | 5,2                                     |
| JS - 6a    | 49 - 59   | 32,8 | 21,3           | 0,24 | 0,46  | 64,5                    | 2,0                                     |
| JS - 6a    | 59 - 82   | 15,0 | 15,1           | 0,04 | 0,08  | 100,6                   | 6,7                                     |
| JS - 6a    | 82 - 100X | 76,5 | 24,2           | 0,1  | 0,19  | 31,4                    | 0,4                                     |

Se evidencia la relación existente entre los datos de las tablas 1 y 2 con el contenido de arcilla, arena muy fina, limo fino y limo medio de la tabla 3. En amarillo se señalan las coincidencias de estos resultados en el sentido de la relación que se muestra con una sedimentación en aguas tranquilas y con el grado evolutivo de los suelos (entre moderado a muy evolucionados) en el índice de Comerma y el índice de desgaste de Martini, a menor índice mayor desgaste de los suelos.



**Tabla 3.** Contenidos de la fracción arena muy fina y limo medio y fino (Sánchez-Espinosa, 2017)

| Perfil  | Prof. Cm  | Nomenclatura | Grava % | Granulometría por pipeta |             |              | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | CLASE TEXTURAL |
|---------|-----------|--------------|---------|--------------------------|-------------|--------------|---------|--------|-----------|----------------|
|         |           |              |         | A muy fina               | L medio     | L fino       |         |        |           |                |
|         |           |              |         | 0,1 - 0,05               | 0,05 - 0,02 | 0,02 - 0,002 |         |        |           |                |
| JS - 2  | 0 - 30    | Ap           | 0,0     | 3,2                      | 19,8        | 33,3         | 4,6     | 53,0   | 42,4      | ArL            |
| JS - 2  | 30 - 49   | AB           | 0,0     | 7,9                      | 10,2        | 31,0         | 11,4    | 41,3   | 47,4      | ArL            |
| JS - 2  | 49 - 70   | 2Btg1        | 1,51    | 9,2                      | 11,8        | 27,1         | 13,3    | 38,9   | 47,8      | Ar             |
| JS - 2  | 70 - 120  | 2Btg2        | 0,0     | 7,3                      | 9,9         | 28,4         | 10,8    | 38,2   | 51,0      | Ar             |
| JS - 3  | 0 - 23    | Ap           | 0,25    | 9,3                      | 7,0         | 32,9         | 14,8    | 39,8   | 45,4      | Ar             |
| JS - 3  | 23 - 54   | 2Btg1        | 0,06    | 5,4                      | 4,7         | 13,3         | 6,7     | 18,0   | 75,3      | Ar             |
| JS - 3  | 54 - 70   | 2Btg2        | 0,36    | 5,4                      | 5,2         | 15,7         | 7,1     | 20,9   | 72,0      | Ar             |
| JS - 3  | 70 - 92   | 2Btg3        | 1,99    | 4,6                      | 3,8         | 14,0         | 11,6    | 17,8   | 70,6      | Ar             |
| JS - 3  | 92 - 120  | 2Btg4        | 0,20    | 2,5                      | 2,6         | 21,1         | 3,6     | 23,7   | 72,7      | Ar             |
| JS - 4  | 0 - 25    | Ap           | 0,0     | 24,4                     | 16,6        | 12,6         | 47,8    | 29,2   | 23,0      | F              |
| JS - 4  | 25 - 45   | AB           | 0,0     | 20,4                     | 13,6        | 10,7         | 35,3    | 24,3   | 40,4      | Ar             |
| JS - 4  | 45 - 59   | 2Btg1        | 0,0     | 19,8                     | 12,0        | 10,2         | 34,7    | 22,1   | 43,1      | Ar             |
| JS - 4  | 59 - 88   | 2Btg2        | 0,0     | 21,4                     | 12,8        | 11,1         | 35,9    | 23,9   | 40,2      | Ar             |
| JS - 4  | 88 - 110  | 2Btg3        | 0,0     | 21,1                     | 11,8        | 11,5         | 35,1    | 23,4   | 41,6      | Ar             |
| JS - 5  | 0 - 18    | Ap           | 0,0     | 21,0                     | 16,6        | 12,0         | 49,2    | 28,6   | 22,2      | F              |
| JS - 5  | 18 - 56   | 2Btg1        | 0,0     | 10,2                     | 8,2         | 9,0          | 22,0    | 17,2   | 60,9      | Ar             |
| JS - 5  | 56 - 79   | 2Btg2        | 0,0     | 7,5                      | 4,3         | 6,8          | 16,0    | 11,1   | 72,9      | Ar             |
| JS - 5  | 79 - 103  | 2Btv         | 0,0     | 6,3                      | 4,7         | 7,2          | 14,1    | 11,9   | 74,0      | Ar             |
| JS - 5  | 103 - 117 | 2Btg         | 0,0     | 3,5                      | 0,7         | 3,5          | 7,3     | 4,2    | 88,5      | Ar             |
| JS - 6  | 0 - 18    | Ap           | 0,0     | 25,9                     | 24,1        | 22,6         | 45,5    | 46,7   | 7,8       | F              |
| JS - 6  | 18 - 60   | Bt           | 0,0     | 18,2                     | 17,0        | 18,7         | 35,4    | 35,7   | 28,9      | F Ar           |
| JS - 6a | 0 - 26    | Ap           | 0,0     | 28,3                     | 21,6        | 16,1         | 54,8    | 37,7   | 7,4       | FA             |
| JS - 6a | 26 - 33   | AB           | 0,0     | 17,5                     | 14,4        | 11,7         | 36,9    | 26,1   | 37,1      | FAr            |
| JS - 6a | 33 - 49   | Bt1          | 14,2    | 15,7                     | 18,9        | 22,1         | 39,2    | 41,0   | 19,8      | F              |
| JS - 6a | 49 - 59   | Bt2          | 23,3    | 14,4                     | 11,4        | 24,0         | 31,8    | 35,4   | 32,8      | FAr            |
| JS - 6a | 59 - 82   | Bt3          | 13,9    | 15,9                     | 18,0        | 21,6         | 45,4    | 39,6   | 15,0      | F              |
| JS - 6a | 82 - 100X | Bt4          | 0,0     | 6,4                      | 5,3         | 4,1          | 14,2    | 9,3    | 76,5      | Ar             |

El alto contenido de arcilla, con sólo pequeñas cantidades de limo fino y limo medio a arena muy fina sugieren que los materiales se depositaron bajo un cuerpo de aguas tranquilas.

De acuerdo con lo anterior, estos resultados indican que hubo épocas pedoambientales diferentes a las actuales que dejaron sus huellas en los suelos. Lo anterior correspondería a una gran cuenca de sedimentación con condiciones muy marcadas de alternancia de periodos secos y húmedos contrastantes, que generaron condiciones de alta saturación posiblemente de aguas tranquilas. Esta situación genera en los suelos procesos relacionados con la iluviación de arcilla y de oxidación reducción, lo que significa la formación de suelos muy evolucionados a moderadamente evolucionados, lo que implicaría en condiciones actuales a la formación de suelos poligenéticos o policíclicos o suelos con varias génesis.

### **Hierro activo**

Para evaluar el contenido de hierro en el suelo, se han empleado técnicas analíticas con extracción de varios reactivos, cuyos resultados dan una estimación de la cantidad de estos minerales (Schwertmann, 1985; Parfitt & Childs, 1988; Zhang, Alva, Li & Calvert, 1997). Esto debido a que la identificación de los minerales de hierro plantea una gran





dificultad para su estudio, ya que parte del problema se debe al bajo porcentaje que hay en los suelos y al empleo de la difracción de rayos X que no siempre produce buenos resultados (Dahlgren, 1994).

En la tabla 4, se presentan los contenidos de hierro extraídos en la fracción de tierra fina con oxalato ácido de amonio, con ditionito citrato bicarbonato y con pirofosfato de sodio. El tratamiento con ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra & Jackson, 1960) extrae hierro ( $Fe_d$ ) de la mayoría de los minerales del hierro pedogénético. Esta técnica determina óxidos de hierro lábiles; el oxalato ácido de amonio ( $Fe_o$ ) extrae hierro amorfo, no cristalino y pobremente ordenado (Smith, 1994) y es selectivo para la ferrihidrita. El pirofosfato de sodio ( $Fe_p$ ) extrae el hierro que está presente en el suelo como parte de los complejos orgánicos (Smith, 1994).

Algunas relaciones de hierro son usadas para determinar la presencia de estos minerales en el suelo.  $Fe_o/Fe_d$  es una medida de la proporción del total de hierro pedogénético (amorfo más ferrihidrita) y la diferencia  $Fe_d - Fe_o$  es usada para estimar el hierro en la goethita, y en la lepidocrocita (Acevedo, Cruz & Cruz, 2002); y la Lepidocrocita (6,25A – 3,28A), está reportada en los suelos JS3 y JS4 como trazas.

Cuando la relación  $Fe_o/Fe_d$  es mayor a 1, dominan las formas amorfas. Cuando es menor a 1, dominan las formas asociadas a óxidos de hierro; y cuando es  $<0,5$ , hay mayor  $Fe$  asociado a óxidos de hierro como hematita, goetita y lepidocrocita (Acevedo et al, 2002).

**Tabla 4.** Resultados de la estimación de la cantidad de minerales de hierro (Sánchez-Espinosa, 2017).

| UNIDAD GEOMORFOLÓGICA                      | No. PERFIL | Prof. Cm  | $Fe_o$      | $Fe_d$      | $Fe_p$          | $Fe_o/Fe_d$ | $Fe_d - Fe_o$ |
|--------------------------------------------|------------|-----------|-------------|-------------|-----------------|-------------|---------------|
|                                            |            |           | (Oxalato) % | (Citrato) % | (Pirofosfato) % |             |               |
| VALLE GLACIARICO EN U                      | JS - 1     | 00 - 28   | 0,54        | 0,83        | 0,45            | 0,65        | 0,29          |
| ABANICO COLUVIAL INCLINADO AC              | JS - 2     | 00 - 30   | 0,86        | 0,95        | 1,08            | 0,91        | 0,09          |
|                                            |            | 30 - 49   | 0,96        | 1,58        | 1,29            | 0,61        | 0,62          |
|                                            |            | 49 - 70   | 0,54        | 1,39        | 0,74            | 0,39        | 0,85          |
|                                            |            | 70 - 120  | 0,71        | 1,18        | 0,94            | 0,60        | 0,47          |
| ABANICO DILUVIAL DISECTADO - APICE AD1     | JS - 3     | 00 - 23   | 0,96        | 1,28        | 1,02            | 0,75        | 0,32          |
|                                            |            | 23 - 54   | 0,27        | 0,27        | 0,22            | 1,00        | 0,00          |
|                                            |            | 54 - 70   | 0,20        | 1,67        | 1,34            | 0,12        | 1,47          |
|                                            |            | 70 - 92   | 0,64        | 1,36        | 1,09            | 0,47        | 0,72          |
|                                            |            | 92 - 120  | 0,51        | 3,42        | 0,51            | 0,15        | 2,91          |
| ABANICO DILUVIAL NIVEL SUPERIOR CUERPO AD2 | JS - 4     | 0 - 25    | 0,04        | 0,46        | 0,39            | 0,09        | 0,42          |
|                                            |            | 25 - 45   | 0,35        | 0,68        | 0,5             | 0,51        | 0,33          |
|                                            |            | 45 - 59   | 0,35        | 0,99        | 0,57            | 0,35        | 0,64          |
|                                            |            | 59 - 88   | 0,25        | 1,00        | 0,29            | 0,25        | 0,75          |
|                                            |            | 88 - 110  | 0,20        | 0,80        | 0,12            | 0,25        | 0,60          |
|                                            | JS - 5     | 0 - 18    | 0,28        | 0,67        | 0,24            | 0,42        | 0,39          |
|                                            |            | 18 - 56   | 0,21        | 0,72        | 0,31            | 0,29        | 0,51          |
|                                            |            | 56 - 79   | 0,17        | 0,28        | 0,30            | 0,61        | 0,11          |
|                                            |            | 79 - 103  | 0,17        | 0,18        | 0,18            | 0,94        | 0,01          |
|                                            |            | 103 - 117 | 0,14        | 0,50        | 0,40            | 0,28        | 0,36          |
| ABANICO DILUVIAL NIVEL INFERIOR BASE AD5   | JS - 6     | 0 - 18    | 0,15        | 0,19        | 0,30            | 0,79        | 0,04          |
|                                            |            | 18 - 60   | 0,14        | 0,27        | 0,24            | 0,52        | 0,13          |





La tabla 4 muestra que en estos suelos dominan las formas asociadas a óxidos de hierro, destacando que en los suelos JS3 los horizontes 2Btg2, 2Btg3 y 2Btg4, JS4 los horizontes 2Btg1, 2Btg2 y 2Btg3, y JS5 el horizonte 2Btg1 y 2Btg, los valores son  $< 0.5$ , lo que indica que en estos suelos es mucho mayor el contenido de Fe ligado a óxidos de hierro. Esto puede deberse a que la precipitación del hierro, a partir de una solución iónica puede lograrse por oxidación del hierro ferroso en solución, debido a que el producto de solubilidad del hidróxido férrico es mucho más bajo que el del hidróxido ferroso (Taylor, 1990).

La disolución del hierro es originada cuando el  $\text{Fe}^{+3}$  es reducido a  $\text{Fe}^{+2}$  por la transferencia de electrones, dada por la condición deficiente de oxígeno, nuevos óxidos de hierro se forman cuando se reintegra el oxígeno al sistema. La principal forma en que se presenta el hierro en el suelo es como óxido e hidróxido  $\text{Fe}^{+3}$  en forma de pequeños granos de mineral o revestimientos amorfos sobre otros minerales (Acevedo, Ortiz, Cruz & Cruz, 2004). Los minerales de  $\text{Fe}^{+2}$  son solubles y persisten en suelos que presenten condiciones aerobias. Cuando las condiciones se cambian, se oxida y se precipita como óxido  $\text{Fe}^{+3}$  (Scheinost y Schwertmann, 1999).

Lo que en resumen muestran estos datos es la evidencia en la variación de la tabla de agua o niveles freáticos, generando tal como se ha indicado procesos de oxidación y reducción en los suelos, algo difícil de presentarse en las condiciones ambientales actuales. Este planteamiento no sólo se apoya en estos resultados, sino también en las observaciones realizadas por Villota (1980) descritas en su perfil P18 (Epiaquic Tropudult) “Los colores grises en los horizontes superiores deben corresponder a un régimen acuíco fósil, pues las características topográficas actuales no favorecen un hidromorfismo tal. Podría tratarse de un paleosuelo hidromórfico dejado o descubierto por la erosión” (Villota, 1980), este perfil corresponde a la unidad AD1 y al suelo JS3 del presente estudio.

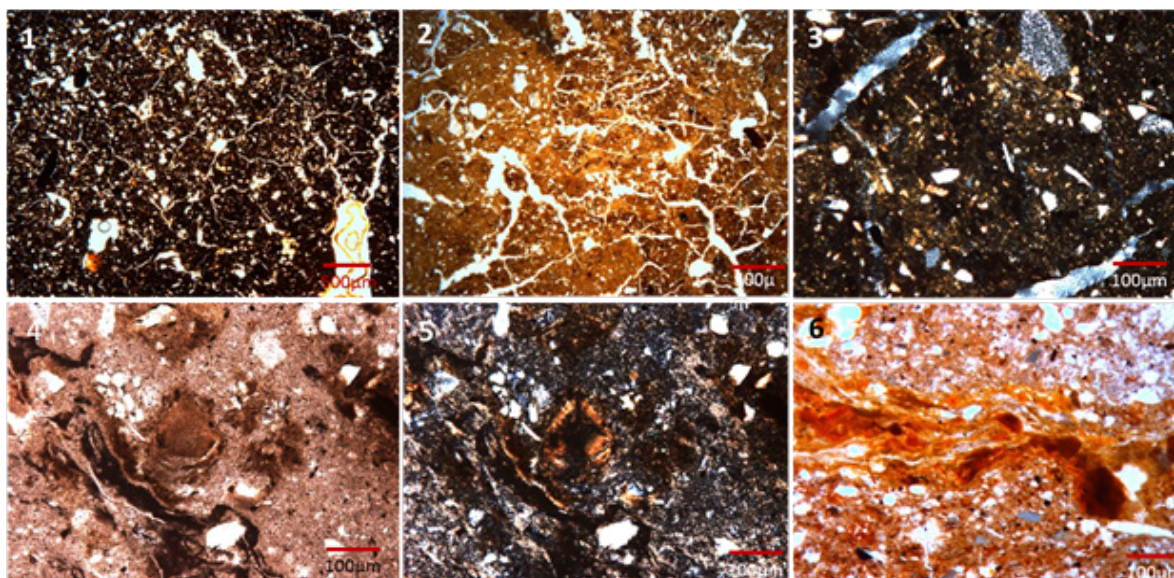
### **Características redoximórficas**

Las características redoximórficas, definidas como características asociadas con la humedad e hidromorfismo en el suelo, resultan de la reducción y oxidación del hierro (Fe) después de procesos de saturación y desaturación. Es por esto que los colores rojo, marrón y amarillo en las secciones delgadas se deben a recubrimientos de óxidos de Fe; los colores púrpura oscuro y colores negros se deben a óxidos de Mn, y los colores negros opacos son debido a la materia orgánica. Más específicamente, en nicoles paralelos, la goethita y lepidocrocita son de color amarillo, la hematita es de color rojo y los óxidos de Mn son de color negro (Lindbo et al, 2010). Estas condiciones redoximórficas relacionadas con la marcada evidencia de hidromorfismo en los suelos fueron también corroboradas y reportadas por Faivre (1988), en el valle glaci-fluvial de Guasca Cundinamarca, donde morfológicamente describe la presencia en los horizontes inferiores, de concreciones de gibbsita y manchas de reducción, incluso dice que “la reducción en el horizonte de naturaleza arcillosa es tal que toma un aspecto de plintita” (Faivre, 1988).

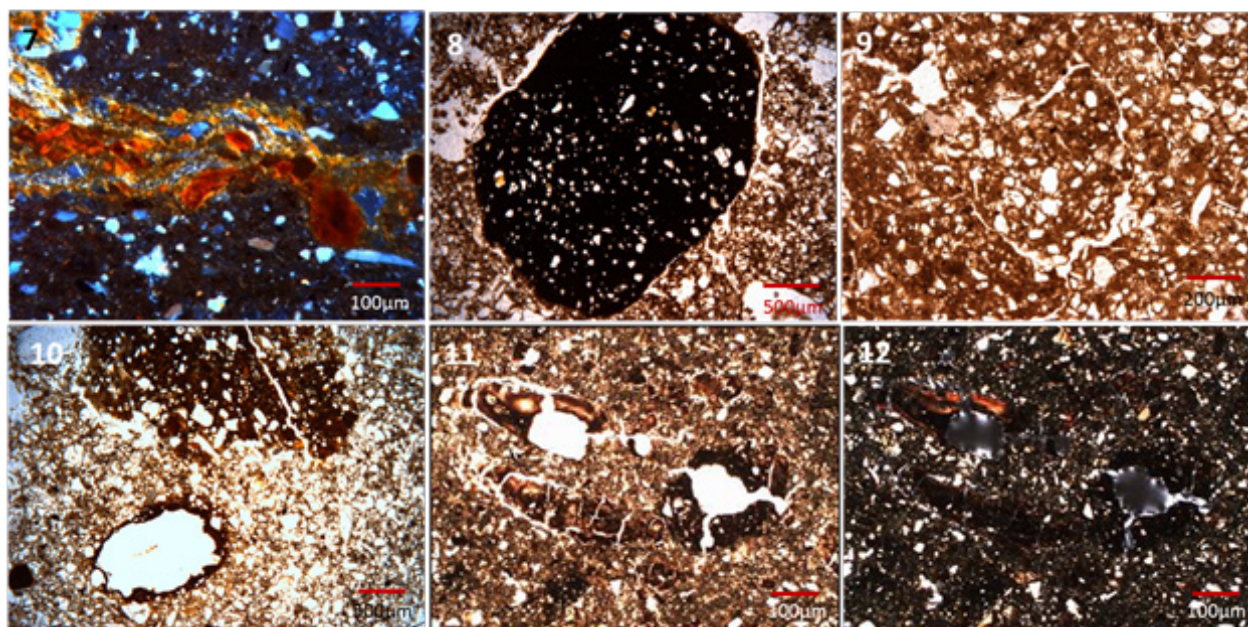




Esto indica claramente que en ciertas etapas de formación los procesos pedogenéticos se produjeron en condiciones medioambientales diferentes a las que prevalecen en la actualidad, en alternancia con fases climáticas más húmedas y más secas (Faivre, 19885), lo que se evidencia es que este fue un proceso generalizado que abarco toda la región andina de nuestro país, ver figuras 3 y 4.



**Figura 3.** 1: Accumulation of humic substances. Profile JS1 horizon Ah (0-28cm), 2,5x (PPL). 2-3: Fabric of the groundmass stipple speckled b-fabric. Coarse / fine related distribution is porphyric. Subangular blocks are present separated by channels and flat. Profile JS2 horizon Ap (30 – 49 cm) (2,5x PPL and 10x XPL). 4-5: Dusty clay coating, not directly related to the pore system, and striated b-fabric. Profile JS2 horizon 2Btg2 (70-120 cm), (PPL and XPL). 6-7: Microlaminated clay and Fe-oxide intercalations. Profile JS3 horizon 2Btg2 (54-70 cm) (PPL and XPL) (Sánchez-Espinosa, 2017)



**Figura 4.** 8: Rounded disorthic Fe nodule. Profile JS4 horizon AB (24-36cm), (PPL). 9: Red colours due to Fe-oxides in the groundmass. Aggregates are partially separated by planar pores. Profile JS4 horizon 2Btg1 (38-49cm), (PPL). 10: Ferruginous hypocoating on a pore (down) and orthic impregnating nodule (up) indicating a stagnic pattern. Profile JS5 horizon Ap (0 – 18 cm) (PPL). 11-12: Coatings of microlaminated clay and iron hypocoatings of Fe. . Profile JS6 horizon Bt (18 - 60 cm) (PPL and XPL) (Sánchez-Espinosa, 2017)





## ***Suelos poligenéticos***

Por otra parte está la formación del abanico, teniendo en cuenta el significado mismo de diluvial, el cual está relacionado con alta torrencialidad, producto de sucesivos flujos de materiales sobre los cuales se depositaron capas más delgadas de aluviones y ceniza volcánica. De acuerdo con Khobzi & Usselman (1973), el abanico no presenta características únicas de un depósito fluvio-glaciario. Pero una fuente menor de sedimentos debe atribuirse a materiales retransportados por las aguas producto del deshielo de las partes altas. Sobre estos materiales posteriormente se depositaron capas más delgadas de aluviones y unos mantos de ceniza volcánica provenientes del complejo Ruiz-Tolima de la cordillera Central, los cuales probablemente cayeron entre 30.000 y 9.000 años A.P., (Van der Hammen; Van Geel 1974) y quizás continuaron hasta el siglo XVI de nuestra era, cuando tuvo lugar una de las últimas erupciones importantes del volcán del Ruiz (Van der Hammen; Van Geel 1974).

En principio estos sedimentos colmataron y formaron una gran cubeta sometida a procesos sucesivos bajo condiciones de alternancia de periodos húmedos y secos, evidenciados en la actualidad por la presencia de condiciones redoximórficas en los suelos características asociadas a periodos de fuerte hidromorfismo. La formación de los suelos implica y corrobora dos aspectos importantes: el primero el efecto significativo de los cambios climáticos del Cuaternario (Van der Hammen, 1992) asociado a una geoforma de cubeta, ya que se presentan suelos poligenéticos o policíclicos; y el segundo referido a las grandes influencias climáticas de muy alta precipitación alternando con periodos secos y/o semiáridos. Pero la configuración misma del abanico se debe —de acuerdo con Jungerius (1976)— a la remoción por tectonismo y subsecuente depositación de la masa de sedimentos de Pasca y Fusagasugá, lo cual ya había sido señalado por De Porta (1965), producto del basculamiento hacia el oriente y con el borde occidental hundido de las estructuras sedimentarias, como repuesta a la adaptación tectónica.

## ***Modelo evolutivo actual***

En la figura 5 se muestra el modelo evolutivo de los suelos actuales. El modelo pretende sintetizar las principales ideas relacionadas con los factores y procesos formativos, los suelos resultantes, su taxonomía y las propiedades derivadas de su génesis y evolución. Finalmente el modelo trae un comentario relacionado con su aptitud de uso y manejo más adecuados para la preservación de este paisaje, dada su alta susceptibilidad al deterioro.

Desde el punto de vista físico, los procesos de compactación y la baja capacidad de retención de agua tanto a capacidad de campo como en el punto de marchitez permanente son preocupantes. La baja cantidad de materia orgánica de los suelos del ápice, cuerpo y base del abanico, medida en términos del contenido de carbono orgánico, hacen que cada vez estos suelos se enrumben hacia el incremento de los procesos de deterioro y





degradación. Preocupa a su vez, el crecimiento incontrolado y desbordado de urbanizaciones que ya no sólo se ubican en el abanico mismo, sino también en las áreas de los taludes complicando aún más la situación.

La influencia de los materiales no consolidados sobre los cuales se asientan estas poblaciones y la influencia de las cenizas volcánicas en las partes altas, condicionan los fenómenos erosivos asociados a los efectos del agua, al aumentar la inestabilidad de la terraza, situación que se padece año tras año durante las épocas de alta pluviosidad. Es necesario entonces, en consenso con la población mediante la participación ciudadana, definir los usos más adecuados y las áreas de expansión urbanística; sólo así y mediante una rigurosa estrategia de planificación territorial, permitirá establecer las pautas más convenientes y racionales para su uso y manejo, cuyo propósito fundamental es la protección del ecosistema y sus comunidades.

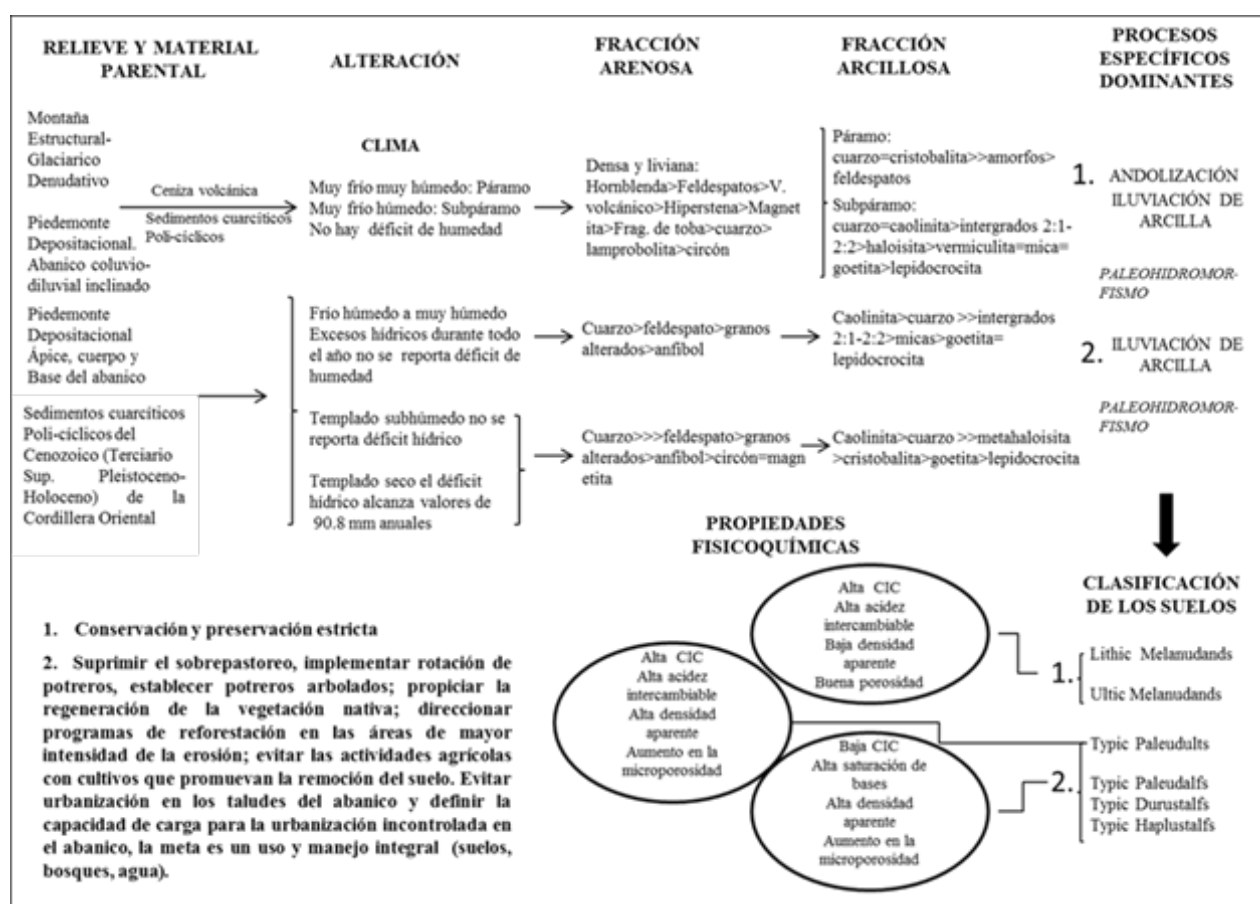


Figura 5. Modelo evolutivo de los suelos del abanico diluvial de Fusagasugá (Sánchez-Espinosa, 2017)





## Conclusiones

1. Los procesos dominantes, como la iluviación y la oxidación-reducción, evidenciados por la presencia de edaforrasgos redox (condiciones redoximórficas), debieron darse en alternancia con la iluviación de arcilla. Este proceso estuvo fuertemente favorecido por las estaciones secas y húmedas bien marcadas.
2. Las etapas de formación de procesos pedogenéticos que han dejado su huella en los perfiles se produjeron en condiciones medioambientales diferentes a las que prevalecen en la actualidad, en alternancia con fases climáticas más húmedas y más secas. Con esto se muestra que este fue un proceso generalizado que abarcó toda la región andina de nuestro país.
3. El abanico de Fusagasugá fue una gran cubeta sedimentaria, compuesta por materiales depositados transportados y retransportados desde la parte alta de la región de Pasca con características de un flujo diluvial con claro sorteamiento. Posteriormente, movimientos tectónicos afectaron la región durante las manifestaciones orogénicas del Pleistoceno y configuraron el relieve actual. Este fue disectado por los ríos Panches y Cuja y otros cauces, conformando el cuerpo principal del plano diluvial con un espesor de 180 m y en su base de 420 m., el cual fue afectado por periodos contrastantes secos y húmedos y basculado por eventos tectónicos entre 30.000 años AP y consolidado finalmente hace 10.000 años AP. Por lo tanto, el abanico de Fusagasugá corresponde a una planicie de cuenca sedimentaria basculada por tectonismo, pero con características geomorfológicas de un abanico diluvial.
4. El estudio micromorfológico aporta pruebas concluyentes acerca de los modelos de rasgos redoximórficos, principalmente el estágnico en horizontes superiores, y el gléyico en horizontes inferiores. Esto confirma el movimiento vertical del agua desde los horizontes inferiores por una capa freática.
5. Revestimientos de caolinita en moteados coexisten con revestimientos microlaminados, en algunos casos en el mismo horizonte, dos generaciones u orígenes de revestimientos. A partir de capas orgánicas lacustres y a partir de arcilla iluviada desde horizontes superiores, señalando el posible origen pantanoso.

## Agradecimientos

A la Subdirección de Agrología y al Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.





## Bibliografía

- Acevedo, O., Cruz, M., & Cruz, E. (2002). Distribución de óxidos de Fe, Al y Si en horizontes endurecidos de origen volcánico. *Agrociencia*, 36, pp. 401-409.
- Acevedo, O., Ortiz, E., Cruz, M., & Cruz, E. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos (Role of Iron Oxides in Soils). *TERRA Latinoamericana* 22(4), pp.385-497.
- Benavides, S.T. (1973). *Mineralogical and chemical characteristics of some soils of the Amazonia of Colombia*. Thesis Ph.D, Department of Soil Science. Raleigh, Carolina Del Norte.
- Benayas De Rey, J. (1982). *Atlas de micromorfología de suelos e introducción a la micromorfología*. Monografías de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos N. 84. Madrid 87p.
- Brewer, R. (1964). *Fabric and mineral anlysis of soils*. Jhon Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., & Tursina, J. (1985). *Handbook for soil thin section description*. Inglaterra: Waine Research Publications..
- Bürgl, H. (1957). Bioestratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores. *Bol. Geo. Serv. Geo. Col.* 5(2):113-185.
- Comerma, J.A. (1968). *Characteristics and genesis of two soil associations in North-Central Venezuela*. Tesis de doctorado , Departamento de ciencias de la tierra, Universidad del Estado de Carolina del Norte en Raleigh.. University Inc., Ann Arbor, Mich.
- Dahlgren, R.A. (1994). *Quantification of allophane and imogolite*. pp. 430-451. In: Amonette, J.E. y L.W. Zelazny (Eds.). Quantitative methods in soil mineralogy. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Da Porta, J. (1965). Estratigrafía del Cretáceo Superior y el Terciario en el extremo sur del valle medio del río Magdalena. En: *Boletín de geología No. 19*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Faivre, P. (1988). *Lessivage et planosolisation dans les sequences de sols caracteristiques des milieux intrandins de Colombie (Amérique du sud)*. Tesis doctoral. Universidad de Nancy, Francia.



- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1995). *Suelos de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos*. Subdirección de Agrología, Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*. Subdirección de Agrología. Bogotá D.C. Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2009). *Estudio semidetallado de suelos, Municipio de Fusagasugá*. Subdirección de Agrología. Bogotá D.C. Colombia.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - Ingeominas. (2001). *Memoria explicativa plancha 246 Fusagasugá*. Bogotá D.C. Colombia.
- Jungerius, P.D. (1976). Quaternary landscape development of the Rio Magdalena basin between Neiva and the quaternary of Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 19(2), pp. 89-137
- Khobzi, J., & Usselman, P. (1973). Problemes de géomorphologie en Colombie. *Revue de Geographie Physique et de Geologie Dynamique* 15(1-2), pp. 193–206
- Lindbo, D.L; Stolt, M.H; Vepraskas, M.J. (2010). Redoximorphic Features. En: *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Georges Stoops, Vera Marcelino and Florias Mees (Eds) Elsevier.
- Martini, J.A. (1970). Allocation of cation exchange capacity to soil in seven surface soils from Panama and the application of a cation exchange factor as a weathering index. *Soil Sci.* 109, pp. 324-331.
- Mehra, O.P., & Jackson, M.L. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered by sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*. 7, pp. 317-327.
- Parfitt, R.L., & Childs, C.W. (1988). Estimation of forms of Fe and Al: A review and analysis of contrasting soils by dissolution and Mossbauer methods. *Australian J. Soil Res.* 26:, pp. 121-144.
- Poch, R. M. (2014). *Descripción Micromorfológica de secciones delgadas en el Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC*. Bogotá Colombia.



- Sánchez-Espinosa, J. (2017). *Mineralogía y génesis de los suelos desarrollados sobre materiales no consolidados en el abanico diluvial de Fusagasugá, Colombia*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia.
- Scheinost, A.C., & Schwertmann, U. (1999). Color identification of iron oxides and hydroxysulfates: Use and limitations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, pp. 1463-1471.
- Smith, B.F.L. (1994). *Characterization of poorly ordered minerals by selective chemical methods*. En: Wilson, M.J. (ed.). *Clay mineralogy spectroscopic and chemical determinative methods*. Londres: Chapman and Hall.
- Schwertmann, U. (1985). Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. En: Stucki, J.W., B.A. Goodman y U. Schwertmann (eds.). *Iron in soils and clay minerals. NATO ASI Series C217*. Holanda: D. Reidel Publishing Company.
- Soil Survey Staff. (2011). *Soil Survey Laboratory Information Manual. Soil Survey Investigations Report No. 45, Version 2.0*. R. Burt (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service .
- Soil Survey Staff. (2014). *Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. p.186 y 518.
- Stoops, G. (2003). *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*. Madison, WI: Soil Sci. Soc. Am.,
- Taylor, R.M. (1990). Some observations on the formation and transformation of iron oxides. En: De Boodt, M.F., M.H.B. Hayes y A. Herbillon (eds.). *Soil colloids and their associations in aggregates*. New York: Plenum Press.
- Van Der Hammen, T., & Van Geel, B. (1974). Upper quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern cordillera, Colombia). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 14, pp.9-912.
- Van Der Hammen, T. (1992). *Historia, Ecología y Vegetación*. Fondo FEN Colombia, Corporación Colombiana para la Amazonia – Araracuara- Fondo de Promoción de la Cultura. Bogotá, D.C.





- Villota, H. (1980). *Una Metodología para el Análisis Fisiográfico en las Zonas Montañosas del Trópico aplicada al Levantamiento General de Suelos del sector Pasca-Girardot, Cundinamarca, Colombia*. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences – ITC (Tesis Magister). Enschede, Holanda.
- Zinck, A. (2012). *Geopedologia Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC Special Lecture Notes Series. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Zhang, M., Alva, A.K., Li, Y.C., & Calvert, D.V. (1997). Fractionation of iron, manganese, aluminium and phosphorus in selected sandy soils under citrus production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61(3), pp. 794-801.

