



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**Mineralogía y génesis de los suelos  
desarrollados sobre materiales no  
consolidados en el abanico diluvial de  
Fusagasugá, Colombia**

**Jorge Alberto Sánchez Espinosa**  
Agrólogo y Antropólogo Magister en Suelos UN

Universidad Nacional de Colombia  
**Facultad de Ciencias Agrarias**  
**Doctorado en Suelos y Aguas**  
Bogotá, D.C.  
2016



# **Mineralogía y génesis de los suelos desarrollados sobre materiales no consolidados en el abanico diluvial de Fusagasugá, Colombia**

**Jorge Alberto Sánchez Espinosa**  
Agrólogo y Antropólogo Magister en Suelos UN

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de:  
Doctor en Suelos y Aguas**

**Director:**

**Juan Carlos Loaiza Usuga. Ph.D en Ciencias del Suelo y Medioambiente**

**Codirector:**

**Yolanda Rubiano Sanabria. Ph.D en Ciencias Agrarias, Área Suelos y Aguas**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Doctorado en Suelos y Aguas  
Bogotá, D.C.  
2016

## **Directores**

Juan Carlos Loaiza Úsuga Ph.D en Ciencias del Suelo y Medioambiente

Yolanda Rubiano Sanabria Ph.D en Ciencias Agrarias, Área Suelos y Aguas

Sergio Gaviria Melo Ph.D en Pedología

## **Comité de Jurados**

### **Seminario I**

Raúl D. Zapata Hernández Ph.D en Suelos

Edgar Madero Morales Ph.D en Ciencias Agrarias, Área Suelos y Aguas

Sergio Gaviria Melo Ph.D en Pedología

### **Seminario II y Proyecto de Tesis doctoral**

Martha Cecilia Henao Ph.D en Suelos

Álvaro García Ocampo Ph.D en Química de Suelos

Pierre Faivre Ph.D en Edafología

### **Examen de candidatura**

Martha Cecilia Henao Ph.D en Suelos

Leila Amparo Rojas Ph.D en Mineralogía de Suelos

Álvaro García Ocampo Ph.D en Química de Suelos

Pierre Faivre Ph.D en Edafología

### **Seminario III**

Martha Cecilia Henao Ph.D en Suelos

Raúl D. Zapata Hernández Ph.D en Suelos

Edgar Alvaro Avila Ph.D en Ciencias Agrarias, Área Suelos y Aguas

### **Tesis doctoral**

Martha Cecilia Henao Ph.D en Suelos

Rosa Maria Poch Ph.D en Micromorfología

Edgar Alvaro Avila Ph.D en Ciencias Agrarias, Área Suelos y Aguas

*A mi esposa Nancy Guiomar por su amor y comprensión.*

*A mi hijo Diego mi Ángel de la guarda.*

*A mi madre por todo lo dado en esta vida.*

*A mis colegas y compañeros de estudios por estar  
en la zona de pánico.*



## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional de Colombia especialmente a la Facultad de Ciencias Agrarias.

A mis directores Dr. Juan Carlos Loaiza, por su apoyo en la revisión de las descripciones de los perfiles en el campo, por sus enseñanzas en la toma de las muestras para micromorfología, en la revisión del texto y por su intermedio para que la Dra. Rosa Poch, micromórfologa, interpretara algunas de las secciones delgadas a quien no tengo más que palabras de agradecimiento, a la Dra Yolanda Rubiano, por sus consejos y guía en el desarrollo y culminación de esta etapa académica, al Dr. Sergio Gaviria, por sus aportes en la mineralogía de arcillas y apoyo en el desarrollo del trabajo y a la Dra. Deyanira Lobo por la revisión del documento y sugerencias.

Al Dr. Pierre Faivre, por sus comentarios y sugerencias, con amplio conocimiento de los suelos Colombianos.

Al Dr. Carlos Pulido, por sus enseñanzas en múltiples temas de suelos, especialmente en mineralogía y micromorfología de suelos y por su apoyo para las revisiones.

Al Dr. Jairo Marulanda, por su revisión, corrección del texto y orientación en el tema de la mineralogía de la fracción pesada del suelo.

Al Instituto Geográfico Agustín Codazzi, a sus directivas por el apoyo Institucional, sin el cual muy difícilmente tal vez imposible culminar con éxito esta labor, especialmente mi gratitud al Dr. Germán Darío Álvarez, Subdirector de Agrología.

Al Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC a todos y cada uno de sus funcionarios. Al Analista del área de Mineralogía de suelos Señor Antonio Patiño, por su experiencia transmitida en difracción DRX.

A la Vicerrectoría de la Universidad Abierta y a Distancia de la Universidad Santo Tomás, especialmente a la Dra. Ligia Lugo Vargas, coordinadora del programa de Administración Ambiental y de los Recursos Naturales quien me apoyo con el tiempo para el desarrollo de este proyecto y a mis compañeros docentes del programa.

Al Dr. Jairo Delgado, por los recorridos durante el trabajo de campo, sus consejos y refugio en su apartamento de Fusagasugá, al Ingeniero Forestal Jorge Romero (q.e.p.d) por su colaboración en la zonificación climática del área de estudio y a los Ingenieros Agrícolas Andrés Felipe Rodríguez por la elaboración de la cartografía y Viviana Marcela Varón por el análisis estadístico.

Al Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de la Sede de Medellín, promoción 1950, Manuel Sánchez Magister en riegos e hidráulica de la Escuela de postgraduados de Chapingo México (mi padre), por toda una enseñanza de vida, habitante de otro mundo.

A mi familia, mi madre quien fue motivadora de superación de dificultades, a mis hermanos, a mi esposa y a la familia extensa en Bucaramanga, Medellín y Bogotá.

## 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 con claro sorteamiento, cuyo espesor varía hasta alcanzar los 420 m. 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 del abanico diluvial de Fusagasugá, de la evolución pedológica del abanico tomando como trazadores de la edafogénesis la mineralogía de las arcillas y arenas, la caracterización físico química y la micromorfología. Los suelos estudiados en el abanico corresponden, a los Grandes Grupos taxonómicos: Melanudands, Paleudults, Paleudalfs y Haplustalfs, mientras que el clima varía desde muy frío muy húmedo en el páramo, muy frío húmedo en el subparamo o también llamado páramo bajo, frío húmedo a subhúmedo y templado seco en su parte más baja, con exceso de agua en invierno y un déficit hídrico moderado en verano. 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 y 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 de los procesos hidrológicos (movimientos verticales 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 con alternancia de fases climáticas más húmedas y más secas, diferentes a las que prevalecen en la actualidad, lo que pone de presente que este fue un proceso generalizado en la región andina de nuestro país.

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

## Abstract

According to the present morphology of the range of Fusagasugá, it was established that was configured by deposited materials are transported from the upper region of Pasca, with characteristics of a diluvial flow clear Autosorsing whose thickness varies up to 420 m. Chinauta sector and is the main quaternary deposit area for the late Pleistocene. The objective of the research focuses on the assessment of pedological evolution of the fan using as tracers of pedogenesis type clay mineralogy of the sands physicochemical characterization and the micromorphology of soils and determine what relationships may exist between Genesis, mineralogy, micromorphology and soil fertility in the diluvial fan Fusagasugá. The studied soils belong to the following major taxonomic groups: Melanudands, Paleudults, Paleudalfs and Haplustalfs, the climate varies from very cold very wet in the wilderness, in the very cold wet subparamo also called low moor, cold wet and humid temperate dry in its lower part, with excess water in winter and moderate summer water deficit. On the basis of differences in climate, parent materials and landforms as modal profiles of each horizon single samples were taken for chemical, physical and mineralogical analysis and in situ undisturbed samples for micromorphological studies were selected. The dynamics of this system is determined by the flows of matter and energy through hydrological processes (vertical movement in the soil), which depended on the alternation of contrasting climatic conditions in periods of high rainfall and dry periods, conditions very different from today. The oxidation-reduction processes, which define the conditions related redoximorphic marked evidence hydromorphism in soils clearly indicate that certain stages of its formation occurred in different environmental conditions that prevail at present, alternating with climatic phases wetter and drier than today showing that this was a widespread process that spanned the Andean region of our country.

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

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
1. Materiales y métodos 5	
1.1 Localización .....	5
1.2 Revisión de literatura.....	8
1.3 Descripción del área de estudio .....	12
1.4 Clima actual .....	16
1.5 Muestreo y análisis .....	20
<b>2. Descripción geomorfológica y morfológica de los suelos a lo largo del transecto del abanico diluvial de Fusagasugá</b> .....	<b>23</b>
Introducción .....	23
2.1 Marco geotectónico.....	24
2.2 Metodología .....	25
2.3 Descripción Geomorfológica .....	26
2.4 Discusión .....	37
2.5 Morfología de los suelos .....	38
2.5.1 Descripción Morfológica de los suelos.....	40
2.6 Textura .....	45
<b>3. Mineralogía de los suelos</b> .....	<b>51</b>
Introducción .....	51
3.1 Materiales y Métodos .....	52
3.2 Resultados Mineralogía de Arcillas .....	61
<b>4. Micromorfología de los suelos</b> .....	<b>73</b>
Introducción .....	73
4.1 Metodología .....	74
4.2 Descripción micromorfológica .....	75
<b>5. Fertilidad de los suelos</b> .....	<b>95</b>
Introducción .....	95
5.1 Metodología .....	96
5.2 Resultados.....	100

<b>6. Génesis y discusión .....</b>	<b>107</b>
<b>7. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>125</b>
7.1 Conclusiones.....	125
7.2 Recomendaciones.....	128
<b>Anexos.....</b>	<b>130</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>187</b>

## **Lista de figuras**

**Pág.**

**Capítulo 1. Materiales y Métodos**

1.1 Mapa de localización del área de estudio	6
1.2 Fotografía del cuerpo del abanico	7
1.3 Mapa geológico del área de estudio	13
1.4 Secuencia geomorfo-climática del área de estudio	19

**Capítulo 2. Descripción Geomorfológica y Morfológica de los suelos a lo largo**

<b>Del transecto del abanico de fusagasugá</b>	25
2.1 Unidades geomorfológicas del abanico de Fusagasugá	26
2.2 Fotografías del páramo de Sumapaz	27
2.3 Estrías glaciáricas sobre la arenisca en el Páramo de Sumapaz	28
2.4 Monoclinales páramo de Sumapaz	
2.5 Alternancia de materiales duros y blandos en relieves estructurales del páramo de Sumapaz	29
2.6 Escarpe rocoso (ER)	30
2.7 Imagen de satélite Landsat de la zona de estudio, la línea de color amarillo señala el escarpe	30
2.8 Abanico coluvio-diluvial inclinado (AC) y de superficie ondulada, municipio de Pasca Cundinamarca	31
2.9 Abanico diluvial; subpaisaje: Apice (AD1) de superficie ondulada, municipio de Pasca Cundinamarca	32
2.10 Abanico diluvial; subpaisaje: Cuerpo (AD2) de superficie ligeramente ondulada, municipio de Fusagasugá	33
2.11 Mapa de la Cartografía base de la zona indicando la formación del abanico principalmente del cuerpo y base del mismo	33
2.12 Base del abanico (AD5) de superficie plana, municipio de Fusagasugá (Chinauta)	34
2.13 En el área de Chinauta se muestra el basculamiento de los bloques	35
2.14 Perfil de la Secuencia geomorfo-edafo-climática del área de estudio	37

**Capítulo 3. Mineralogía de suelos**

3.1 Perfil JS1 Lithic Melanudands fracción densa	50
3.2 Perfil JS1 Lithic Melanudands fracción densa y liviana	51
3.3 Granos de cuarzo de forma angular, subangular, redondeada y Subredondea	55
3.4 Gráficas de difracción con diferentes tratamientos	64

---

<b>Capítulo 4. Micromorfología y Génesis de suelos</b>	68
4.1 Perfil JS1, muestra horizonte Ah (1) nicoles paralelos y nicoles cruzado	72
4.2 Perfil JS2 nicoles paralelos y nicoles cruzados	74
4.3 Sección delgada del horizonte 2Btg2 perfil JS3 (A) nicoles Paralelos	76
4.4 Perfil JS4 nicoles paralelos y nicoles cruzados	78
4.5 Perfil JS5 nicoles paralelos y nicoles cruzados	80
4.6 Perfil JS6 nicoles paralelos y nicoles cruzados	82
4.7 Edaforragos de los suelos estudiados	83
4.8 Edaforragos de los suelos estudiados	
<b>Capítulo 6. Génesis y Discusión</b>	
6.1 Modelo de evolutivo de los Andisoles de la parte alta del abanico diluvial de Fusagasugá	97
6.2 Sucesivos flujos de materiales sedimentarios relleno y conformando una gran cubeta de sedimentación	103
6.3 Modelo evolutivo de la formación del abanico por basculamiento tectónico	106
6.4 Modelo evolutivo de los suelos del abanico diluvial de Fusagasugá	

## **Lista de tablas**

**Pág.**

**Capítulo 1. Materiales y Métodos**

1.1 Parámetros climáticos para la zonificación climática del abanico de Fusagasuga	15
1.2 Unidades climáticas de los pisos Muy Frío muy húmedo y Frío muy húmedo de la parte alta del abanico de Fusagasuga	17
1.3 Unidades climáticas de los pisos Frío húmedo, Templado húmedo y Templado seco del abanico de Fusagasuga	17

**Capítulo 2. Descripción Geomorfológica y Morfológica de los suelos a lo largo Del transecto del abanico de fusagasugá**

2.1 Características químicas de los suelos estudiados	38
2.2 Propiedades físicas de los suelos estudiados	39
2.3 Contenidos de la fracción arena muy fina y limo medio y fino	43
2.4 Relación Contenido de Arcilla en % vs retención de agua a -1500 Kpa (Índice de Comerma)	45
2.5 Índice de desgaste de Martini	46

**Capítulo 3. Mineralogía de suelos**

3.1 Resultados del examen al microscopio de la fracción liviana y densa del perfil JS1	50
3.2 Mineralogía de la fracción arenosa	53
3.3 Mineralogía de la fracción liviana y densa del perfil JS2	54
3.4 Mineralogía de la fracción arcillosa de los suelos analizados	57
3.5 Resultados del Aluminio Activo en los suelos	60
3.6 Resultados de la estimación de la cantidad de minerales de hierro	68

**Capítulo 4. Micromorfología de suelos**

4.1 Descripción micromorfológica del perfil JS1	67
4.2 Descripción micromorfológica del perfil JS2	71
4.3 Descripción micromorfológica del perfil JS3	73
4.4 Descripción micromorfológica del perfil JS4	77
4.5 Descripción micromorfológica del perfil JS5	79
4.6 Descripción micromorfológica del perfil JS6a	81

**Capítulo 5. Fertilidad de suelos**

5.1 Tabla para evaluar la fertilidad del suelo	89
5.2 Resultados químicos para la evaluación de la fertilidad del suelo	90



## Introducción

De acuerdo con la morfología actual del abanico de Fusagasugá, se ha establecido que 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, cuyo espesor varía hasta alcanzar los 420 m. en el sector de Chinauta (IGAC, 2000; INGEOMINAS, 2001; Khobzi & Usselman, 1973); según Bürgl (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 los cuales se destacan, entre otros, 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-terrace de Pasca, Fusagasugá-Chinauta y Tolemaida, localizados en depresiones intramontanas a lo largo de la vertiente oeste de la Cordillera Oriental.

Lo precedente pone de manifiesto la conveniencia de abordar investigaciones en el campo de la pedología a fin de comprender el origen, evolución, formación y distribución de los

suelos y explicar la evolución de los minerales a partir de materiales expuestos en superficie, así como la de los suelos resultantes, como se sabe, la mineralogía tiene efectos importantes en la estabilidad estructural, la escorrentía, el agua disponible, la retención de nutrientes y contaminantes (plaguicidas, metales pesados), el almacenamiento de carbono, la preservación de la estructura del suelo, la infiltración y la pérdida de suelo.

El efecto de la mineralogía en las mencionadas características del suelo ha recibido menor atención en la investigación edáfica que otras propiedades del suelo, por lo cual es importante dar énfasis mucho mayor a este aspecto de los suelos. En Colombia los estudios mineralógicos se hacen en el marco de los levantamientos generales, semidetallados y detallados de los suelos; en el último caso se enfocan hacia la determinación de las “Familias Mineralógicas” y en los levantamientos generales a una descripción global de los minerales presentes tanto en la fracción arcillosa como en la arenosa, subutilizando así información valiosa que aportaría a una mayor dilucidación de la génesis de los suelos, desde la óptica de sus productos de alteración y su relación con la aplicabilidad práctica de la fertilidad de los mismos.

Se espera con esta investigación generar en los estudiosos de los suelos una mayor conciencia científica acerca de las posibilidades que brinda este tipo de estudios y reforzar con el análisis e interpretación de la mineralogía y la micromorfología del suelo, el énfasis que tradicionalmente se ha dado a la física y la química de los suelos. Un proceso de planificación de tierras puede complementarse con este tipo de estudios para ampliar la visión técnica que apoye las propuestas de uso y manejo.

Para el desarrollo de la presente investigación se planteó como objetivo general, 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 determinar las relaciones pedogenéticas que pueden existir entre la mineralogía y la fertilidad en los suelos del abanico diluvial de Fusagasugá y los objetivos específicos, con establecer relaciones geopedológicas y climáticas de los suelos con el propósito de esclarecer su origen y evolución, interpretando la composición mineralógica y el comportamiento físico-químico de los suelos del abanico de Fusagasuga y contribuir a la comprensión del comportamiento físico-químico de los suelos y por ende, al manejo

adecuado de los mismos y establecer la contribución de la mineralogía de la fracción arena y arcilla de los suelos, de la micromorfología y su relación con su fertilidad actual y potencial.

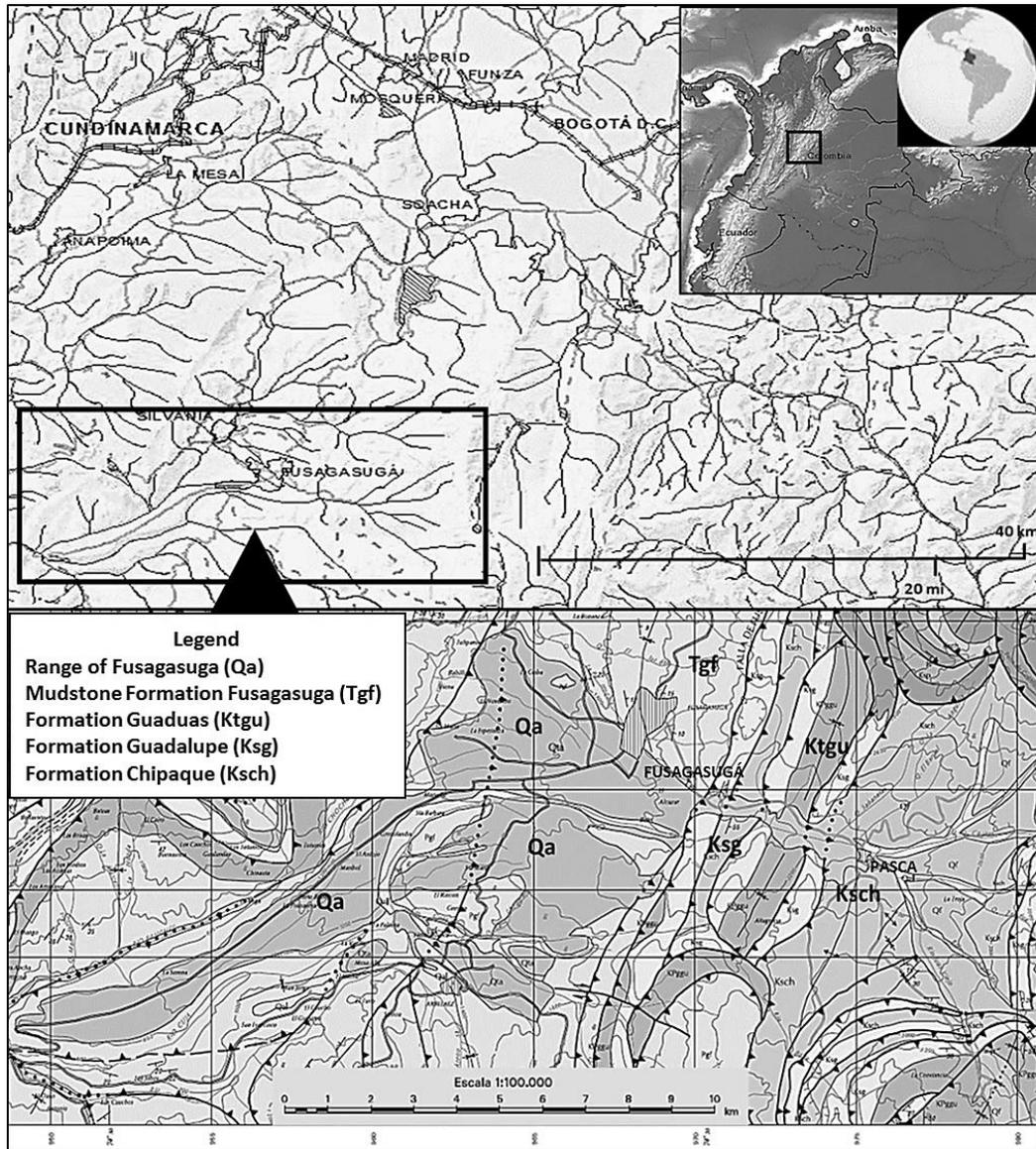


# 1. Materiales y métodos

## 1.1 Localización

El abanico diluvial de Fusagasugá se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca entre los 4° 21' 00" Latitud Norte y 74° 24' 00", Longitud Oeste y a 64 Kilómetros, al sur-occidente de la ciudad Capital. 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 entre 550 y 3050 metros sobre el nivel del mar; la temperatura media anual varia de 14° a 26° C y la precipitación media anual está entre 1080 y 1840 mm (IGAC, 2009), Ver figuras 1.1 y 1.2.

Figura 1.1 Mapa localización del área de estudio (Fuente IGAC)



El área de estudio se enmarca en todo el gran paisaje de piedemonte, principalmente en los paisajes de los planos del abanico correspondientes al ápice, cuerpo, base y a las geformas montañosas de las partes altas, fuente principal de origen de los materiales no consolidados del abanico de Fusagasugá, los materiales son heterométricos, recubiertos o no de cenizas volcánicas y en algunos planos por cantos rodados mezclados con aluviones finos y medios (IGAC, 2000).

**Figura 1.2** Fotografía del cuerpo del abanico, al fondo la ciudad de Fusagasugá (Foto: Jorge Sánchez 2012)



Dada su extensión, el depósito diluvial<sup>1</sup> sobresale por su relieve plano en medio de montañas fuertemente inclinadas y escarpadas de la cordillera oriental y comprende una sucesión de abanicos de lodo y detritos limitados por grandes escarpes. Los depósitos diluviales cubren en la parte superior la depresión del anticlinal de Fusagasugá-Chinauta entre las cotas de 3.000 y 2.500 m; más abajo, al gran sinclinal de Fusagasugá-Chinauta entre las cotas de los 1.900 y 800 m, y finalmente, al sinclinal de El Nilo, entre 600 y 500 m de altitud. Las tres unidades se comunican a través de estrechos boquerones determinados por fallamiento de los anticlinales y homoclinales que las enmarcan. Tanto su disposición espacial y la continuidad de su declive, como la naturaleza de sus sedimentos y su régimen depositacional, en los cuales no se advierte camino abrupto, sugieren que todos deben proceder de una misma fuente y que su formación debió ser

---

<sup>1</sup>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).

sucesiva (IGAC, 2009).

Según Villota (1980) la fuente de materiales del flujo diluvial es una misma, y su huella puede observarse como un escarpe rocoso (ER) y su depositación debió ser más o menos sucesiva.

## 1.2 Revisión de literatura

El suelo es definido como “*un cuerpo natural que comprende sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, que ocurre en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: 1) horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o, 2) habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural*” (Soil Survey Staff, 2003). Se puede entender también como la colección de cuerpos naturales en el paisaje, que se origina y evoluciona como consecuencia de la acción de factores bioclimáticos (clima y sus organismos asociados), al actuar sobre materiales geológicos (rocas o formaciones superficiales: sedimentos o productos de alteración) presentes en las diferentes geoformas influenciados por el tiempo de actuación. Ello determina horizontes que permiten su clasificación y, mediante ésta, su representación cartográfica (Zinck, 2012; Plaster, 2005; Buol, Hole & McCracken, 2000; Malagón, 1998; Wilding, Smeck & Hall, 1983).

A lo largo de muchos años el suelo ha sido considerado como una mezcla de material suelto producto de la fragmentación de rocas y materiales de origen orgánico, formado por la interacción de los factores de formación como son el clima, la biota, el material parental y la topografía, donde el grado, la intensidad e interacción ocurre a través del tiempo, conllevando al concepto fundamental del suelo como una expresión geográfica. Este modelo básico de edafología es el que hace hincapié en las interacciones de las actividades climáticas y biológicas trabajando sobre un material de origen y que son modificadas por la topografía local y la evolución del paisaje con el tiempo, dando lugar a los horizontes reconocibles del suelo (Wilding et al., 1983).

En síntesis, los suelos resultan de la respuesta del material parental a los factores ambientales activos, a través del tiempo y de la evolución espacial de acuerdo con las

variaciones que en ellos se hayan sucedido (Malagón, 1998; Zinck, 2012).

### **Génesis y Evolución de Suelos**

De acuerdo con Buol et al. (2000); Malagón (1998) y Wilding et al (1983), la evolución de los suelos puede ocurrir por efecto de un mismo clima, con sus organismos asociados, que actúa sobre un material parental (monogénesis) o estar supeditada a cambios en éste (poligénesis); a su vez, puede ser progresiva (tendiente al clímax pedológico) o regresiva (generalmente por efecto de erosión o aporte de nuevos materiales).

Durante la génesis y evolución los materiales originales se transforman (alteración, meteorización, mineralización, humificación) de acuerdo con el régimen climático imperante y dada su susceptibilidad ciertas partículas o sustancias cambian de posición (translocación) dentro de la matriz del suelo; algunos elementos y compuestos se pierden de acuerdo a su solubilidad o mediante procesos erosivos, o permanecen si son poco solubles o si no hay agua para movilizarlos. Partículas minerales (sedimentos, cenizas volcánicas) o compuestos orgánicos (residuos de plantas y organismos) pueden adicionarse e integrarse al suelo (Wilding et al., 1983; Malagón, 1998; IGAC, 1995; Buol et al., 2000; Plaster, 2005).

Todos estos eventos, sencillos o complejos, producen la diferenciación de los materiales litológicos y llevan a la formación de los horizontes: son los llamados procesos generales de formación de los suelos (Zapata, 2006; Buol et al., 2000; Malagón, 1998; Wilding et al., 1983).

La génesis del suelo se desarrolla según las condiciones ambientales y de la litosfera. El perfil del suelo es un producto de factores observados por primera vez por Vasily Vasilievich Dokuchaev en 1883 y posteriormente presentado por Jenny en 1941; estos factores constituyen la “ecuación de estado” de los suelos (clima, tiempo, organismos, geomorfología y materiales parentales) (Zinck, 2012) y la variabilidad resulta de la interacción de estos factores y su influencia en la formación de los diferentes perfiles de suelos (Zapata, 2006; Buol et al., 1973, 2000; Greenland & Hayes, 1981; Wilding et al., 1983; Zinck, 2012).

De acuerdo con Egli, Mirabella & Sartori (2008) el cambio climático puede tener efectos

significativos en el ciclo biogeoquímico mundial al alterar el tipo y la velocidad de los procesos y factores formadores de suelos, la erosión y formación de minerales, o su transformación. Los suelos juegan un papel importante en el ciclo biogeoquímico, incluyendo el intemperismo, el almacenamiento de nutrientes y el carbono. Las rocas formadas por debajo de la superficie terrestre son inestables al quedar expuestas en superficie. El suelo es una fase de transición que va a cambiar a los estados químicos más estables, incluyendo además el proceso de alteración de minerales y la transformación de las fases minerales que son más estables en la superficie de la tierra.

La formación o transformación de minerales, depende de la reactividad de los minerales, el agua y reactivos ácidos. La litología del material parental determina la naturaleza física y mineralógica de los suelos y por tanto, la reactividad del intemperismo. La acidez y la disponibilidad de elementos promueven las reacciones de disolución de minerales primarios y regulan su transformación en minerales secundarios. En gran medida, la lixiviación es controlada por la temperatura, la precipitación, la escorrentía y las tasas de erosión. La vegetación influye en las reacciones de desgaste a través de la producción de la acidez del suelo y de materiales orgánicos (Egli et al., 2008). Las temperaturas más altas deberían incrementar las tasas de erosión, ya que éstas son resultado principalmente de una combinación de las precipitaciones, la temperatura y el material parental; sin embargo las temperaturas altas no necesariamente conducen a un aumento de la erosión en algunas regiones. Los ambientes más calurosos en general podrían significar mayores tasas de erosión, pero en algunos ambientes muy calientes paradójicamente se han generado bajas tasas de erosión. La alteración química está determinada principalmente por las tasas de alteración física (compactación) y menos por la temperatura o la precipitación (Egli et al., 2008).

De acuerdo con Serbin, Daughtry, Hunt, Reeves & Brown (2009), Tarbuck & Lutgens (2005), Plaster (2005), Malagón, Pulido, Llinas, Chamorro & Fernández (1995), Reeuwijk (1994), Fitzpatrick (1985), Besoain (1985), Wilding et al (1983), la mayoría de los minerales en la corteza terrestre son silicatos, cuya base estructural es el tetraedro de  $\text{SiO}_4$ . Los silicatos se agrupan en seis clases según el grado de polimerización a lo largo de los oxígenos. La primera clase son los nesosilicatos, que constan de tetraedros; incluye importantes minerales como el grupo del olivino, el grupo del granate, la titanita (esfena) y

el circón. La segunda clase son los sorosilicatos que consisten en dos tetraedros de silicio a lo largo de un ion de oxígeno para formar una sola estructura  $\text{Si}_2\text{O}_7$ ; incluye los minerales del grupo de la epidota y de la hemimorfita. La tercera clase son los ciclosilicatos (silicatos anillo) que se componen de anillos de seis tetraedros y dos oxígenos cada uno para formar un anión  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ; incluye los minerales del grupo de la turmalina y el berilo. La cuarta clase son los Inosilicatos (silicatos de cadena) que están conformados por largas cadenas de tetraedros; esta clase tiene dos grupos principales, los piroxenos y los anfíboles. Piroxenos son los de cadena sencilla de distribución simétrica de tetraedros cada dos oxígenos formando  $\text{Si}_2\text{O}_6$ , mientras que los anfíboles son silicatos de cadena doble simétricos de  $\text{Si}_4\text{O}_{11}$ . Los piroxenos comunes son augita, enstatita e hiperstena; los anfíboles comunes incluyen actinolita, glaucofana, y hornblenda. Ambos, piroxenos y anfíboles, se dividen de acuerdo con la cristalografía en especies ortorrómbicas, orthopiroxenos y orthoanfíboles y especies monoclinicas o triclinicas: clinopiroxenos y clinoanfíboles. En la cuarta clase hay un grupo adicional de las cadenas asimétricas denominado piroxenoides, e incluye minerales como wollastonita y rodonita. La quinta clase, filosilicatos (silicatos laminares), se componen de láminas tetraédricas con tres oxígenos basales; incluye el grupo de las arcillas (illita, caolinita, montmorillonita), serpentinas, cloritas (grupo de filosilicatos de minerales en su mayoría de color verde), micas, talco, pirofilita, y vermiculitas (Serbin et al., 2009). La sexta clase son los Tectosilicatos (silicatos marco), en los que todos los átomos de oxígeno en el tetraedro se comparten con los demás; incluye cuarzo, feldespato

y feldespatoides (Serbin et al., 2009).

### **1.3 Descripción del área de estudio**

El área del estudio, geológicamente está conformada por rocas sedimentarias de edad Cretácica y Terciaria de la Cordillera Oriental, que descansan sobre un basamento de rocas paleozoicas con bajo grado de metamorfismo (INGEOMINAS, 2001); las características litológicas actuales están asociadas a la evolución geológica de la cordillera, caracterizada por diferentes eventos tectónicos que la levantaron a más de 4.000 msnm., permitiendo el afloramiento de estas rocas que hoy día muestran un intenso fallamiento y plegamiento. Las unidades litoestratigráficas presentes se dividen en dos grupos que comprenden las unidades de roca de origen sedimentario y los depósitos del Cuaternario.

Las rocas del Cretáceo depositadas en un ambiente marino son muy importantes en la zona de estudio ya que presentan una fuerte relación con la morfología del terreno, a través de su plegamiento y fallamiento; estas rocas constituyen la principal fuente de los sedimentos del Terciario y Cuaternario, y del material de partida de la mayoría de los suelos, tanto de aquellos desarrollados in situ como de otros materiales transportados y depositados ya sea por flujos diluviales, o por gravedad o escorrentía.

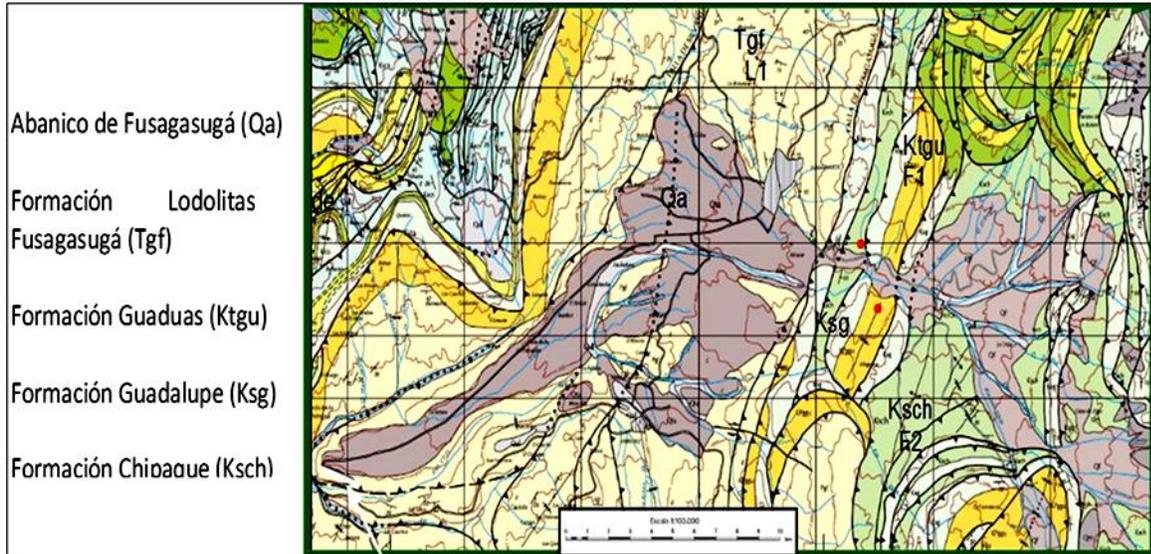
Los sedimentos del Terciario rellenaron, sin una nítida discordancia, los fondos de los amplios sinclinales determinados por las rocas del Cretáceo. Estos materiales probablemente sepultaron los anticlinales de algunos sectores, pero la erosión del Cuaternario parece haber removido esas cubiertas casi por completo, quedando únicamente unos cuantos homoclinales afectados por múltiples fallas, a menudo inversas y con cabalgamientos (IGAC, 1999). Según INGEOMINAS (2001), el área de estudio está localizada en el bloque situado entre la Falla de Fusagasugá y el Sistema de Fallas de Quinié, el cual estructuralmente corresponde a un gran sinclinorio afectado en su centro por la Falla de Silvania y limitado al occidente por la Falla de Piedras Blancas, ver mapa geológico figura 1.3.

Los depósitos Cuaternarios hacen referencia a cinco tipos, las terrazas altas, las terrazas

---

aluviales actuales, los depósitos aluviales recientes, los depósitos coluviales y los depósitos de ceniza volcánica (IGAC, 2005).

Terrazas Altas (Qt): Conocidas como la Terraza de Fusagasugá y Terraza de Chinauta, constan de cantos y bloques redondeados de areniscas depositados posiblemente por el río Juan Viejo y transportados desde la región de Pasca, donde los depósitos tienen características de flujos fluvio-glaciares y aluvio torrenciales, su espesor varía hasta alcanzar los 420 m. en el sector de Chinauta y es el principal depósito cuaternario de la zona. De acuerdo con Bürgl (1957), la Terraza de Fusagasugá es del Pleistoceno tardío y en ella fueron encontradas varias partes de esqueleto de *Megatherium spec.*, correspondiente a esta edad (INGEOMINAS, 2001).

**Figura 1.3** Mapa geológico del área de estudio (INGEOMINAS, 2001)

Depósitos coluviales (Qc): Corresponden a los depósitos gravitacionales originados por la fuerte pendiente de las laderas de la montaña y depositados en la base de éstas; son heterométricos y heterogéneos, con bloques angulosos a subangulosos; su origen también está asociado a la actividad tectónica de los sistemas de fallas regionales; se caracterizan por su alta inestabilidad que ha ocasionado en el municipio la mayor cantidad de deslizamientos (INGEOMINAS, 2001).

Depósitos de ceniza volcánica (Qv): En gran parte del municipio, especialmente hacia el sector oriental, se encuentran depósitos delgados de cenizas volcánicas de espesor variable entre 60 cm y 1.20 m. Estas cenizas proceden de los focos eruptivos del complejo Ruiz-Tolima, en la Cordillera Central; su edad parece estar entre los 30.000 y 9.000 años A.P; no obstante, la actividad del volcán del Ruiz ha continuado durante el Holoceno y el período actual (Van Der Hammen, 1992).

La zona de estudio está caracterizada por la presencia de rocas cretácicas intensamente plegadas cuyos rumbos presentan orientación NNE - SSW a NS, con ligeras deflexiones, donde la erosión de los estratos superiores, activada por numerosas fallas, ha dejado al descubierto las rocas blandas del Cretáceo Inferior. De la sucesión de pliegues se destaca el amplio sinclinal de Fusagasugá cuyo núcleo se encuentra cubierto por sedimentos del Terciario, a su vez fueron recubiertos posteriormente por los materiales oligomícticos del Cuaternario antiguo (IGAC, 2000).

En el Eoceno temprano – medio (55.8 - 40.4 m.a) sucedió un evento tectónico compresivo a transgresivo, el cual levantó la región dejándola expuesta a la erosión. Durante el Eoceno medio – Oligoceno (40.4 – 23.0 m. a) ocurrió la depositación de los sedimentos de ríos meandriformes hacia la región de Silvania – Fusagasugá, que se constituyó litoestratigráficamente en las Lodolitas de Fusagasugá (INGEOMINAS, 2001 - IGAC, 2005).

Durante el Pleistoceno Tardío ocurrió la depositación de las terrazas altas conocidas como la “Terraza de Fusagasugá” y la “Terraza de Chinauta”, cuyo origen según diferentes autores es tectónico por los movimientos que afectaron a la región durante las manifestaciones orogénicas del Pleistoceno generando grandes deslizamientos; algunos otros lo asocian a fenómenos de origen glaciárico, como materiales retransportados ladera abajo por las aguas de deshielo; sin embargo, sea cual fuere su origen, se les considera por sus características sedimentológicas como un fenómeno con una dinámica de tipo ultratorrencial (Khobzi & Usselman, 1973). Brunnschweiler (1981), considera la posibilidad de que haya habido un descenso hasta unos 3.200 m., de la línea de nieves perpetuas en el páramo de Sumapaz durante la era glacial del Riss/Illinoian, por lo que las geoformas de las cabeceras del río Cuja pueden corresponder a un gran mega circo glaciárico, a partir del cual materiales gruesos se desplazaron catastróficamente (Faivre, 1988) como un torrente de hielo y detritos (flujo diluvial), similar al de Jungay-Ranrahirca en el Perú o al Volcán Nevado del Huila<sup>2</sup>, o más reciente al de Armero (Colombia), pero de una magnitud mucho mayor (IGAC, 2005).

Finalmente, los procesos denudativos y agradacionales y la actividad tectónica, volcánica e hídrica de la zona conformaron los actuales depósitos cuaternarios, que a su vez han

---

<sup>2</sup>Depósito de avalancha de escombros (DAE) que ocupa el flanco Sur del Complejo Volcánico Nevado del Huila (CVNH) hasta el valle del río Páez, incluye depósitos de flujo de escombros del río Páez que se localiza a lo largo del valle del río Páez (Huila, Colombia). El flanco sur del CVNH colapsó entre hace 46,000 y 200,000 años y formó una avalancha de escombros que viajó 14 km hasta el cauce del río Páez, donde causó el bloqueo del mismo. El depósito de avalancha tiene un espesor promedio de 150 m y cubrió un área de 36 km<sup>2</sup>. (*Apartes de la tesis de PULGARIN (2000) Geólogo de Ingeominas, sobre el colapso del volcán nevado del Huila en el pleistoceno tardío*). Depósitos masivos del pleistoceno tardío asociados al colapso del flanco sur del volcán nevado del Huila (Colombia). Tesis para la obtención del grado de maestro en ciencias (sismología y vulcanología) Ciudad de México, junio del 2000.

sido transformados por la neotectónica actual y también por la actividad antrópica.

## 1.4 Clima actual

Con el fin de identificar el comportamiento climático actual se tomó la información meteorológica del IDEAM, de las estaciones Pasca, Silvania, Fusagasugá, Pandí y Melgar. Para clasificar los pisos térmicos e índice de humedad se siguió la metodología de la clasificación climática ambiental del IGAC (2000) modificada. Para determinar las provincias de humedad se realizaron los balances hídricos climáticos tomando como valor 100 milímetros (mm) como capacidad de almacenamiento promedio para todas las estaciones.

Con el fin de establecer el clima del área se utilizaron los valores promedios multianuales de precipitación, temperatura, evapotranspiración e índice de humedad. La distribución de la precipitación se determinó por el método de la interpolación IDW6, generando isoyetas cada 100 mm. La distribución de la temperatura se halló por la regresión lineal  $y = -0.00612 X + 29.506$ , donde  $y$  = temperatura media anual y  $x$  = altitud; la evapotranspiración se halló por el método de Holdridge  $ETP = 58.93m * T_{bio}$ , donde  $T_{bio} = (T - 0.3 * \text{Latitud} / 100) * (T - 24) / 6$ . (IGAC, 2009). La información recopilada se muestra en la tabla 1.1 de la zonificación climática.

**Tabla 1.1** Parámetros climáticos para la zonificación climática del abanico de Fusagasuga (IGAC, 2009).

Municipio - Estaciones	Altitud msnm	N	E	T(°C)	P(mm)	ETP (mm)	Déficit (mm)	Exceso (mm)	ETP/P	Clasificación
Pasca	2256	968777,2	975679,5	15,8	868,8	729,7	0	139	0,84	Frío húmedo
Silvania	1470	977995,7	966432,2	20,5	1240	931,1	0	308,9	0,75	Templado húmedo
Fusagasugá	1728	972465,8	968280,1	18,9	1348	844,5	0	503,5	0,63	Templado húmedo
Pandí	950	955884,0	955320,6	23,7	1197,4	1204,5	90,8	83,7	1,01	Templado seco

La distribución de las lluvias en el área de estudio se debe primordialmente a los efectos orográficos, de tal manera que las precipitaciones son más altas hacia el oriente, debido a que las masas nubosas que cruzan la Cordillera Oriental chocan con los vientos ascendentes del valle del Río Magdalena, mientras que en la parte occidental, pese a que los vientos del valle desplazan las masas nubosas ladera arriba ocasionan precipitaciones

más bajas (IGAC, 2009).

El régimen de lluvias es bimodal<sup>3</sup> con dos periodos de lluvias y sequía bien definidos; los meses más lluviosos se presentan en la primera época del año (marzo, abril, mayo, junio) y en el segundo semestre (octubre, noviembre y diciembre), siendo noviembre el mes más lluvioso; el periodo de verano corresponde a los meses de enero, febrero, julio, agosto y septiembre, con agosto como el mes más seco (IGAC, 2009). En términos generales en el área del estudio, la precipitación promedio multianual es de 1.356.8 mm., la precipitación

---

<sup>3</sup> [<http://www.ideam.gov.co/> Página oficial del IDEAM] Categoría: Clima de Colombia.

máxima es de 1.804.5 mm; la mínima precipitación es de 947.2 mm.

Entre los 1.000 y 2000 msnm se encuentra el clima templado húmedo, con algunas variaciones locales en cuanto al régimen de humedad, debido a que en esta zona soplan vientos secos que ocasionan una alta evaporación. Por las características del relieve y de acuerdo con el IGAC (2009) se han determinado tres pisos térmicos, así:

Templado – altura 1.000 – 2.000 msnm, T° 18 a 24°C corresponde al 65% del área.

Frío – altura 2.001 – 3.000 msnm, T° 12 a 18°C corresponde al 28% del área.

Muy frío – 3.001 – 3.600 msnm, T° 8 a 12°C corresponde al 0,4% del área.

La clasificación climática resulta de integrar la propuesta metodológica de Caldas (Eslava et al., 1986) que contempla la variación altitudinal de la temperatura y la relación resultante de dividir la evaporación potencial (ETP) por la precipitación (P); este índice le confiere el carácter húmedo a la propuesta de clasificación. A partir de la anterior propuesta metodológica y tomando como base el índice (ETP/P), que reporta un valor adimensional, se realizó la zonificación climática, empleando el método geo-estadístico *Krigging* (IGAC, 2005).

Las siguientes unidades consignadas en la tabla 1.2 hacen parte de la zonificación climática del abanico, pero no se cuenta con datos suficientes para realizar los balances hídricos climáticos debido a que no existe una estación cercana que arroje datos mensuales en estas zonas; por tanto, solo se muestra la información disponible.

**Tabla 1.2** Unidades climáticas de los pisos Muy Frío muy húmedo y Frío muy húmedo de la parte alta del abanico de Fusagasuga (IGAC, 2009).

Unidad Climática Localizada principalmente en el nor- oriente del abanico	Altitud msnm	Temperatura media multianual (T)	Evapotranspiración potencial multianual (ETP) mm	Precipitación promedio multianual (P) mm
<b>Muy Frío Muy Húmedo (mf – MH)</b>	>3600	10°C - 12°C	Fluctuante 600 - 420	1320 - 1540
<b>Frío Muy Húmedo (f – MH)</b>	2000 - 3000	14°C - 15°C	Fluctuante 1030 - 800	1340 - 1440

A partir de los datos climáticos suministrados por el IDEAM se determinó el índice climático (ETP/P), de la clasificación ambiental propuesta por el IGAC (2000); este valor adimensional se integró con los pisos térmicos y se obtuvieron las siguientes zonas climáticas consignadas en la tabla 1.3, ver el anexo 3.

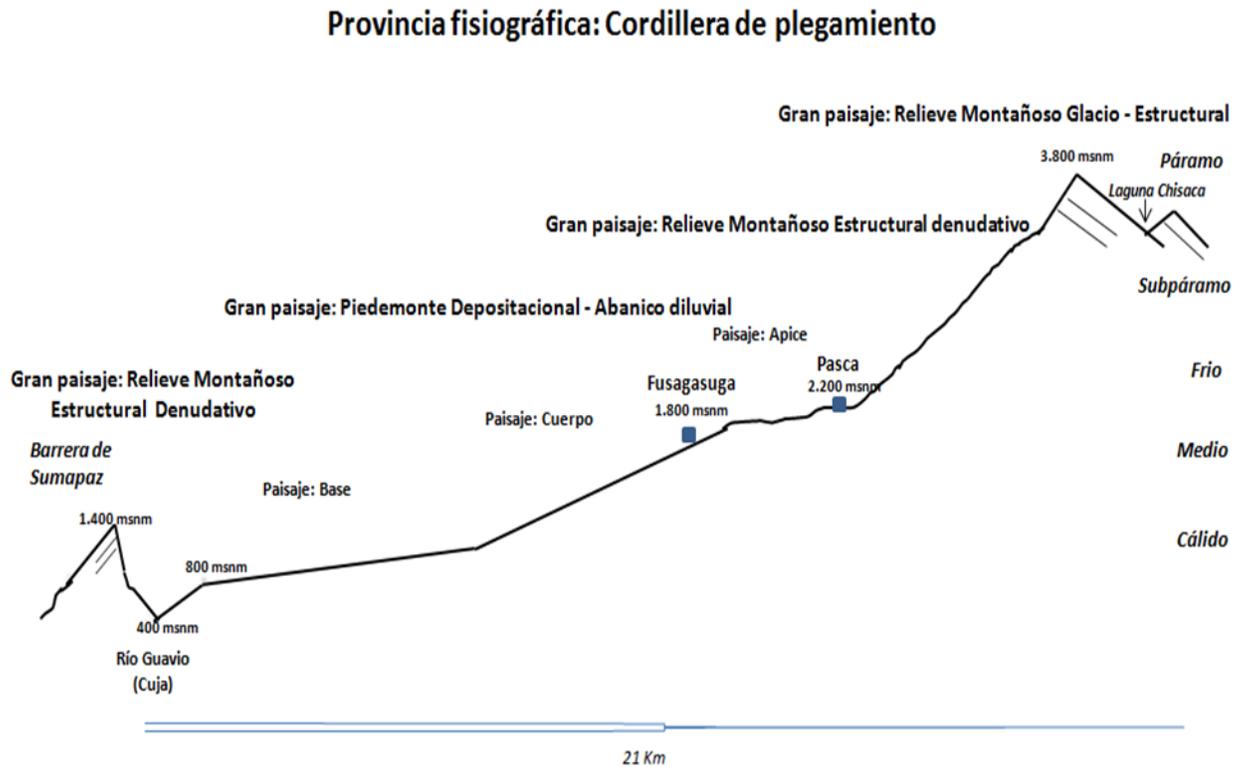
**Tabla 1.3** Unidades climáticas de los pisos Frío húmedo, Templado húmedo y Templado seco del abanico de Fusagasuga (IGAC, 2009).

Unidad Climática	Altitud msnm	Temperatura media multianual (T)	Evapotranspiración potencial multianual (ETP) mm	Precipitación promedio multianual (P) mm	Observaciones
<b>Frío Húmedo (f – H)</b> Localizada principalmente en el nor- oriente del abanico, en el área de influencia de la estación de Pasca	2000 - 3000	14°C - 18,5°C	Fluctuante 1030 - 800	1100 - 1840	Presenta dos períodos de lluvias comprendidos entre los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre. Esta unidad climática presenta excesos hídricos durante todo el año, alcanzando valores de 867.9 mm anuales; no se reportan déficit hídricos. La época de lluvia se presenta en todos los meses del año
<b>Templado Húmedo (t – H)</b> Localizada principalmente en el centro del abanico, las estaciones representativas son Silvania y Fusagasugá	1000 - 2000	18°C - 21°C.	Fluctuante 1240 - 1040	1240 - 1840	Presenta dos períodos lluviosos; el primero en los meses de marzo a mayo, y el segundo entre los meses de octubre y noviembre. Los excesos hídricos se manifiestan en épocas lluviosas, alcanzando valores de 504.4 mm anuales, no presenta déficit hídrico.
<b>Templado Seco (t - S)</b> Localizada en el centro del abanico, en el área de influencia de la estación de Pandí	1000 - 2000	22°C - 23°C	Fluctuante 1410 - 1250	1080 - 1300 mm	Presenta dos períodos de lluvias, el primero en los meses de marzo, abril y mayo y el segundo de octubre a noviembre. El déficit hídrico, alcanza valores de 90.8 mm anuales y se presenta principalmente en los meses de agosto y septiembre. El exceso hídrico alcanza valores de 83.7 mm anuales y se manifiesta principalmente en las épocas de lluvias. Un déficit de humedad se presenta en los meses de julio y agosto, mientras que los meses restantes corresponden a la época húmeda

## 1.5 Muestreo y análisis

Este estudio se llevó a cabo a lo largo de un transecto EW, y 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 1.4, dos perfiles en páramo y subparamo, 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 y 22 muestras no alteradas para los estudios micromorfológicos.

En el páramo de Sumapaz del municipio de Usme en el sector los Tunjos y laguna de Chisaca, se describió el perfil denominado JS1 a una altitud de 3940 msnm y correspondiente al relieve montañoso estructural-glaciario-denudativo; en el municipio de Pasca en la vereda Juan Viejo y a una altitud de 3280 msnm, en el abanico coluvio-diluvial muy inclinado se describió el perfil JS2. 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.

**Figura 1.4** Secuencia geomorfo-climática del área de estudio

En las muestras de suelos correspondientes a la fracción de suelo fino (<2 mm), se determinó: la distribución del tamaño de partículas mediante los métodos de la pipeta y Bouyocoucos utilizando como dispersante el hexametáfosfato de sodio; pH por el método potenciométrico en relación suelo:agua 1:1, 1:2, 1:3 y pasta de saturación; carbono orgánico por digestión vía húmeda (Walkley & Black); la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases extractables mediante Acetato de amonio 1N pH 7,0; cuantificación de las bases por espectrofotometría de absorción y emisión atómica; acidez, aluminio e hidrógeno intercambiables por extracción con KCl 1N; acidez extractable con cloruro de bario y trietanolamina pH: 8.2; fósforo disponible por Bray – II modificado; 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; índice melánico por el método colorimétrico; 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 pentapicnómetro, 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), y 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).

## **2.Descripción geomorfológica y morfológica de los suelos a lo largo del transecto del abanico diluvial de Fusagasugá**

### **Introducción**

En la evolución pedogenética de los suelos en relieves montañosos, el conocimiento del “*Pleistoceno*” es fundamental, para lograr identificar cambios en la configuración geomorfológica, en el clima y en los ciclos de erosión y depositación (Buol et al., 2000; Sarmiento, Gaviria, Hooghiemstra, Berrio & Van der Hammen, 2008). La identificación de paleosuelos contribuye a entender la complejidad genética en cuanto a su origen y evolución, permitiendo tener una mayor perspectiva de la dinámica espacial y temporal de los suelos actuales, lo que permitirá establecer criterios de calidad y de uso y manejo.

La geomorfología es fundamental para dilucidar la dinámica y formación del abanico diluvial de Fusagasugá asociado a la influencia de la alta montaña, así mismo el clima y el material parental a su vez determinan el contenido pedológico. La alta montaña incluye las culminaciones altitudinales de las cordilleras andinas por encima de los 3200 metros, cuya principal característica geomórfica se relaciona con el modelado glaciar heredado y la influencia de la actividad volcánica proveniente de la Cordillera Central.

Nuestro objetivo fue identificar las relaciones geomorfo pedológicas a lo largo de la toposecuencia, desde la parte alta hasta la base del abanico, por lo tanto, para poder relacionar los aspectos genéticos y funcionales de los suelos del abanico de Fusagasugá, es importante revisar las condiciones geomorfológicas de la alta montaña, teniendo en

cuenta los dos ambientes morfogénéticos, uno denudacional y otro depositacional<sup>4</sup>, con el fin de entender la génesis, evolución y distribución de los suelos desde una perspectiva geomorfológica.

## 2.1 Marco geotectónico

Colombia está en lo que se conoce como el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, que concentra las zonas de actividad tectónica y volcánica a lo largo de la costa occidental de todo el continente americano. El “Cinturón de Fuego del Pacífico” se extiende a través de las Islas Aleutianas, hacia el sur de la Península de Kamchatka en Rusia, de un lado a otro de Japón, Filipinas e Indonesia, a través de Papúa Nueva Guinea, Islas Salomón y Vanuatu y otras Islas del Pacífico hasta Nueva Zelandia (Soil Survey Staff, 1999). El país está en la placa suramericana y se encuentra rodeado de varias placas tectónicas activas, entre las cuales se tienen la placa de Nazca, la placa de Cocos y la placa del Caribe, las cuales han contribuido a la formación de la alta montaña cordillerana.

En el esquema tectónico de la formación cordillerana, son las zonas de subducción su principal causa; la placa de Nazca se está metiendo por debajo de la placa Suramericana; ese efecto, ha generado la formación de la alta montaña en Colombia y su deformación geotectónica; la placa de Nazca ha contribuido fuertemente a la formación de estos sistemas cordilleranos alto andinos. El retoque glacial y volcánico (ceniza volcánica) también ha sido fundamental en este modelado y en últimas en la arquitectura geomorfológica de estos ambientes paramunos, la formación de valles en forma de U o cóncavos, las relaciones de tipo geológico referidas principalmente a la litología y estructuras predominantes en los relieves iniciales, ligados a los procesos endógenos (tectodinámicos) que los originaron, han contribuido verdaderamente a que sean grandes cuencas altas, receptoras y almacenadoras de agua; es aquí, donde las relaciones topográficas se deben considerar a nivel de macrorelieve o relieve regional y las relaciones espaciales tienen que

---

<sup>4</sup>Denudativo se refiere al desgaste de los relieves, por acción de los agentes modeladores, como el agua, el viento y el hielo, involucrando procesos como la meteorización o alteración de las rocas, la remoción en masa y la erosión y depositacional hace relación a los procesos acumulativos de materiales, sobre las bases de las laderas de los relieves montañosos y de los valles o llanuras aluviales. Adaptado de Villota (1998).

ver con la disposición del ecosistema en el contexto medioambiental.

Las tres cordilleras se formaron en tiempos diferentes así: la Cordillera Central, la más antigua, a partir del Paleozoico superior, la Occidental a finales del Cretáceo y la Oriental, la más reciente, a partir del Mioceno, alcanzando su conformación actual durante el levantamiento plioleistocénico (IGAC, 1996).

## 2.2 Metodología

La instrumentación metodológica que se desarrolló se ha basado fundamentalmente en los preceptos metodológicos propuestos por el IGAC, consignados en IGAC (2005) y Villota (1998), en las nuevas experiencias obtenidas en el proceso de elaboración de los planes de ordenamiento territorial y en las diferentes regiones y entidades territoriales del país en las cuales el equipo IGAC ha participado activamente.

Desde 1967, el CIAF, hoy Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, ha desarrollado un sistema de clasificación del terreno basado en conceptos de fisiografía. El sistema de clasificación de terreno tiene como objetivo principal el de contar con un sistema multicategorico que involucra a la mayoría de los elementos medioambientales comprometidos en la génesis (origen, evolución, composición) de las geoformas. Mediante este sistema es posible jerarquizar una zona, utilizando imágenes de sensores remotos a diferentes escalas y para diversos niveles de detalle. El método de clasificación, establece un sistema de categorías jerarquizadas, de lo general a lo particular. Las categorías aplicables a un área, dependen del nivel de detalle, definido por la escala de trabajo, estas unidades son: Provincia fisiográfica, Unidad climática, Gran paisaje, Paisaje y Subpaisaje.

Como resultado y a partir de la fotointerpretación se obtuvo un mapa geomorfológico, el cual fue ajustado con el trabajo de campo y con las siguientes fuentes consultadas: Villota, 1980 e IGAC, 2000 y 2009. A continuación se hace una descripción a nivel de paisaje destacando las unidades de montaña anticlinal escarpada (MA) y escarpe rocoso (ER), las cuales son las unidades fuentes del abanico; el Abanico coluvial inclinado (AC) compuesto por el abanico diluvial disectado nivel superior – ápice (AD1), abanico diluvial nivel superior – cuerpo (AD2) y abanico diluvial nivel inferior – base (AD6). En la figura 2.1 se presenta

el mapa de unidades geomorfológicas del área del abanico de Fusagasugá.

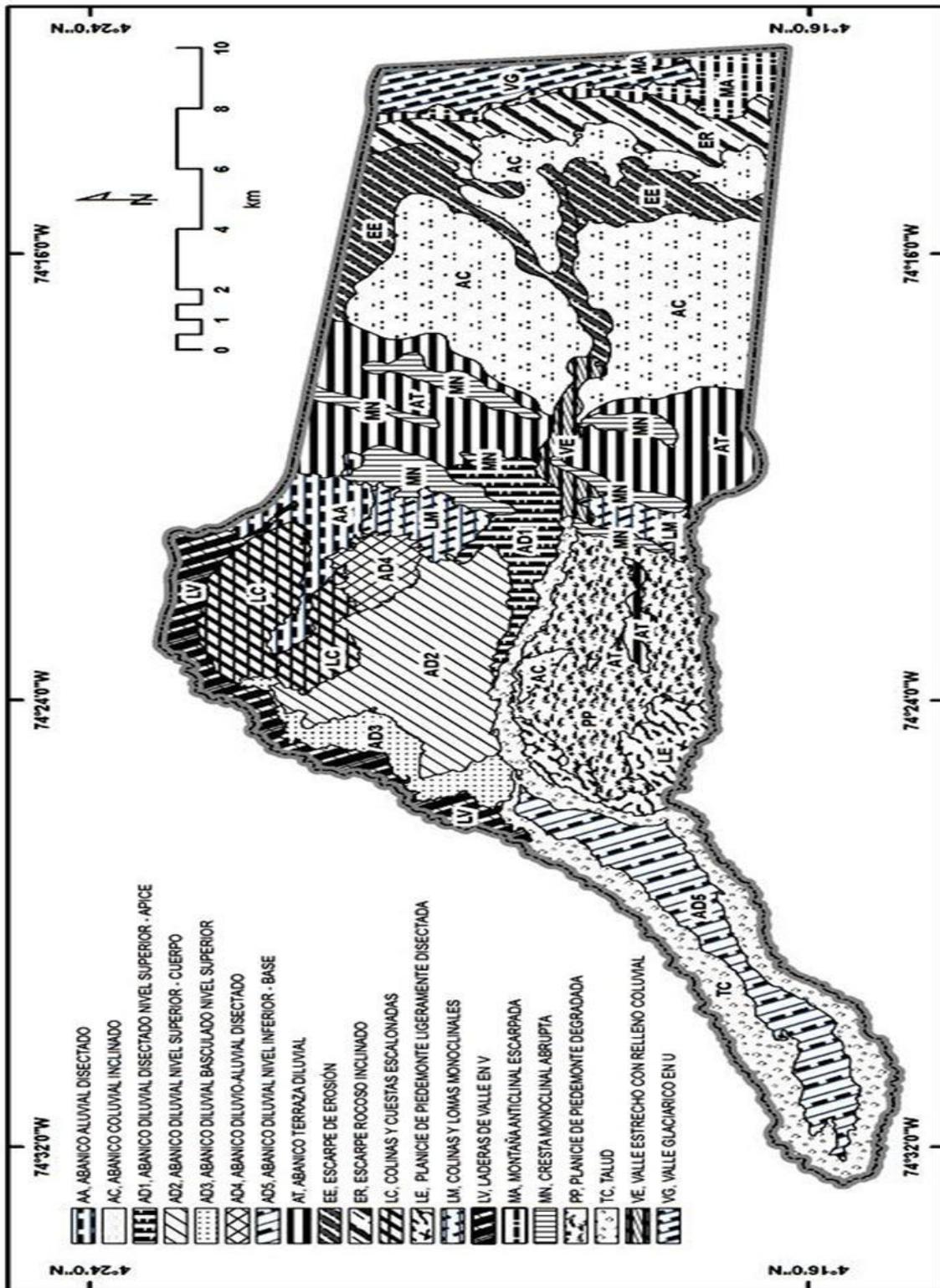
## **2.3 Descripción Geomorfológica**

En estos paisajes dominan los relieves quebrados y escarpados con pendientes de diferente forma y longitud; los drenajes son profundos, de poca a mediana longitud, en general en forma de U y de tipo dendrítico o subdendrítico. En las áreas localizadas por encima de los 3200 metros de altura son comunes los circos glaciáricos y los campos de artesas; los materiales litológicos están constituidos principalmente por areniscas recubiertas por mantos de cenizas volcánicas. La influencia de los materiales piroclásticos, en particular cenizas y lapilli, modificó y disminuyó la importancia del sustrato litológico en todas aquellas áreas donde dicha actividad fue importante. Por otra parte, dichos materiales condicionan fenómenos erosivos asociados a los efectos del agua y de la pendiente, al aumentar la inestabilidad de las laderas, situación que padece el país año tras año durante las épocas de alta pluviosidad.

En un sector amplio del gran paisaje dominan los procesos denudativos o también llamados fluvio erosionales; el material litológico está constituido por areniscas, en algunos sectores cubiertos por capas o mantos de ceniza volcánica de diferente espesor.

La influencia de la actividad volcánica proveniente de la cordillera central ha sido prácticamente permanente, al igual que la producción de sedimentos por erosión, a medida que la cordillera se elevaba bajo la acción continua variable y cambiante del clima. Estos fenómenos han modificado la apariencia externa de la cordillera Andina y el vulcanismo ha sido especialmente importante para explicar la presencia de suelos derivados de ceniza volcánica.

Figura 2.1 Unidades geomorfológicas del área del abanico de Fusagasugá



**(MA) Montaña Anticlinal Escarpada:** El relieve Montañoso Estructural-Glaciárico-Denudativo de la cordillera Oriental del Páramo de Sumapaz, corresponde al relieve montañoso fuertemente escarpado, modelado por el deshielo del último glaciar, formando valles en U (Fig. 2.2), artesas, circos, lagunas, valles glaciáricos y cuevas homoclinales con o sin ceniza volcánica; estas formas ocupan la parte norte del abanico en el flanco oriental de la cordillera Oriental y son el resultado de la fuerte acción tectónica que al disponer en distinta forma los estratos originó los diferentes tipos de relieve glacio-estructurales, posteriormente remodelados por procesos glaciares y periglaciares.

**Figura 2.2** Fotografías Páramo de Sumapaz, laguna de Chisaca, relieve Montañoso Estructural Denudativo y a la derecha señalando con línea de color amarillo amplio valle en forma de U. Fotos Sánchez (2012).



Este paisaje comprende relieves modelados por antiguos glaciares de montaña, relacionados con el período de los últimos 130.000 años del Cuaternario, correspondiente al ciclo del último interglacial-glacial-interglacial. Alrededor de 70.000 años A.P. es evidente un primer gran período frío del último glaciar, "Peniglacial Temprano"<sup>5</sup>, en el cual los glaciares se extendían hasta alturas inferiores al límite actual de las nieves<sup>6</sup>. Las condiciones

---

<sup>5</sup>Van der Hammen (1992). La Paleoecología de Suramérica Tropical. En: Historia, Ecología y Vegetación. Fondo FEN Colombia, Corporación Colombiana para la Amazonia-Araruacuara-COA y Fondo de Promoción de la Cultura. Págs. 40 - 41. Santafé de Bogotá.

<sup>6</sup>Estudios recientes de la secuencia de morrenas en la Cordillera Central Colombiana, han mostrado que allí está presente una secuencia similar a la de la Cordillera Oriental. Adicionalmente se han encontrado vestigios muy antiguos de morrenas, posiblemente de la parte temprana del último glaciar, o

climáticas que permitieron una acumulación de enormes masas de hielo fueron: una disminución de la temperatura media anual y un incremento en la precipitación; a medida que avanzaba el hielo glacial es de suponer que cabalgó sobre estas montañas, las cuales muestran la evidencia de la glaciación (figura 2.3) la cual dejó sus marcas (*estrías glaciáricas*) sobre la roca (arenisca) en el páramo de Sumapaz, modificando los relieves iniciales y dando origen a nuevos valles en forma de U.

**Figura 2.3** Estrías glaciáricas sobre la arenisca en el Páramo de Sumapaz. Foto Sánchez (2014)



Es evidente entonces que el Pleistoceno o Era Cuaternaria presenta una influencia marcada en la configuración de estos paisajes: La extensión y contracción de los hielos en respuesta a los cambios climáticos son factores que modificaron en forma importante las condiciones físicas de la alta montaña en esta región, promoviendo a su vez la configuración del piedemonte depositacional en los flancos de los anticlinales (Dueñas & Wijninga, 2003) y sinclinales (Villota, 1980), situación ya evidenciada por los múltiples trabajos realizados y dirigidos por Thomas Van der Hammen<sup>7</sup>. En esta Era ocurrieron toda

---

de la edad del penúltimo glacial. La presencia de cenizas volcánicas alternando con suelos antiguos (paleosoles) sobre diferentes morrenas, proveen una excelente forma de datar". Van der Hammen (1992). La Paleoecología de Suramérica Tropical. En: Historia, Ecología y Vegetación. Fondo FEN Colombia. Corporación Colombiana para la Amazonia-Araraucara-COA y Fondo de Promoción de la Cultura. Pág. 44. Santafé de Bogotá.

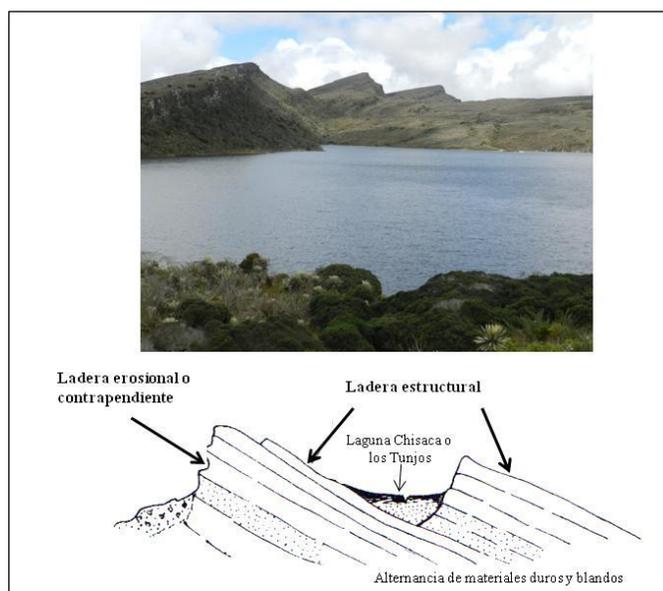
<sup>7</sup>Plioceno y Cuaternario del altiplano de Bogotá y sus alrededores, La última Glaciación en Colombia (Glaciación Cocuy; Fuquense); En revista Análisis Geográficos No. 24, IGAC (1995). Neogeno y

una serie de glaciaciones interrumpidas por periodos interglaciares durante los cuales las temperaturas se elevaron por encima de las actuales y se dieron periodos de aumento de la pluviosidad, también llamados “periodos pluviales” en la secuencia glacial-interglacial

(Clark, 1981).

Esta unidad se encuentra en la cima de la Cordillera Oriental, haciendo parte del páramo de Sumapaz en altitudes que superan los 3.600 metros, dentro del clima extremadamente frío y húmedo, caracterizado por temperaturas entre 4 y 8 °C y precipitación entre 500 y 2000 mm por año; el relieve es fuertemente quebrado a fuertemente escarpado, con pendientes mayores de 25%, de laderas medias y largas, rectilíneas y en algunos sectores ligeramente convexas; las pendientes superiores al 75% caracterizan los escarpes mayores y afloramientos de roca que se distribuyen en diferentes sectores del paisaje, conformando un relieve de anticlinales, monoclinales y valles en forma de U con una secuencia de monoclinales (Figura 2.4).

**Figura 2.4** Monoclinales páramo de Sumapaz. Foto Sánchez (2012)



Corresponden a geoformas mayormente controladas por la estructura geológica (Zinck, 2012) dado que el control geoestructural actuó por intermedio de la tectónica; posteriormente por el modelamiento del paisaje dado por la influencia del volcanismo y/o de la litología. Por lo tanto, la geodinámica interna ha sido determinante en la formación de estas geoformas, en combinación con procesos externos de erosión y la disección de estos relieves estructurales por erosión mecánica; la deposición de cenizas volcánicas

alteró la configuración original de este relieve estructural.

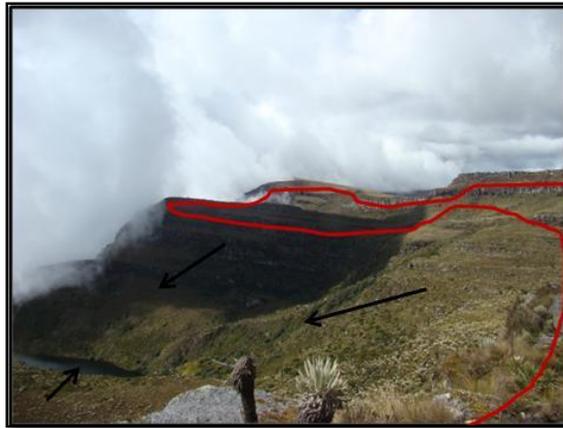
En los relieves monoclinales, los estratos de roca se inclinan en una sola dirección con buzamiento variable hasta  $45^\circ$ , ver figura 2.5. Estratos de rocas duras (arenisca) sobreyacen a rocas más blandas (arcillolitas, lutitas, shales). El binomio roca dura/roca blanda se repite en el paisaje, siendo su constante en este mosaico montañoso, con la formación de relieves plegados con pliegues simétricos en secuencias regulares de altos estructurales (anticlinales) y bajos estructurales (sinclinales) (Zinck, 2012) en su forma original, derivados por el control tectónico de sobrecorrimiento (cabalgamiento) y pliegues complejos; también es común la presencia de relieves fallados o derivados por fallas o fracturas.

**Figura 2.5** Alternancia de materiales duros y blandos en relieves estructurales del páramo de Sumapaz. Foto Sánchez (2014)



**(ER) Escarpe Rocoso:** Ocupa las geformas denominadas escarpes mayores dentro del paisaje montañoso, en un relieve fuertemente escarpado, con pendientes mayores de 75%, de laderas medias y largas, rectilíneas; las pendientes superiores al 75% caracterizan los escarpes mayores y afloramientos de roca que se distribuyen en diferentes sectores de este paisaje.

**Figura 2.6** Fotografía señalando con línea de color rojo el escarpe. Fotos Sánchez (2012)



En la figura 2.6, la fotografía muestra el Escarpe Rocoso y Erosional, en el cual hay un hundimiento vertical de pendiente extremadamente empinada lo que corresponde al área fuente del abanico de Fusagasugá. En este caso el suministro de los materiales del abanico estuvo condicionado por la topografía y los materiales litológicos ejercieron una considerable influencia tanto en el ápice como en el cuerpo y base del abanico. El escarpe es regular en el sentido de que está muy poco disectado debido a la uniformidad y dureza de la roca que lo conforma que corresponde a la arenisca de la formación Guadalupe, ver figura 2.7.

**Figura 2.7** Imagen de satélite Landsat de la zona de estudio, la línea de color amarillo señala el escarpe, Fuente: IGAC (1996)



**(AC) Abanico coluvio-diluvial inclinado:** Relieve correspondiente a una planicie inclinada y

ondulada de superficie irregular, que se extiende al pie del sistema montañoso conservando la morfología de un abanico; a nivel local y de acuerdo con Villota (1980) son conos – talud coalescentes, con cimas subredondeadas y amplias e interfluvios ligeramente ondulados, actualmente afectados por procesos denudacionales de erosión hídrica laminar, solifluxión y reptación. Los materiales iniciales son terciarios y cretácicos, principalmente arcillolitas y areniscas, los cuales por procesos orogénicos y fuerzas tectónicas han conformado estos paisajes, posteriormente recubiertos por mantos de ceniza volcánica post terciaria y cuaternaria. El agua, la litología, las fuerzas tectónicas y el hielo son los agentes morfogenéticos que han causado esta depositación de acuerdo a las condiciones ambientales prevalecientes en su momento y esta geoforma resultante es generalmente más homogénea que las geoformas controladas por la estructura interna.

Actualmente estas geoformas representan sistemas importantes ubicados al oriente del abanico, tanto por su amplitud y altitud como por ser áreas de amortiguación, recarga de acuíferos y productoras de agua; hoy día estas tierras son utilizadas tanto en agricultura como en ganadería y representan un renglón importante en la economía de la región, ver figura 2.8.

**Figura 2.8** Fotografía mostrando el abanico coluvio-diluvial inclinado (AC) y de superficie ondulada, municipio de Pasca Cundinamarca, Foto Sánchez (2013)



**(AD1) Apice del Abanico diluvial:** Son depósitos diluviales que han rellenado la depresión de Pasca, de relieve ondulado, inclinado y disectado; a nivel local son lomas y colinas con cimas amplias y redondeadas; los materiales litológicos constitutivos son arcillas

no consolidadas sobre cantos subangulares de areniscas y lutitas (Villota, 1980). El paisaje se formó cuando sucesivos flujos diluviales emergieron desde las partes altas (MA y ER), explayándose sobre terrenos más bajos y abiertos y de relieve plano, cubriendo anteriores depósitos y posteriormente fue disectado por el río Cuja y otros cauces, y modelado también por procesos denudacionales, ver figura 2.9.

**Figura 2.9** Abanico diluvial; subpaisaje: Apice (AD1) de superficie ondulada, municipio de Pasca Cundinamarca, Foto Sánchez (2013)



**Cuerpo del Abanico diluvial (AD2):** Corresponde a formas agradacionales formadas por sucesivos flujos diluviales, originadas a partir de las fuerzas de desplazamiento en la alta montaña causadas por el agua como principal agente de transporte producto de la acción glaciárica, dando origen a la conformación de un abanico-mesa denominado cuerpo del abanico, que es actualmente una espesa capa de sedimentos. Según Khobzy (1969), dicha sedimentación pudo presentarse en las últimas épocas frías del Cuaternario antiguo, caracterizado por lluvias torrenciales y continuas.

El depósito actual rellena el sinclinal de Fusagasugá-Chinauta entre las cotas de los 1800 a 800 metros, el cual pega contra la “*Cuchilla Peñas Blancas*” y posteriormente es disectado por el río Panches o Chocho, generando un talud con un desnivel de 180 metros (Fig. 2.10).

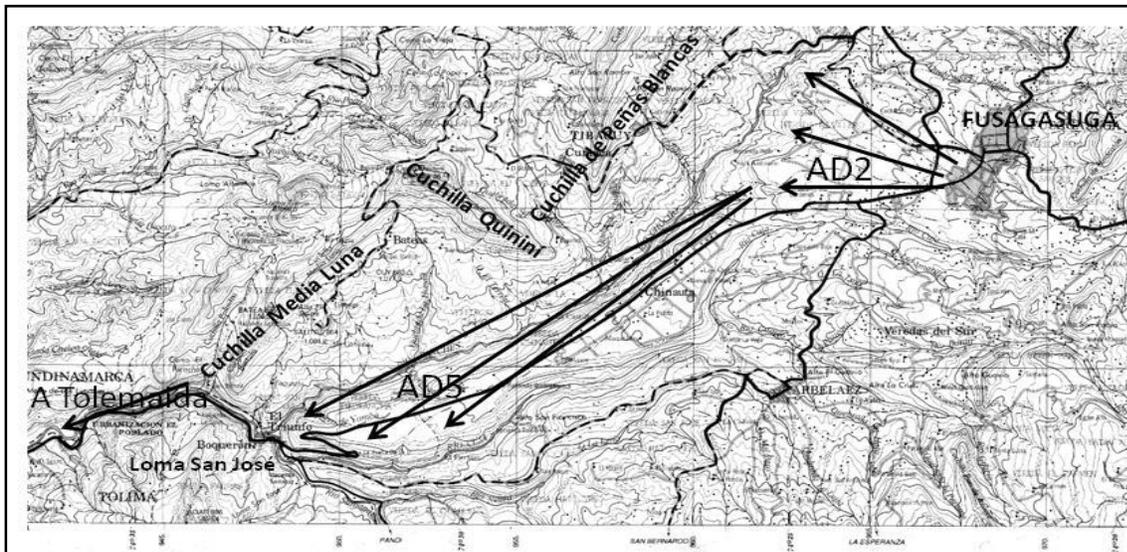
**Figura 2.10** Cuerpo (AD2) de superficie ligeramente ondulada, al fondo la cuchilla de

Peñas Blancas, Foto Sánchez (2013)



**Base del Abanico diluvial (AD5):** De acuerdo a lo señalado anteriormente, el flujo diluvial pega contra la “Cuchilla Peñas Blancas”, colmatándose y formando el cuerpo del abanico (AD2); una parte del flujo continúa desplazándose lateralmente recostado contra las “Cuchillas Quinini, Media Luna y San Bartolo” y pega nuevamente contra la “Loma San José”, se colmata y es disectado por los ríos “Panches y Cuja”, formando un talud con un desnivel de 420 metros, una parte de este flujo diluvial pasa a través de la barrera del “Boquerón” continuando encajonado por el río “Sumapaz” dando origen al abanico-mesa de Tolemaida (ver figuras 2.11 y 2.12).

**Figura 2.11** Mapa de la Cartografía base de la zona, indicando la formación del abanico principalmente del cuerpo y base del mismo (Base Cartográfica IGAC, 1994)



**Figura 2.12** Base del Abanico (AD5) de superficie plana, peaje de Chinauta (Fusagasugá),

al fondo la loma San José, Foto Sánchez (2013)



## 2.4 Discusión

La formación de este abanico, teniendo en cuenta el significado mismo de “diluvial”, está relacionado con alta torrencialidad, producto de sucesivos flujos de materiales sobre los cuales se depositaron capas más delgadas de aluviones, en principio colmataron una gran cuenca sedimentaria, al período siguiente de esta sedimentación, siguió otra de activa erosión y disección causada por el basculamiento hacia el oriente y con el borde occidental hundido de las estructuras sedimentarias, como repuesta a la adaptación tectónica (Da Porta, 1965) (ver figura 2.13). Sobre estos materiales posteriormente se depositaron 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 et al., 1974). En el depósito hay evidentes características de materiales fluvioglaciares que fueron transportados desde los 3600 msnm en el área fuente, localizado en el páramo de Sumapaz. El ápice del abanico se encuentra a 1800 msnm, cerca de Fusagasugá y llega hasta los 800 msnm en el sector de Chinauta (Patiño, 2012).

**Figura 2.13** En el área de Chinauta se muestra el basculamiento de los bloques.



Por lo tanto, los materiales que conforman los depósitos actuales fueron producto de grandes deslizamientos ocurridos en las cabeceras del río Cuja y en diferentes periodos de tiempo, estimulados por los movimientos tectónicos que afectaron la región durante las manifestaciones orogénicas del Pleistoceno (Villota, 1980; IGAC, 2005; INGEOMINAS, 2001, 2002), corroborando lo planteado por Jungerius (1976), que al estudiar las mismas unidades sostuvo que es evidente la remoción por tectonismo y subsecuente depositación de la masa de escombros de Pasca y Fusagasugá, de acuerdo también con Da Porta (1965) como ya se anotó anteriormente.

Se acepta también que producto de la actividad glaciárica la fuente de estos depósitos corresponde a materiales transportados y sedimentados en un ambiente morfogenético y que fueron retransportados ladera abajo por las aguas de deshielo (Khobzi et al., 1973; Villota, 1980). Sin embargo, es la actividad tectónica la que conllevó a la formación de lo que se conoce actualmente como el “Abanico de Fusagasugá”.

## 2.5 Morfología de los suelos

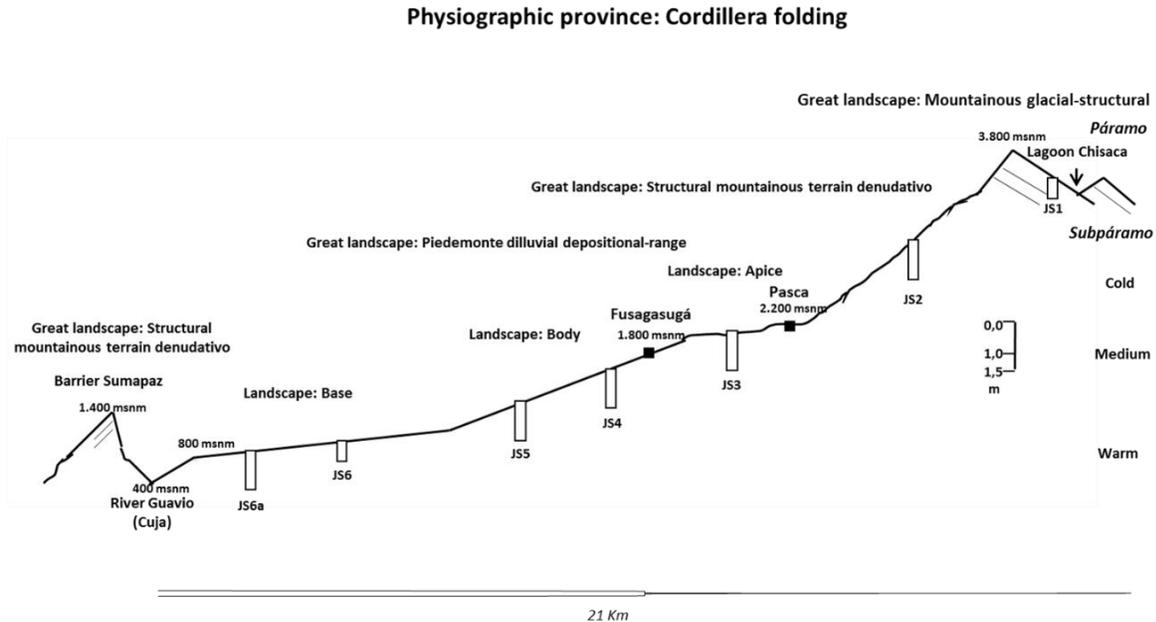
Para dar alcance con el cumplimiento de los objetivos en el sentido de establecer las relaciones geopedológicas y climáticas y a fin de esclarecer el origen y evolución de los suelos del abanico de Fusagasugá, se requiere caracterizar el cuerpo natural suelo siguiendo un hilo conductor desde lo MEGA 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 (Figura 2.17). De cada

horizonte, y una vez demarcados los límites de los mismos, 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 levantamiento de suelos, lo cual no es objeto de este estudio.

A continuación se hace una descripción morfológica de los suelos representativos estudiados y de las propiedades químicas y físicas de los mismos, dando mayor énfasis a la textura del suelo dada su relación con los procesos de iluviación de arcilla y de las discontinuidades litológicas. En la figura 2.17, se presenta el perfil de la secuencia geomorfo-edafo-climática del abanico diluvial de Fusagasugá y la ubicación de los perfiles descritos en campo, caracterizados, analizados y clasificados de acuerdo con la taxonomía de suelos 2010.

**Figura 2.14** Secuencia topográfica de los perfiles de los suelos del abanico diluvial de Fusagasugá, Colombia, desde el Páramo de Supamaz. La escala vertical de los perfiles (a la derecha) es exagerada con respecto a la del relieve. 1 y 2 son Melanudands, 3 es Paleudults, 4 y 5 Paleudalfs y 6 y 6a Haplustalfs.



### 2.5.1 Descripción Morfológica de los suelos

Los suelos representados por el perfil **JS1** y clasificados como **Lithic Melanudands** se localizan en la ladera estructural del relieve Montañoso Estructural-Glaciárico-Denudativo, en pendiente inclinada (7-12%); el clima es muy frío muy húmedo y corresponde al páramo, presenta excesos hídricos durante todo el año y no se reporta déficit de humedad, el suelo es uniformemente oscuro o negro, tiene la apariencia de un perfil A-R, donde el horizonte Ah se caracteriza por una fuerte acumulación de amorfos orgánicos y minerales y, presenta fuerte humificación. En el anexo 1 se presenta el perfil del suelo en el que se destaca el oscuro horizonte Ah. La textura al tacto es franco limoso y dado la dificultad que tienen estos suelos de dispersarlos eficientemente en el laboratorio, hace que el análisis granulométrico no sea fácil de realizar, por lo que la prueba al tacto o también conocida como *método organoléptico* de campo es fundamental para determinar con una mejor certeza su clase textural. En relación con la profundidad del horizonte este puede variar entre 28, 36 y 41 cm de espesor por lo que para su clasificación se tomó un valor promedio.

Los materiales amorfos inorgánicos y orgánicos generan en estos suelos propiedades químicas exclusivas, como alta capacidad de cambio catiónico y aniónico (dependiente del pH del medio), alto poder buffer en función del alto valor de las cargas dependientes del pH; alta retención de fósforo; aluminio y hierro activos altos, escaso contenido de bases y, por tanto baja saturación de éstas, cuantificadas con la capacidad de cambio catiónico valorada a pH 7.0. El grado de acidez es fuertemente ácido (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Características químicas de los suelos estudiados

PERFIL	Prof. cm	HTE	CIC cmol(+)/Kg	Ca cmol(+)/Kg	Mg cmol(+)/Kg	K cmol(+)/Kg	Na cmol(+)/Kg	BT cmol(+)/Kg	Sat Bases %	C.O %	P mg/Kg	pH (1:1)	CaCO3 Cualitativo	Aluminio		Al Activo (Oxalato) %	Fe activo (Oxalato) %	Al + 1/2Fe	RETENCIÓN FOSFÓRICA %
														cmol(+)/Kg	Sat %				
JS - 1	00 - 28	A	66,7	0,48	0,21	0,23	0,17	1,09	1,6	16,9	3,3	4,3	-	9,3	89,5	1,71	0,54	1,98	84,72
JS - 2	00 - 30	Ap	43,0	0,38	0,08	0,27	0,04	0,77	1,79	8,8	20,5	4,8	-	5,3	87,3	1,58	0,86	2,01	91,91
	30 - 49	A	30,4	0,35	0,06	0,11	0,04	0,56	1,84	3,1	3	4,7	-	4,2	88,2	0,98	0,96	1,46	92,55
	49 - 70	2Btg1	24,2	0,61	0,25	0,08	0,06	1	4,13	0,96	ND	4,8	-	11,7	92,1	0,44	0,54	0,71	-
	70 - 120	2Btg2	21,2	0,48	0,37	0,12	0,37	1,34	6,32	0,26	ND	4,7	-	14,6	91,6	0,29	0,71	0,645	-
JS - 3	00 - 23	Ap	24,5	20,5	2,4	2	0,17	25,07	102,33	2,3	1174	7,5	++	-	-	0,25	0,96	0,73	-
	23 - 54	2Btg1	23,5	3,4	0,81	0,81	0,1	5,12	21,79	0,60	31,2	4,6	-	15,2	74,8	0,23	0,27	0,365	-
	54 - 70	2Btg2	21,7	1,8	0,86	0,62	0,06	3,34	15,39	0,33	19,5	4,5	-	16,8	83,4	0,22	0,2	0,32	-
	70 - 92	2Btg3	21,9	1,4	0,91	0,52	0,06	2,89	13,20	0,36	11,9	4,5	-	13,8	82,7	0,24	0,64	0,56	-
	92 - 120	2Btg4	18,8	0,71	0,77	0,47	0,08	2,03	10,80	0,17	15,2	4,5	-	14	87,3	0,17	0,51	0,425	-
JS - 4	0 - 25	A	11,1	6,2	0,59	0,08	0,16	7,03	63,30	1,5	12,1	6,6	-	-	-	0,11	0,04	0,13	-
	25 - 45	Btg1	12,3	4,8	0,74	0,08	0,28	5,9	48,00	1	0,14	6,5	-	-	-	0,14	0,35	0,315	-
	45 - 59	Btg2	10,1	3,9	0,71	0,09	0,31	5,01	49,60	1,1	ND	6,2	-	-	-	0,12	0,35	0,295	-
	59 - 88	Btg3	7,4	2,7	0,31	0,08	0,36	3,45	46,60	0,27	ND	5,7	-	-	-	0,11	0,25	0,235	-
	88 - 110	C	7,8	3,3	0,22	0,05	0,44	4,01	51,40	0,07	ND	5,7	-	-	-	0,07	0,2	0,17	-
JS - 5	0 - 18	Ap	10,1	4,4	0,65	0,39	0,41	5,85	57,90	1,8	24,5	5,5	-	-	-	0,01	0,28	0,15	-
	18 - 56	Btg1	14,4	5,6	2,2	0,23	1,3	9,33	64,80	0,51	ND	6,8	-	-	-	0,16	0,21	0,265	-
	56 - 79	Btg2	13,4	5,4	2,7	0,21	3,6	11,91	88,90	0,11	ND	7,1	-	-	-	0,02	0,17	0,105	-
	79 - 103	Btg3	15,6	5,7	2,9	0,11	3,8	12,51	80,20	0,07	ND	7,1	-	-	-	0,1	0,17	0,185	-
	103 - 117	Btg4	17,7	10,4	3,7	0,13	4,7	18,93	SAT	0,11	1,1	7,1	-	-	-	0,1	0,14	0,17	-
JS - 6	0 - 18	Ap	4,3	1,7	0,56	0,23	0,32	2,81	65,30	0,92	5,3	6,1	-	-	-	0,02	0,15	0,095	-
	18 - 60	Bt	13,7	5,7	3,8	0,15	7,3	16,95	SAT	0,32	1,3	8,3	++	-	-	0,05	0,14	0,12	-
JS - 6a	0 - 26	Ap	3,1	2,4	0,52	0,36	0,16	3,44	SAT	0,43	75	6,3	-	-	-	-	-	-	-
	26 - 33	AB	11,9	6	3	0,23	3,6	12,83	SAT	0,42	3,2	7,7	-	-	-	-	-	-	-
	33 - 49	Bt1	20,5	17,5	5,1	0,18	6,3	29,08	SAT	0,2	14,5	8,7	++	-	-	-	-	-	-
	49 - 59	Bt2	21,3	12,7	5,4	0,2	7,8	26,1	SAT	0,24	31	8,6	++	-	-	-	-	-	-
	59 - 82	Bt3	15,1	6,7	4	0,2	7,2	18,1	SAT	0,04	48,8	8,6	+	-	-	-	-	-	-
	82 - 100X	Bt4	24,2	7,8	5,9	0,31	10,2	24,21	SAT	0,1	10,8	7,9	+	-	-	-	-	-	-

En cuanto a las propiedades físicas, la densidad aparente es inferior a 0.8 Mg/m<sup>3</sup>, porosidad muy elevada y estructura característica de ensamblaje de microagregados estables que generan bloques subangulares medios a finos de consistencia tixotrópica, es decir, pegajosa

y untuosa al tacto en estado húmedo y pulverulento en seco. La capacidad de retención de agua es muy alta, tanto a capacidad de campo como en el punto de marchitamiento (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2** Propiedades físicas de los suelos estudiados

PERFIL	Prof. Cm	HTE	Retención de agua kPa					Humedad aprovechable %	Densidad real Mg/m3	Densidad aparente Mg/m3	Macroporos %	Microporos %	Porosidad TOTAL%
			SAT	-33	-100	-500	-1500						
JS1	00 - 28	A	369,1	200,0	192,0	147,9	146,8	53,2	1,7	0,47	33,3	39,4	72,7
JS2	0 - 30	Ap	143,1	70,0	64,9	43,1	34,3	35,7	2,2	0,70	34,5	33,0	67,5
	30 - 49	AB	107,4	53,2	47,8	33,5	28,1	25,1	2,4	0,92	30,7	30,1	60,8
	49 - 70	2Btg1	78,6	44,0	43,2	28,7	24,5	19,6	2,5	1,17	23,5	29,9	53,4
	70 - 120	2Btg2	61,3	40,8	37,5	24,6	22,9	17,9	2,6	1,34	15,9	31,7	47,5
JS3	0 - 23	Ap	74,8	36,9	31,1	26,1	23,2	13,8	2,4	1,17	25,8	25,2	51,0
	23 - 54	2Btg1	87,2	46,8	44,8	38,1	35,3	11,5	2,5	1,31	22,3	25,8	48,1
	54 - 70	2Btg2	78,9	44,8	43,3	33,1	30,1	14,7	2,5	1,33	20,5	27,0	47,5
	70 - 92	2Btg3	77,2	47,1	40,2	36,8	34,3	12,7	2,5	1,31	18,9	29,5	48,3
	92 - 120	2Btg4	65,9	36,1	34,3	27,3	25,1	11,0	2,6	1,37	21,0	25,5	48,5
JS4	0 - 25	Ap	43,2	22,5	18,2	17,4	14,2	8,3	2,5	1,47	20,0	21,7	41,7
	25 - 45	AB	44,7	23,6	18,5	15,8	14,7	8,9	2,6	1,52	19,1	21,5	40,6
	45 - 59	2Btg1	39,4	23,5	21,7	17,0	12,6	10,9	2,6	1,46	17,6	26,1	43,6
	59 - 88	2Btg2	33,0	23,5	18,6	16,6	15,5	8,0	2,6	1,65	10,4	25,9	36,3
	88 - 110	2Btg3	48,4	30,2	24,0	19,5	17,2	13,0	2,6	1,57	15,2	25,3	40,5
JS5	00-18	Ap	37,3	22,2	21,8	15,6	11,9	10,3	2,5	1,34	18,9	27,7	46,6
	18-56	2Btg1	47,5	32,4	30,2	27,6	23,9	8,5	2,6	1,46	14,1	30,2	44,3
	56-79	2Btg2	47,6	35,5	33,7	31,5	28,1	7,4	2,6	1,42	11,6	34,2	45,8
	79-103	2Btv	50,2	33,4	32,4	28,1	26,9	6,5	2,5	1,53	13,3	26,5	39,8
	103-117	2Btg	72,6	42,5	41,8	34,1	32,8	9,7	2,5	1,29	20,0	28,4	48,4
JS6	0 - 18	Ap	45,2	25,1	11,5	8,2	6,6	18,5	2,5	1,57	16,4	20,5	37,0
	18 - 60	Bt	53,0	31,1	23,5	16,2	13,6	17,5	2,5	1,58	14,7	20,8	35,5
JS6a	0 - 26	Ap	32,1	15,1	11,6	10,6	9,7	5,5	2,6	-	-	-	-
	26 - 33	AB	50,7	28,6	27,0	21,5	19,7	8,9	2,5	1,74	13,1	17,0	30,1
	33 - 49	Bt1	48,4	25,6	22,7	17,9	14,4	11,2	2,6	-	-	-	-
	49 - 59	Bt2	50,6	24,4	19,9	19,1	15,2	9,2	2,5	1,82	14,5	13,5	28,1
	59 - 82	Bt3	44,7	19,8	18,6	14,6	14,0	5,9	2,6	-	-	-	-
	82 - 100X	Bt4	57,5	39,2	33,4	30,8	24,1	15,0	2,5	1,75	9,6	20,5	30,0

Los suelos descritos en el perfil modal **JS2 Ultic Melanudands**, se localizan en el abanico coluvio-diluvial muy inclinado, de pendiente 7 y 12%; el clima es muy frío húmedo y corresponde al subpáramo, también llamado páramo bajo y no presenta déficit de humedad; el perfil del suelo es un Andisol en el que se destaca el color negro de los horizontes Ap y el transicional AB y de color pardo amarillento a marrón pálido los horizontes subyacentes horizontes B de alteración (2Btg), resaltando que los horizontes B no presentan propiedades

andicas, el subíndice 2 en estos horizontes indica capas contrastantes diferentes con un cambio sustancial en la distribución del tamaño de partículas (ver Anexo 2 sobre la distribución granulométrica por el método de pipeta) lo cual indicaría diferencias en el material de origen de estos horizontes (Soil Survey Staff. 2010). Entre las propiedades químicas es notoria la alta capacidad de cambio catiónico; alta retención fosfórica para los dos primeros horizontes, así como los valores del aluminio y el hierro activos, contrastando con valores muy bajos para los horizontes B, escaso contenido de bases y baja saturación en todo el perfil; el pH corresponde a fuertemente ácido, tanto en los horizontes superficiales como en los horizontes profundos (Tabla 2.1).

En cuanto a las propiedades físicas, la densidad aparente contrasta entre los horizontes superficiales y los subsuperficiales, el primer horizonte es inferior a 0.8 Mg/m<sup>3</sup>, y en los subyacentes es mayor de 1 Mg/m<sup>3</sup>; la porosidad es alta en los horizontes superficiales y disminuye en los horizontes subyacentes presentándose allí un aumento en la microporosidad. El ensamblaje de los microagregados estables genera estructuras en bloques subangulares moderados a fuertes en los horizontes A y AB con una variante en el horizonte AB que tiene subestructura granular fina; en los horizontes B la estructura es de bloques angulares moderados a fuertes. La capacidad de retención de agua es alta, tanto a capacidad de campo como en el punto de marchitamiento, en los primeros horizontes, y baja en los horizontes subyacentes (Tabla 2.2). En estos suelos los horizontes B presentan un croma de 2 o menos con marcas de concentración *redox*.

El perfil **JS3 Typic Paleudults** representa los suelos del ápice del abanico diluvial con pendiente inclinada del 12%; el clima es frío húmedo a muy húmedo, presenta excesos hídricos durante todo el año y no reporta déficit de humedad. El perfil es de color café oscuro en el horizonte Ap, con variación en los horizontes subyacentes, de color café grisáceo en un 60% y moteados café amarillento en un 40% en los horizontes 2Btg1 y 2Btg2, café amarillento en un 60% y moteados de color gris en un 40% en los horizontes 2Btg3 y 2Btg4. La morfología del perfil muestra la secuencia Ap-2Btg1-2Btg2-2Btg3-2Btg4. En el anexo 1 se observa el perfil del suelo, en este caso un Ultisol; se destacan entre sus propiedades químicas la alta capacidad de cambio catiónico, el aluminio y hierro activos muy bajos en todos los horizontes, bajos contenidos de bases y, baja saturación en todo el perfil; el grado de acidez es muy fuerte (pH: 4.5-4.6), con una saturación de aluminio que varía entre 74 y 87% en todo el perfil, excepto

en el horizonte Ap donde se presentan altos contenidos de Ca, Mg, K, bases totales, saturación de bases, fósforo disponible y pH alto, ya que en el momento de su descripción se encontraba recién fertilizado y encalado (Tabla 2.1). La presencia de cutanes de arcilla en los horizontes Bt de los suelos define el horizonte argílico. En los suelos JS2 y JS3 el volumen de argilanes es relativamente pequeño (<1%), lo cual puede sugerir de acuerdo con Faivre (1988) que los cutanes de arcilla formados en el pasado están siendo destruidos por el entorno de la meteorización actual y por una intensa pedoturbación faunística y vegetal (Soil Survey Staff, 2010; Buol et al, 2000).

En cuanto a las propiedades físicas, la densidad aparente en todos los horizontes es mayor de 1 Mg/m<sup>3</sup>; la porosidad disminuye a menos del 50% presentándose un aumento en la microporosidad en todos los horizontes; la estructura dominante es en bloques angulares moderados a fuertes. La capacidad de retención de agua es baja tanto a capacidad de campo como en el punto de marchitez permanente (Tabla 2.2). En estos suelos el horizonte B presenta un croma de 2 o menos, con evidentes marcas redox, situación ya evidenciada por Villota (1980) y Faivre (1988).

Los suelos representados por los perfiles, **JS4 Typic Paleudalfs**, **JS5 Typic Paleudalfs**, **JS6 Typic Haplustalfs** y **JS6a Typic Haplustalfs** se localizan en el abanico diluvial, en el cuerpo y la base del mismo, en pendiente plana del 1%; en los suelos JS4 y JS5 el clima es templado subhúmedo no reportando déficit hídrico, y templado seco para los suelos JS6 y JS6a, en estos el déficit hídrico alcanza valores de 90.8 mm anuales y se presenta principalmente en los meses de agosto y septiembre. Los horizontes A presentan colores que oscilan entre pardo oscuro, café, pardo, pardo grisáceo muy oscuro, gris oscuro, pardo oscuro y negro, la morfología del perfil tiene la siguiente secuencia: Perfil JS4: Ap-AB-2Btg1-2Btg2-2Btg3; Perfil JS5: Ap-2Btg1-2Btg2-2Btv-2Btg-2Cv; Perfil JS6: Ap-Bt y Perfil JS6a: Ap-AB-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4.

Presentan baja capacidad de intercambio catiónico con algunas excepciones en los horizontes Bt1, Bt2 y Bt4 del suelo JS6a, el aluminio y hierro activos son bajos, altos contenidos de bases y alta saturación; el pH varía de neutro a básico (Tabla 2.1). Se presentan en su morfología actual cutanes de arcilla delgados en los horizontes Bt. En cuanto a las propiedades físicas, la densidad aparente en todos los suelos es mayor de 1 Mg/m<sup>3</sup>, la porosidad disminuye en todos los suelos a valores por debajo del 50% presentándose un aumento en la microporosidad; la estructura en los horizontes A oscila entre bloques subangulares moderados, medianos y

finos, bloques subangulares muy finos y medianos, débilmente desarrollados, bloques angulares moderados a fuertes, gruesos, medianos, bloques angulares moderados, medianos y finos y bloques subangulares muy finos, débilmente desarrollados. La capacidad de retención de agua es baja a muy baja, tanto a capacidad de campo como en el punto de marchitez permanente (Tabla 2.2). En estos suelos la mayoría de los horizontes tienen cromas de 2 o menos, que en micromorfología se denominan edaforrasgos redox, las características redoximórficas en las últimas décadas se han denominado con varios nombres los cuales incluyen: moteados rojizos, moteados grises, manchas de gleyzación, concreciones de hierro, nódulos de hierro, plintita, gley (Lindbo et al, 2010) y están definidas como características asociadas con la humedad en el suelo que resultan de la reducción y oxidación del hierro (Fe).

## 2.6 Textura

De acuerdo con Duchaufour (1978) en el campo pedológico, el análisis textural permite establecer discontinuidades litológicas y la traslocación de arcilla. Según Salazar, Gonzalez, & Arias, (2008) la presencia de discontinuidades litológicas es frecuente en el Altiplano de Santa Rosas de Osos en el departamento de Antioquia y en el oriente Antioqueño cercano, lo cual ha permitido identificar depósitos de diversas edades y varios tipos de pedogénesis que se superponen a los diferentes materiales encontrados. Así mismo Steven, Lee, & Steven, (2012) evaluaron las discontinuidades litológicas y la uniformidad del material parental y sus implicaciones en arqueología y en conservación de suelos en las tierras altas del estado de Texas.

Los datos del tamaño de partículas por pipeta y de textura por Bouyoucos para los suelos estudiados se presentan en el Anexo 2. Los horizontes Bt muestran un marcado aumento en el contenido de arcilla (>20%), igualmente la estructura corresponde a bloques angulares de consistencia en húmedo firme a muy firme, el alto contenido de arcilla con sólo pequeñas cantidades de limo fino, limo medio y arena muy fina como ocurre en los suelos JS3, JS5 de 18 a 117 cms y JS6a en el hte Bt4 (Tabla 2.3), indican la presencia de discontinuidades litológicas y sí, estos datos se asocia a los bajos cromas con matrices grisáceas en los horizontes Btg, se tiene que estos materiales se depositaron en condiciones ambientales diferentes a las actuales, probablemente condiciones muy marcadas de periodos secos y húmedos.

De acuerdo con la hipótesis planteada en el proyecto de investigación, era de esperarse que los suelos estudiados presentaran incrementos de arcilla a profundidad, toda vez que el

transecto permite ubicar en la parte alta del abanico, suelos derivados de ceniza volcánica cuyas condiciones de alta humedad genera procesos en los que el producto de la alteración es la alófana y cuyo grado de evolución varía desde moderado (Andisoles); y hacia la parte media y baja: cuerpo y base del abanico, respectivamente, la presencia de suelos de mayor estado evolutivo (Ultisoles y Alfisoles). Los procesos más importantes en la edafogénesis de los primeros han sido las transformaciones, las ganancias y las pérdidas, mientras que en los segundos ha predominado la translocación de arcilla en cantidad suficiente para desarrollar un horizonte argílico (Bt) en el perfil. La presencia de suelos evolucionados: Ultisoles y Alfisoles señala la acción del proceso de iluviación de arcilla y en los Alfisoles, además, una condición de humedad más seca.

**Tabla 2.3 Contenidos de la fracción arena muy fina y limo medio y fino**

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.

En la tabla 2.4, 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

kiloPascales, 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, valores entre 0,3 y 0,4 son moderadamente evolucionados y menos degradados, y valores por encima de 0,5 para suelos recientes.

Así mismo, en la tabla 2.5 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 (Tabla 2.3). Se encontró que 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.

Se evidencia la relación existente entre los datos de la tabla 2.3, con el contenido de arcilla, arena muy fina, limo fino y limo medio, la tabla 2.4 del índice de Comerma y la tabla 2.5 del índice de “desgaste” de Martini ( $I_w = \text{CIC Ar}/\%Ar$ ), 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 2.4** Relación Contenido de Arcilla en % vs retención de agua a -1500 kPa (Índice de Comerma)

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

De acuerdo con lo anterior, estos resultados indican, que hubo épocas pedoambientales diferentes a las actuales que dejaron sus huellas en los suelos y horizontes que se resaltan en la tabla 2.6, lo que 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, significando 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.

**Tabla 2.5** Índice de desgaste de Martini (Benavides, 1974)  $I_w = \text{CIC Ar} / \% \text{Ar}$

No. Perfil	Prof. Cm	Ar %	CIC cmol/Kg	CO %	MO %	CIC cmol/Kg en Ar	INDICE DE DESGASTE 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



# 3. Mineralogía de los suelos

## Introducción

Las fases sólidas inorgánicas controlan los procesos físico-químicos en los suelos, por lo que es importante tener en cuenta: 1) identificar y cuantificar los minerales del suelo que se producen y su distribución; 2) caracterizar las propiedades físicas y químicas asociadas con la mineralogía; 3) determinar los procesos asociados a las transformaciones de los minerales en los suelos, y 4) evaluar la naturaleza y el impacto de las interacciones de las fases minerales con otros componentes del suelo. Este enfoque conduce a una mejor comprensión para conocer el origen y evolución y por ende la gestión y utilización del recurso suelo (Soil Science Society of America, 2005).

La mineralogía del suelo es uno de los principales factores de control a largo plazo de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Cole, citado por Stendhal, Sven Snällb, Olssona & Holmgrenc, 2002), sobre todo, desde los horizontes del suelo más profundos y es de importancia para la productividad de las tierras (Fischer & Binkley, citado por Stendhal et al., 2002). El origen de los minerales de arcilla en los suelos se puede dar en las siguientes tres categorías generales: (1) herencia de los materiales parentales; (2) transformación de minerales primarios, y (3) neoformación, por ejemplo precipitación en la solución del suelo (Allen & Hajek, citado por Grahama & O'Geenb, 2010).

El conocimiento de la composición mineralógica del suelo permite determinar, entre otros aspectos, la capacidad potencial que tiene éste para suministrar nutrientes a las plantas, la naturaleza de los factores y procesos de formación y el curso del proceso evolutivo, así como la intensidad de los procesos de meteorización y alteración que ha afectado los materiales originales. La fracción mineral del suelo está compuesta por la fracción gruesa (arena y limo) y la fracción fina (arcilla). La fracción arenosa constituye una reserva potencial de nutrientes

y la fracción arcillosa determina la actividad físico-química del suelo (IGAC, 1995).

De acuerdo con los levantamientos y estudios de suelos del País (IGAC, 2008 a 2014), la constitución mineralógica de la fracción arena en los suelos de la región Andina, esta ligada a la naturaleza de los materiales geológicos y a las condiciones climáticas. El flanco oriental de la cordillera Oriental se caracteriza por estar en su mayoría constituido por rocas sedimentarias del Cretáceo y del Terciario y el flanco occidental que bordea los departamentos de Cundinamarca y Huila, por amplios sectores recubiertos por mantos de ceniza volcánica de espesor variable. Por lo anterior, el cuarzo es el mineral dominante (cerca del 70%) en la fracción arena de los suelos de la cordillera Oriental, desarrollados a partir de rocas sedimentarias y ocupa un segundo plano en los derivados de cenizas volcánicas; en los primeros los contenidos de feldespatos son apreciables, mientras que en los segundos hay dominancia de muscovita y biotita. El cuarzo puede encontrarse como único constituyente de la fracción arena en amplios sectores del flanco oriental; también puede estar agrupado indistintamente con feldespatos, micas (muscovita y/o biotita), anfíboles (hornblenda) y vidrio volcánico (Sánchez, 2013). En cuanto a la fracción arcillosa, está integrada fundamentalmente por materiales amorfos producto de la alteración de la ceniza volcánica, especialmente en los pisos térmicos más fríos, alternando con suelos donde la caolinita es el mineral dominante, la cual se le asocia con micas, cuarzo e intergrados 2:1-2:2 en menor cantidad y en sectores de climas templados. La ocurrencia de estos minerales en los medios edáficos se asocia con dos posibles causas: a) áreas muy quebradas donde las cenizas volcánicas se pierde por erosión y los suelos se desarrollaron a partir de los materiales geológicos, y b) zonas donde la caolinita de los suelos resulta de la evolución y cristalización paulatina de los materiales alofánicos. Por lo anterior, las asociaciones más frecuentes en estas áreas son alofana y/o caolinita y caolinita-alofana; en menor proporción se encuentran caolinita-micas, caolinita-cuarzo y caolinita-intergrados 2:1-2:2 (Sánchez, 2013).

### **3.1 Materiales y Métodos**

La mineralogía de las arenas (fracción de tamaño entre 50 y 250 micras) fue estudiada bajo el microscopio petrográfico en preparaciones de granos inmersos en salicilato de metilo (IR= 1,539); para la cuantificación de los minerales se utilizó el cálculo de la frecuencia relativa de abundancia, mediante el conteo de 100 a 300 granos. Para el estudio de la mineralogía

de las arenas en los suelos derivados de ceniza volcánica se requiere hacer el análisis tanto para la fracción liviana como para la fracción densa, en cuya separación se utiliza bromoformo con una densidad de  $2,89 \text{ g cm}^{-3}$ ; la fracción liviana ( $<2.89 \text{ g cm}^{-3}$ ) y la fracción

densa ( $>2.89 \text{ g cm}^{-3}$ ).

Por otra parte, el análisis de difracción de rayos Xs facilita la identificación de los minerales cristalinos componentes del suelo, mediante estimaciones semicuantitativas de las cantidades relativas de los mismos y es comúnmente aplicado en la fracción arcillosa. La identificación tiene en cuenta la distancia interlaminar de los planos atómicos característica de cada mineral de acuerdo con la Ley de Bragg (Soil Survey Staff, 2014). Debido a que las estructuras de las capas de los minerales arcillosos son muy similares de un mineral a otro, excepto en la dirección perpendicular, las reflexiones basales tienen un significado esencial para la identificación, ya que las estructuras en capas da lugar a que las líneas más intensas en sus difractogramas provengan de los planos basales, por lo tanto, en la identificación de las especies mineralógicas son determinantes los efectos de varios tratamientos sobre los espaciamentos basales de los filosilicatos (saturación de las muestras con cationes K y Mg, glicolación o glicerolación de las arcillas expandibles, generalmente se recomienda la utilización de etilen-glicol y calentamiento a  $550^{\circ}\text{C}$ ) (IGAC, 1995).

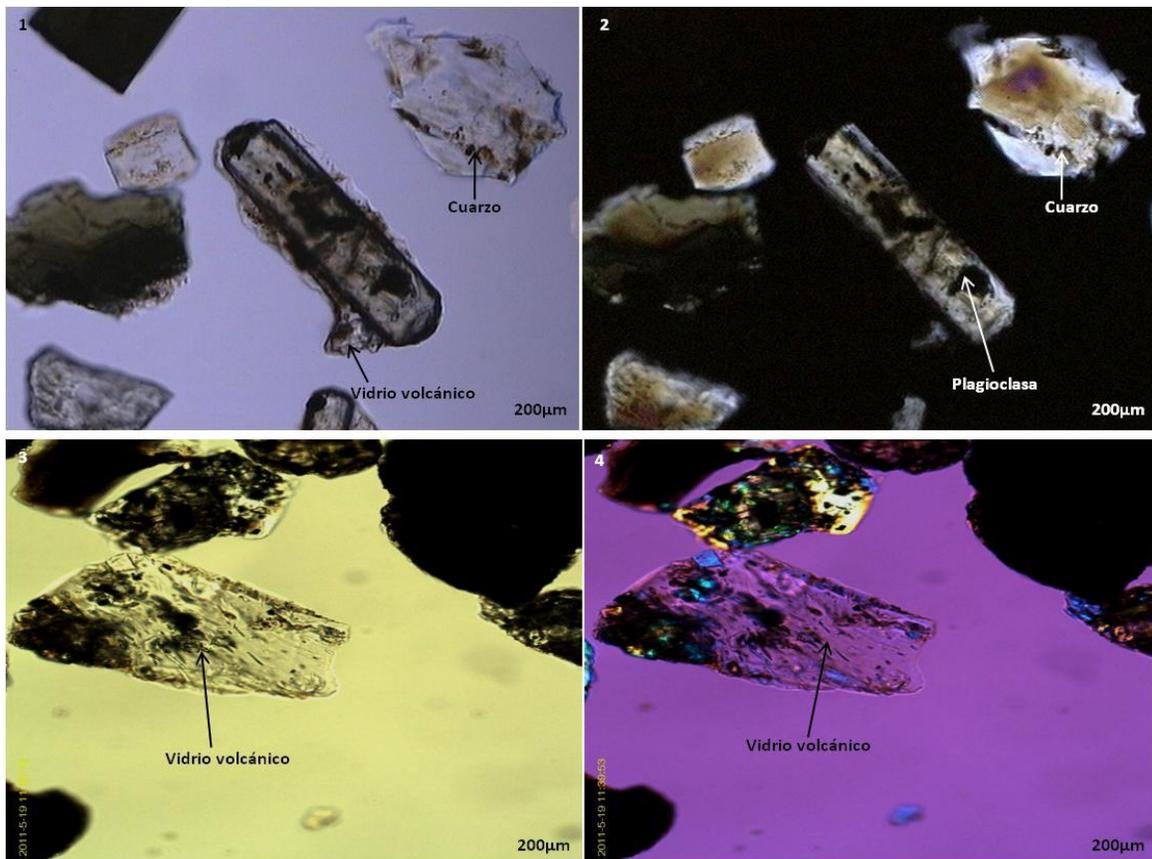
### 3.1 Resultados Mineralogía de Arenas

La Tabla 3.1 muestra los resultados del examen al microscopio de la fracción liviana para el perfil JS1. Los minerales de esta fracción liviana dominan en un 96,2%, lo cual es consecuente de acuerdo con Shoji & Takahashi (2002) en el sentido de que los minerales primarios de la fracción liviana predominan en suelos derivados de cenizas volcánicas entre 70 y 95%, el tamaño de los granos es heterométrico, los feldespatos son de la serie plagioclasa, el hábito es en cristales tabulares y gran parte de los granos están recubiertos con vidrio volcánico (Figura 3.1).

**Tabla 3.1** Resultados del examen al microscopio de la fracción liviana y densa Perfil JS1

Perfil	Profundidad cm	Minerales	Fracción Liviana %	Fracción Densa %	Porcentaje de la Fracción Liviana	Porcentaje de la Fracción Densa
JS1	0 - 22	Feldespatos	55		96,2	3,8
		Vidrio volcánico	35			
		Cuarzo	4			
		Fragmentos de toba	6			
		Hornblenda		62		
		Lamprobolita		2		
		Hiperstena		28		
		Magnetita		8		
		Circón		tr		

**Figura 3.1** Perfil JS1 Lithic Melanulands Fracción densa. (1) y (3) NP; (2) NX y (4) NX mas la cuña de yeso

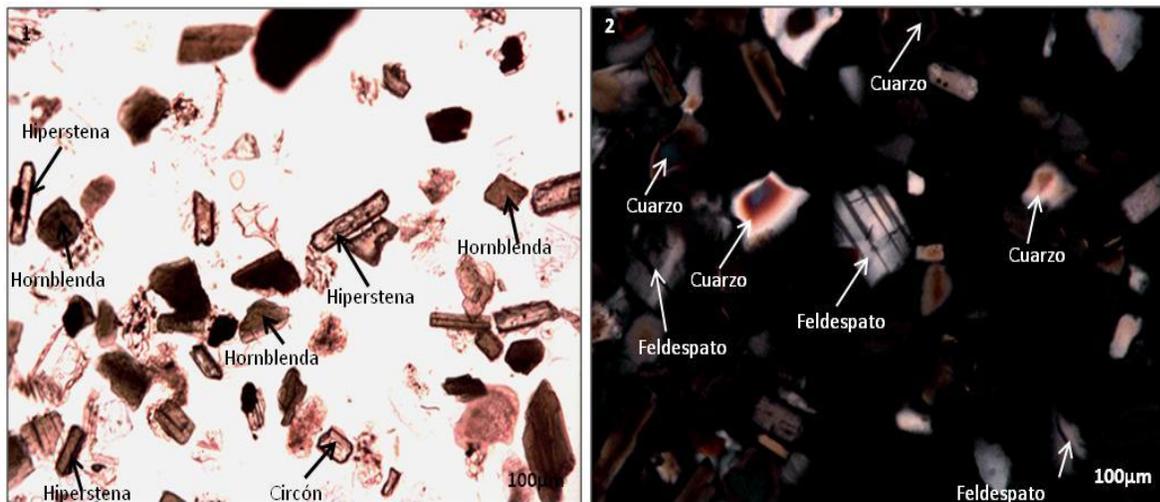


El vidrio volcánico se encuentra como unidades independientes y recubriendo granos de feldespatos, el cuarzo está en granos irregulares subredondeados y restos de toba,

en los que se destacan una matriz vítrea que embebe cristales pequeños de feldespatos; la abundancia sigue la secuencia: feldespatos plagioclasa >> vidrio volcánico >> cuarzo. Se destaca la presencia de vidrio volcánico de tipo ácido.

Así mismo en la tabla 3.1 se muestran los resultados del análisis al microscopio de la fracción densa de la arena del mismo perfil, correspondiendo a sólo una pequeña fracción de las cenizas volcánicas cuya proporción es del 3,8%, el tamaño predominante oscila entre 150 y 200 micras de diámetro equivalente. La magnetita es la que se encuentra en cristales de menor tamaño (100 a 150 micras de diámetro), la morfología de los anfíboles y piroxenos es en prismas y algunos tabulares, no hay signos de alteración química, más del 80% de los granos contabilizados están recubiertos con películas de vidrio volcánico, se excluye la lamprobolita que se conoce como anfíbol volcánico. La abundancia sigue la siguiente secuencia: hornblenda > hiperstena >> Magnetita > circón (Figura 3.2).

**Figura 3.2** Perfil JS1 Lithic Melanudands (1) Fracción densa NP (2) Fracción liviana NX.



En el perfil JS2, el cuarzo y los feldespatos son los minerales principales en la fracción arena fina a muy fina (Tabla 3.2). Los granos son subredondeados y subangulares debido al transporte y retransporte. Los minerales opacos son generalmente minerales redondeados, de color rojo a rojo amarillento en la luz reflejada, probablemente hematita. Se presenta

anfíboles, piroxenos y vidrio volcánico.

Los granos alterados son de feldespato caolinizado y algunos productos ferruginosos. Los feldespatos son de plagioclasa y feldespato potásico. Hay rebordes de vidrio volcánico en feldespatos, anfíboles y piroxenos. Los granos alterados en el horizonte 2Btg1 49 – 70 cms, son producto de sesquioxidos tipo limonita.

La asociación mineralógica común es: feldespatos, anfíboles, piroxenos y vidrio volcánico. En esta asociación los feldespatos son los dominantes (> 24%) y en orden de importancia siguen los anfíboles o anfíbol. Se destaca la presencia de vidrio volcánico de tipo ácido, a pesar de que son Andisoles con alto grado de desarrollo pedogenético, el vidrio volcánico se encuentra como entidades individuales o como cutículas vítreas en feldespatos, anfíboles y piroxenos. También llama la atención el estado de los granos, con signos de alteración química y la alta cantidad de feldespatos zonados.

La mineralogía de las arenas está relacionada con la composición original de los piroclastos (riolítica, basáltica), reviste especial importancia el vidrio volcánico, los minerales ferromagnesianos, feldespatos y cuarzo se presentan variando en cantidades relativas de acuerdo con la naturaleza mineralógica del material volcánico (Shoji et al., 2002).

Para el perfil JS3, la fracción arenosa está dominada por cuarzo subangular y subredondeado, los granos alterados son especialmente feldespato caolinizado y algunos productos ferruginosos, los feldespatos son especialmente plagioclasa y feldespato potásico, hay rebordes de vidrio volcánico en feldespatos, anfíboles y piroxenos (tr) y algunos fragmentos líticos son trazas (<1%) y son de origen sedimentario asociados a las rocas de las formaciones Guadalupe y Chipaque del cretácico. La abundancia sigue la siguiente secuencia: Cuarzo > feldespatos > granos alterados >> anfíbol (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Mineralogía de la fracción arenosa

PERFIL	Prof. cm	Qz	A	C	Ma	Hr	Hs	P	Fi	Fp	Fg. L	Op	He	Vv	Gal	L	T	R	E	B	M	Mi	
JS- 2	0 - 30	35	12					5	tr	27		4		5	9				3				
	30 - 49	37	8					4	tr	31		2		5	10				3	tr			
	49 - 70	43	2					tr	tr	30		tr		tr	22				tr	tr	tr		
	70 - 120	40	tr	tr						24		tr		tr	34						tr		
JS - 3	0 - 23	45	2	?				tr	3	37		tr		tr	11				tr				
	23 - 54	55	tr	tr					tr	38		tr			5								
	54 - 70	75	tr						tr	16		tr			7		tr						
	70 - 92	76								15		tr			8		tr						
	92 - 120	70	tr							7		tr			9								
JS - 4	0 - 25	100		tr	tr	tr	tr		tr	tr	tr		tr	tr	tr								
	25 - 45	97		tr	1	1	tr		1	tr	tr		tr	tr	tr	tr	tr						
	45 - 59	100		tr	tr	tr	tr			tr	tr		tr				tr						
	59 - 88	99		tr	tr	tr	tr				1		tr				tr						
	88 - 110	99		tr	tr	tr	tr		tr		1		tr										
JS - 5	0 - 18	96	1	tr	tr		1		tr	2	tr		tr			tr	tr						
	18 - 56	97	tr	tr	1		tr		tr	1	tr		tr			tr	1						
	56 - 79	98	tr	tr	tr		tr			tr	2		tr				tr						
	79 - 103	99		tr	tr					tr	tr		1										
	103 - 117	97		tr	tr		tr			tr	3		tr				tr						
JS - 6	0 - 18	92		tr	1	3	tr		tr	3	1		tr	tr	tr	tr		tr					
	18 - 60	88		tr	tr	tr	tr		tr	9	3		tr		tr	tr		tr					
JS - 6a	0 - 26	89								11		tr											
	26 - 33	75	tr	tr				tr		17		6					tr						
	33 - 49	71	tr	tr				tr		19		8					tr		tr				
	49 - 59	77	tr	tr				?		17		5											tr
	59 - 82	82		tr					tr	8		9											tr
	82 - 100X	86		tr						6		7							tr				tr

Qz: cuarzo; A: Anfíbol; C: circón; Ma: magnetita; Hr: hornblenda; Hs: hiperstena; P: piroxeno; Fi: fitolitos; Fp: feldespato; Fgl: fragmentos líticos; Op: opacos; He: hematita; Vv: vidrio volcánico; Gal: granos alterados; L: lamprolita; T: turmalina; R: rutilo; E: epidota; B: biotita; M: muscovita; Mi: micas; tr:trazas(<1%)

En la tabla 3.3 se presenta el contenido mineralógico del perfil JS2 en relación a su fracción densa y liviana, de acuerdo con lo anterior la abundancia sigue esta secuencia en la fracción liviana para los dos primeros horizontes: Cuarzo > feldespato >> vidrio volcánico y en la fracción densa es: Anfíbol >> piroxeno >> opacos (magnetita).

**Tabla 3.3** Mineralogía de la fracción liviana y densa del perfil JS2

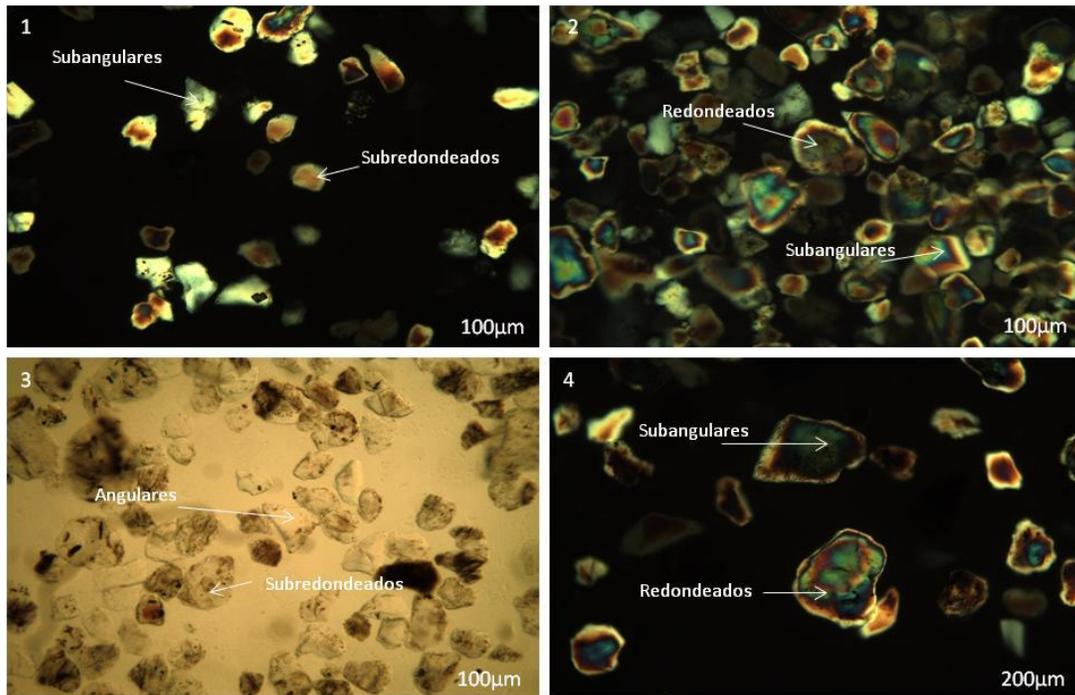
JS2				
MINERALOGÍA FRACCIÓN LIVIANA				
Minerales	0-30	30-49	49-79	70-120
Cuarzo %	47	45	42	45
Feldespato %	37*	33	17	28
Vidrio Volcánico %	6	5	tr	tr
Fragmentos líticos %	4	3	13	12
Fitolitos %	tr	tr	-	-
Alterados %	5**	13	28	15
Fracción liviana %	89,4	90,6	99,0	98,4
*Plagioclasa				
** Feldespato caolinizado				
OBSERVACIONES: Vidrio volcánico: tipo ácido, en esquirlas individuales y también como rebordes magmáticos en feldespato.				
Fraccionamiento de minerales en bromoformo D= 2,89g/cc				
JS2				
MINERALOGÍA FRACCIÓN DENSA				
Minerales	0-30	30-49	49-79	70-120
Anfibol %	77*	83	86	84
Piroxeno %	17**	13	9	6
Opacos %	4***	2	4	8
Epidota %	2	tr	tr	tr
Biotita %	-	2	tr	-
Circón %	-	-	tr	tr
Granate %	-	-	-	?
Alterados %	-	-	-	tr****
Fracción densa %	5,6	8,2	0,6	0,2
*Hornblenda verde, fresca, rara vez alterada a goetitaPlagioclasa				
**Hiperstena casi siempre con vidrio volcánico				
*** Esencialmente magnetita				
**** Biotita alterada				
Fraccionamiento de minerales en bromoformo D= 2,89g/cc				

En los perfiles JS4, JS5, JS6 y JS6a, el cuarzo domina la fracción arenosa y se constituye en el mineral más abundante, son subredondeados y subangulares (Figura 3.3), con presencia de algunos granos angulares. Los minerales pesados son trazas de circón y rutilo para el perfil JS6, los opacos tienen un tamaño y forma variable (redondeado e irregular) de color rojo a rojo amarillento en la luz reflejada probablemente de hematita, los fragmentos líticos son de origen sedimentario. En general, no hay ninguna tendencia significativa en la distribución vertical de los minerales. En los perfiles JS4, JS5 y JS6 se presentan trazas de magnetita, estos suelos tienen un contenido relativamente alto de partículas de color rojo a rojizo de óxidos de hierro. Los fragmentos líticos se distribuyen de manera uniforme en el suelo con un leve aumento en los horizontes C y son de origen sedimentario. Se presentan también trazas de fitolitos de ópalo isotrópicos con forma cuadrada o rectangular, provenientes de la descomposición de pastos y hojarasca, en ocasiones a través de los excrementos de animales (Verma & Rust, 1969), se han identificado en paleosuelos, loess

del Pleistoceno y otra antigua sedimentación (Twiss, Suess & Smith, 1969). La existencia de fitolitos de ópalo ya ha sido reportada en varios suelos de Colombia (Luna, 1969; Calhoun,

Carlisle & Luna, 1972).

**Figura 3.3** Granos de cuarzo de forma angular, subangular, redondeada y subredondeada (1) Perfil JS3 NX (2) JS4 NX (3) Perfil JS5 NP y (4) Perfil JS6 NX



### 3.2 Resultados Mineralogía de Arcillas

La importancia de la fracción fina del suelo radica en que de acuerdo con la proporción, composición y estructura de los minerales de la arcilla va depender en gran medida la capacidad de los suelos para intercambiar, fijar o retener los iones de la solución del suelo y también de importantes propiedades físicas como la capacidad de retención de agua, la consistencia (plasticidad y pegajosidad), la conductividad hidráulica, la susceptibilidad a la expansión y contracción y en general, las condiciones de labranza, dado que se abarca un tema de análisis morfo-pedológico que contribuirá a aportar al conocimiento del comportamiento de los suelos desde sus productos de alteración (Soil Science Society of America, 2005).

La tabla 3.4, contiene los resultados de la mineralogía de arcillas (<math><2\mu</math>) y su estimación relativa basada en la intensidad de los “picos” de difracción de rayos X, incluye la

identificación de minerales, así como una estimación de su abundancia relativa. En el Anexo 4 se muestran los índices de reflexiones de las intensidades medias y fuertes de los principales tipos mineralógicos.

La caolinita (7.21Å - 3.58Å) es el principal mineral arcilloso y es el dominante en la mayoría de los suelos estudiados, excepto en el perfil JS1, y es común en los perfiles JS4 horizonte 25 – 38 cms, JS6 horizonte 18 a 60 cms y JS6a horizontes 0-26 cms y 26-33 cms, mientras que en el perfil JS1 no se reportó la presencia de caolinita. El factor climático es fundamental en la formación de caolinita de los suelos JS2 y JS3, debido a que la alta pluviosidad ha generado una mayor y rápida lixiviación lo que permite que las bases y la sílice se laven rápidamente tanto como se liberan en el suelo, generando una acidificación del medio edáfico, por lo que la velocidad de meteorización se aumenta debido a la rápida remoción de los productos de la hidrólisis, por la ausencia de metales alcalinos o de óxido o hidróxidos metálicos solubles en agua con propiedades básicas, libres en la solución del suelo (Hardy, F. 1970). Por otra parte en los suelos JS4, JS5, JS6 y JS6a es el material parental el responsable de la formación de caolinita, debido a la sílice producida a partir de la alteración de la arenisca de la Formación Guadalupe y niveles arcillosos de las Formaciones Terciarias como el Guaduas y las Lodolitas de Fusagasugá (Patiño, 2012 y Muñoz, 2012), en este caso se denomina de *herencia litológica*.

**Tabla 3.4** Mineralogía de la fracción arcillosa de los suelos analizados

PERFIL	Prof. cm	Material no cristalino	Metahaloisita	Haloisita	Interstratificados hidrobiotita	Interstratificados	Intergrados 2:1 - 2:2	Micas	Caolinita	Vermiculita	Esmectita	Anfibol	Cuarzo	Cristobalita	Lepidocrocita	Feldspatos	Goetita
JS - 1	00 - 28	+										tr	+++	+++		tr	
JS - 2	0 - 30			tr	tr		tr		+++				++++	tr			
JS - 2	30 - 49			tr	tr		++		+++				+++				
JS - 2	49 - 70			tr	tr		+	tr	+++	tr			++++				tr
JS - 2	70 - 120				tr		tr	+	+++	+			+++		tr		tr
JS - 3	0 - 23				tr	tr		+	++++				++	tr	tr		tr
JS - 3	23 - 54				+	+		tr	++++				++		tr		+
JS - 3	54 - 70			tr	tr	++		tr	++++				++		tr		tr
JS - 3	70 - 92			tr	tr	+		+	++++				++		+		+
JS - 3	92 - 120			tr	tr	++		+	++++				++				tr
JS - 4	0 - 25		++						+++				+++	+			
JS - 4	25 - 45		++						++			tr	+++	+	tr		tr
JS - 4	45 - 59		tr						+++				+++	+			+
JS - 4	59 - 88						tr		+++				+++		tr		+
JS - 4	88 - 110		tr						+++				++	tr			tr
JS - 5	0 - 18								++++				+++	+			
JS - 5	18 - 56						tr		++++				tr	tr			tr
JS - 5	56 - 79					tr	tr		++++				tr				tr
JS - 5	79 - 103		tr						++++				++				tr
JS - 5	103 - 117								++++				tr				
JS - 6	0 - 18		tr				tr		+++				+++	+			
JS - 6	18 - 60					tr	tr		++				+++	+			
JS - 6a	0 - 26	+	++						++				+++	+			
JS - 6a	26 - 33	++	++			tr			++		++		+				
JS - 6a	33 - 49	+					tr		+++				++	tr			
JS - 6a	49 - 59	++	+++			+	tr		+++		tr		++	tr			
JS - 6a	59 - 82	+	+++			tr	+		+++				++	tr			
JS - 6a	82 - 100X	+				tr	tr		++++				+++	tr			

CONVENCIONES: ++++ DOMINANTE(>50%); +++ABUNDANTE(30-50%); ++COMÚN(15-30%); +PRESENT E(5-15%); trTRAZAS(<5%)

**Observaciones:** Hidrobiotita es un producto de alteración de biotita. Intergrados 2:1 - 2:2 corresponden a arcillas 2:1 (Vermiculita ò Montmorillonita) con pequeñas y aisladas capas octáedricas (pilares) de hidroxialúmina en el espacio interlaminar. Interstratificados corresponden a dos o más minerales filosilicatos que se disponen alternadamente, ya sea regular o irregularmente, a lo largo del eje C cristalográfico del paquete arcilloso que conforman y que resultan a través del proceso meteorizante químico en las micas. Parecen ser del tipo illito-vermiculítico

A causa del agua se generan reacciones hidrolíticas que afectan a los minerales primarios, es el caso de los feldspatos que se consideran generadores de arcillas, como consecuencia de la liberación de silicio y bases al medio de alteración (Pedro, 1982), Si las bases y parte del silicio son removidas del medio cuando el drenaje es óptimo (factor relieve), la sílice que queda remanente se combina como parte del conjunto de aluminio libre para formar nuevos componentes de silicatos a través del tiempo. En este proceso es imprescindible un secado alterno del medio de alteración para que maduren las estructuras cristalinas, de acuerdo con Pedro (1982) bajo esta circunstancia de eliminación de bases y parte del silicio, se sintetiza la caolinita.

De acuerdo con lo anterior, para la formación de caolinita se requiere unas condiciones climáticas de alta precipitación y un material parental que tenga minerales susceptibles a la acción hidrolítica, como lo son los feldspatos presentes en la fracción arenosa (ver tabla

3.2). Es imprescindible también un adecuado drenaje del medio para que percole pero a la vez almacene eficientemente el agua de la precipitación, a fin de que se generen las reacciones químicas y se produzca la pérdida de elementos solubles y un tiempo suficiente para la cristalización final de la caolinita.

El segundo mineral de importancia en cuanto a su abundancia en la fracción arcillosa de los suelos, es el cuarzo ( $4.26\text{Å} - 3,24\text{Å}$ ) (Tabla 3.4). En los suelos JS1, JS2, JS4 y JS6 la abundancia del cuarzo en la fracción varía entre abundante (30-50%) a dominante (>50%), en el suelo JS5 el primer horizonte es abundante (30-50%) y en el horizonte Btg3 es común (15-30%); en el suelo JS6a en los primeros y últimos horizontes varían entre abundante y dominante, los demás horizontes están entre presente (5-15%) y común (15-30%); en el suelo JS3 su abundancia en todos los horizontes es común (15-30%) y en el suelo JS5 en los horizontes Btg1, Btg2 y Btg3 se presentan trazas (<5%) de este mineral, en el horizonte Btg3 es común. Estos resultados son congruentes a lo reportado por Patiño (2012), en el sentido de que la roca fuente como la tierra fina del depósito del abanico contienen cantidades apreciables de cuarzo, tanto en muestra orientada como no orientada.

En cuanto a la presencia de interestratificados e intergrados 2:1-2:2 ( $14\text{Å}$  y a  $550^{\circ}\text{C}$   $10\text{Å}$ ) (Tabla 3.4), en los suelos JS2 y JS3, está muy relacionada con la alteración de micas, en especial aquellas trioctaédricas; las micas se alteran mediante mecanismos muy variados, entre ellos la ganancia de agua y la pérdida gradual de cationes, conduce a estructuras "hidromicáceas" las cuales posteriormente, y a medida que continúa el proceso, generan arcillas con estructuras laminares heredadas como son la vermiculita y las esmectitas (Pedro, 1982), estas arcillas son estables bajo las condiciones que se formaron; si estas condiciones cambian a un medio más ácido propiciado por cambios en la rata de lixiviación, muy ligados a incrementos en la precipitación y en la temperatura, generan una mayor hidrólisis, los minerales se inestabilizan en el medio y para lograr el equilibrio estable se destruyen progresivamente o adquieren la estructura de un filosilicatado estable, como es la clorita aluminica (clorita pedogenética) y en una primera etapa permiten la entrada de capas pequeñas y aisladas de hidroxialumina en el espacio interlaminar y se generan los intergrados 2:1-2:2 o también conocidos como vermiculita – Al (Pedro, 1982).

La presencia de goethita ( $4.17\text{Å}$ ), en los suelos JS2, JS3, JS4 y JS5, en contenidos que varían de trazas (<5%) a presente (5- 15%) (Tabla 3.4), se podría relacionar con pedoclimas

húmedos con poca variación estacional. Se encuentra en abundancia en suelos ferralíticos donde es dominante tanto en la parte superior del horizonte sometido a la influencia de la materia orgánica y también en las formaciones de hierro endurecido o cementado (Pedro, 1982; Wilding, Smeck & Hall, 1983). Existe en cantidades fácilmente detectables en suelos de rocas ácidas, granitos y areniscas. También puede ser heredada del material parental en depósitos alógenos (Pedro, 1982; Wilding et al, 1983).

La presencia de haloisita (haloisita hidratada  $4H_2O$ ) y metahaloisita (haloisita deshidratada  $2H_2O$ ) ( $10.1\text{Å}$ - $7.2\text{Å}$ - $4.3\text{Å}$ ) en términos de trazas en los suelos JS2 y JS3 y como mineral común (15-30%) a abundante (30-50%) de metahaloisita en los suelos JS4 y JS6a (Tabla 3.4), indica que evidentemente existe relación con minerales “no cristalinos” como la alófana o aluminosilicatos “no cristalinos” similares a la alófana y la imogolita y también como un producto de alteración hidrotermal (Besoain, 1985; Etame, Gerard, Suh & Bilong, 2009), también indica además procesos evolutivos diferentes, unos asociados a la influencia de la ceniza volcánica y otros asociados a suelos ferralíticos con grados variables de saturación y de periodos de oxidación y reducción en los suelos, así mismo la presencia de goethita y lepidocrocita en la fracción arcillosa y de hematita en la fracción arenosa constata aún más condiciones paleoambientales, como climas con periodos húmedos y secos contrastantes (Etame et al., 2009).

Por último, la presencia de cristobalita ( $4,05\text{Å}$ ) en términos de trazas (<5%) y presente (5-15%) en los suelos JS4, JS5, JS6 y JS6a y abundante (30-50%) en el suelo JS1 (Tabla 3.4), ratifica la influencia que tuvo la ceniza volcánica en la formación y evolución de los suelos, principalmente en el suelo JS1, clasificado como Melanudands a nivel de grangrupo taxonómico. En la figura 3.4 se muestran ejemplos de gráficas de difracción de los perfiles JS2 y JS6a.

En la tabla 3.5, se presentan los resultados de “Aluminio activo”, los cuales muestran claramente que los contenidos más altos tanto del aluminio extraído con oxalato como el aluminio extraído con pirofosfato se presentan en los perfiles JS1 y JS2, principalmente en los primeros horizontes, debido a una mayor contribución de constituyentes de alófana en oxalato y de materia orgánica con pirofosfato asociado a contenidos altos de carbón orgánico (16.9 y 8.8% de CO). En todo caso los contenidos de aluminio en las diferentes extracciones fueron menores de 2%, esto se debe a que los altos contenidos de MO inhiben o retardan la

formación de alófana. El aluminio extraído con ditionito citrato en la fracción mineral del suelo, los mayores contenidos se presentan en el perfil JS2 debido a la presencia de minerales interestratificados e intergrados 2:1-2:2, por los iones de aluminio intercambiable procedentes de estos minerales.

**Tabla 3.5** Resultados del Aluminio Activo en los suelos

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	No. PERFIL	Prof. cm	Al (OXALATO) %	Al (DITONITO CITRATO) %	Al (PIROFOSFATO) %
VALLE GLACIARICO EN U (VG)	JS - 1	00 - 28	1,71	0,35	1,09
ABANICO COLUVIAL INCLINADO (AC)	JS - 2	00 - 30	1,58	1,08	1,42
		30 - 49	0,98	0,87	0,76
		49 - 70	0,44	0,44	0,77
		70 - 120	0,29	0,23	0,38
ABANICO DILUVIAL DISECTADO - APICE (AD1)	JS - 3	00 - 23	0,25	0,14	0,48
		23 - 54	0,23	0,9	0,34
		54 - 70	0,22	0,31	0,4
		70 - 92	0,24	0,18	0,92
		92 - 120	0,17	0,43	0,58
ABANICO DILUVIAL NIVEL SUPERIOR CUERPO (AD2)	JS - 4	0 - 25	0,11	0,25	0,74
		25 - 45	0,14	0,1	1,26
		45 - 59	0,12	0,18	0,95
		59 - 88	0,11	0,16	0,54
		88 - 110	0,07	0,07	0,22
	JS - 5	0 - 18	0,01	0,06	0,46
		18 - 56	0,16	0,06	0,87
		56 - 79	0,02	0,01	0,29
		79 - 103	0,1	0,05	0,49
		103 - 117	0,1	0,03	2,55
ABANICO DILUVIAL NIVEL INFERIOR BASE (AD5)	JS - 6	0 - 18	0,02	0,06	0,14
		18 - 60	0,05	0,06	0,75

La goethita surge como resultado de una cristalización lenta del hierro liberado por el proceso intemperico que afecta a los minerales ferromagnesianos. Es estable en medio ácido y

domina en condiciones húmedas con pocas variaciones, que pueden ser condiciones frías o templadas. El clima húmedo principalmente en el ápice y cuerpo del abanico caracteriza la estabilidad geoquímica del hierro que se acumula, principalmente en esta forma de

goethita (Wilding, Smeck & Hall, 1983).

Dado que la identificación de estos 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), es por esto que 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). En la tabla 3.6, 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 (Fed) de la mayoría de los minerales del hierro pedogénético, esta técnica determina óxidos de hierro lábiles; el oxalato ácido de amonio (Feo) extrae hierro amorfo, no cristalino y pobremente ordenado (Smith, 1994) y es selectivo para la ferrihidrita. El pirofosfato de sodio (Fep) 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, como: Feo/Fed es una medida de la proporción del total de hierro pedogénético (amorfo más ferrihidrita) y la diferencia Fed – Feo es usada para estimar el hierro en la goethita y la lepidocrocita (Acevedo, Cruz & Cruz, 2002). Lepidocrocita (6,25A – 3,28A), reportada en los suelos JS3 y JS4 en trazas (tabla 3.4).

Cuando la relación Feo/Fed es mayor a 1 dominan las formas amorfas, cuando es menor de 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 3.6 Resultados de la estimación de la cantidad de minerales de hierro

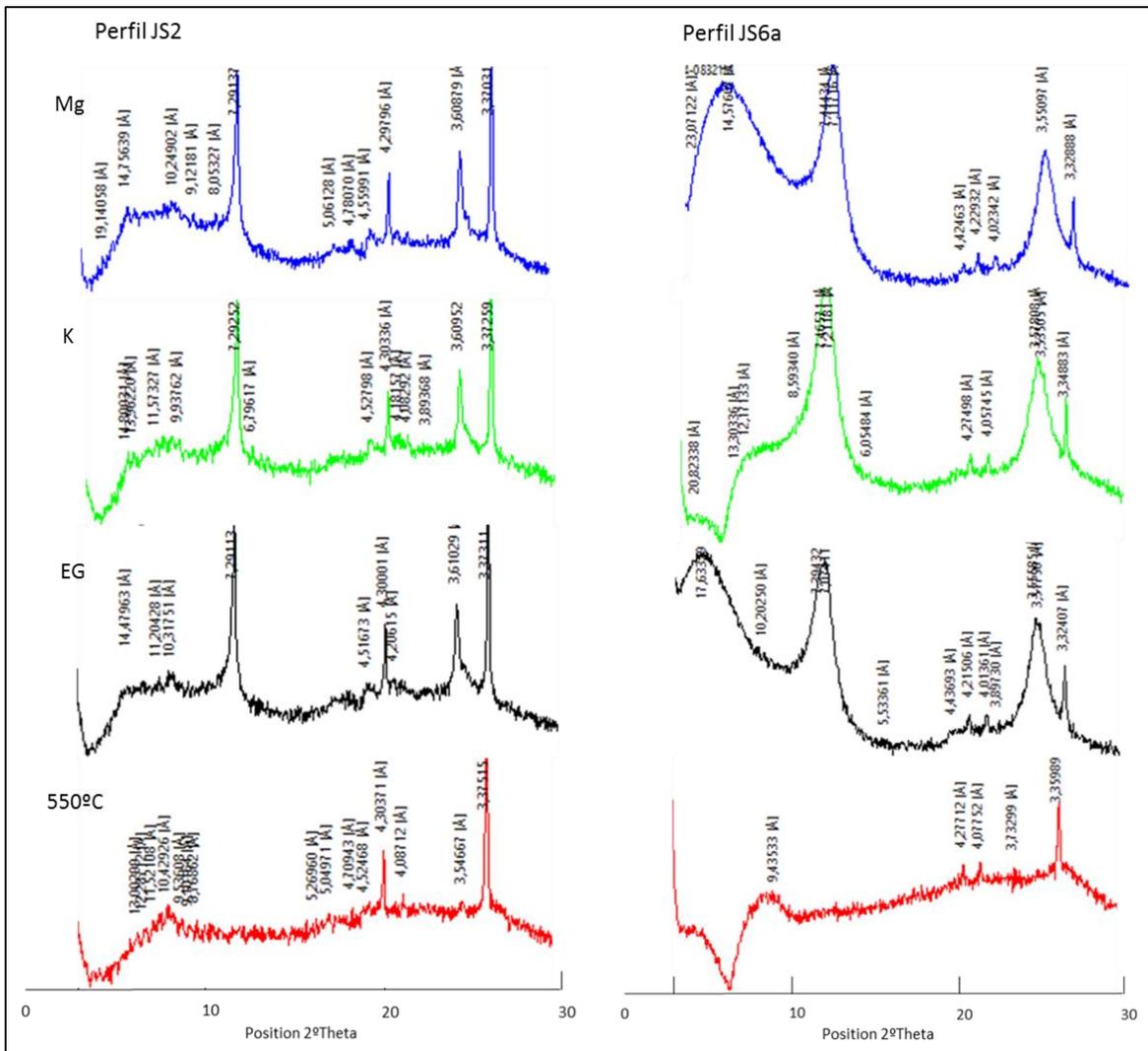
UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	No. PERFIL	Prof. Cm	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>d</sub> - Fe <sub>o</sub>
			(Oxalato) %	(Citrato) %	(Pirofosfato) %		
VALLE GLACIARICO EN U	JS - 1	00 - 28	0,54	0,83	0,45	0,65	0,29
ABANICO COLUVIAL INCLINADO AC	JS - 2	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 3.6 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  $Fe^{+3}$  es reducido a  $Fe^{+2}$  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  $Fe^{+3}$  en forma de pequeños granos de mineral o revestimientos amorfos sobre otros minerales (Acevedo, Ortiz, Cruz & Cruz, 2004). Los minerales de  $Fe^{+2}$  son solubles y persisten en suelos que presenten condiciones aerobias; cuando las condiciones se cambian, se oxida y se precipita como óxido  $Fe^{+3}$  (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 edafambientales 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 acuico 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.

**Figura 3.4** Gráficas de difracción con los diferentes tratamientos. Perfil JS2 30 – 50 cm: Trazas de haloisita e interestratificados; Intergrados 2:1-2:2 es común; Caolinita es abundante; Cuarzo es abundante y Perfil JS6a 26 – 33cm: Material no cristalino,

metahalosita, esmectita y caolinita son comunes y cuarzo está presente.





## 4. Micromorfología de los suelos

### Introducción

De acuerdo con Soil Survey Staff (2014), la Micromorfología se define como el estudio de muestras de suelos tomadas en campo e inalteradas en su disposición natural mediante el uso de técnicas microscópicas (Cady, 1986; Stoops, 2003). Esta técnica también se denomina como el análisis de la microfábrica del suelo o también como micropedología (Federoff & Courty, 1987) e implica la terminología descriptiva que se ha desarrollado en los últimos 50 años. La ciencia y la terminología del análisis de la microfábrica ha sido documentada inicialmente por Kubiena (1938) y publicaciones importantes de la terminología ya han incluido a Brewer (1964); Fitzpatrick (1984, 1993); Bullock, Fedorof, Jongerius, Stoops & Tursina (1985); Dorronsoro (2010). Descripciones metodológicas para la producción de secciones delgadas se pueden encontrar en Cady, Wilding & Drees (1986); Fitzpatrick (1984); Murphy (1986); Fox, Guertin, Dickson, Sweeney, Protz & Mermut (1993); Soil Survey Staff (2014) y Dorronsoro (2010).

El examen de las secciones delgadas se hace con el microscopio de luz polarizada o también conocido como petrográfico y puede ser considerado como una extensión de los estudios morfológicos de campo (Malagón, et al, 1995; Zinkc, 2012). El nivel de resolución se incrementa del examen de campo al examen con el microscópico óptico y, finalmente, a las técnicas submicroscópicas (Microscopía electrónica), pero esta secuencia de técnicas cada vez sacrifica la visión de campo (Cady et al., 1986). Por lo tanto, los resultados de los estudios micromorfológicos son más útiles cuando se relacionan con la geomorfología del área de estudio, la descripción morfológica de los perfiles modales y los resultados de los análisis de suelos (Cady, 1965; Malagón, et al, 1995; Zinkc, 2012). La micromorfología se utiliza para identificar los tipos y las secuencias de los procesos activos que ocurren en los suelos a través de la identificación de revestimientos de arcilla, tipos de tejidos, granos del esqueleto, intensidad de la meteorización, condiciones redoximórficas

y es una herramienta básica para el estudio de la génesis del suelo (Soil Survey Staff, 2014).

La interpretación de los rasgos micromorfológicos observables tiene múltiples aplicaciones, pero de acuerdo con el desarrollo de esta investigación, la micromorfología tiene su mayor importancia en dos temas claves, uno relacionado con las condiciones redoximórficas, las cuales no fueron consideradas en el proyecto de investigación pero que se han venido definiendo a lo largo del trabajo y dos, el proceso de iluviación de arcilla planteado desde un principio en el proyecto, lo que sí se consideró fue el estudio micromorfológico como aplicación al conocimiento de la génesis, evolución y fertilidad potencial del suelo. Asimismo, la información obtenida del análisis micromorfológico del suelo es un complemento para su estudio mineralógico, ya que permite la observación directa de los minerales y sus características, tales como: estado de alteración, forma, tamaño, distribución y variaciones a través del perfil y proporciona igualmente gran ayuda en la caracterización de las discontinuidades litológicas en los perfiles del suelo.

## 4.1 Metodología

Para la descripción micromorfológica se utilizaron 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) y Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos del IGAC (2006).

Los suelos estudiados pertenecen a los grandes grupos taxonómicos *Melanudands*, *Paleudults*, *Paleudalfs* y *Haplustalfs* y van desde el muy frío muy húmedo en el páramo hasta el templado seco en su parte más baja. De cada horizonte de los perfiles estudiados se tomaron muestras no alteradas para el estudio micromorfológico, el cual consistió en describir en forma breve los rasgos micromorfológicos que se pueden encontrar en los suelos y en forma similar, la interpretación micromorfológica de los mismos. Para una mayor ilustración se presenta una serie de microfotografías de secciones delgadas de

horizontes A y B, teniendo en cuenta, condiciones redoximórficas e iluviación de arcilla.

Las microfotografías fueron obtenidas mediante el microscopio polarizante con luz no polarizada (NP) y doblemente polarizada (NX) y al pie de las imágenes se ofrece una breve descripción de los rasgos micromorfológicos más sobresaliente del suelo en la imagen.

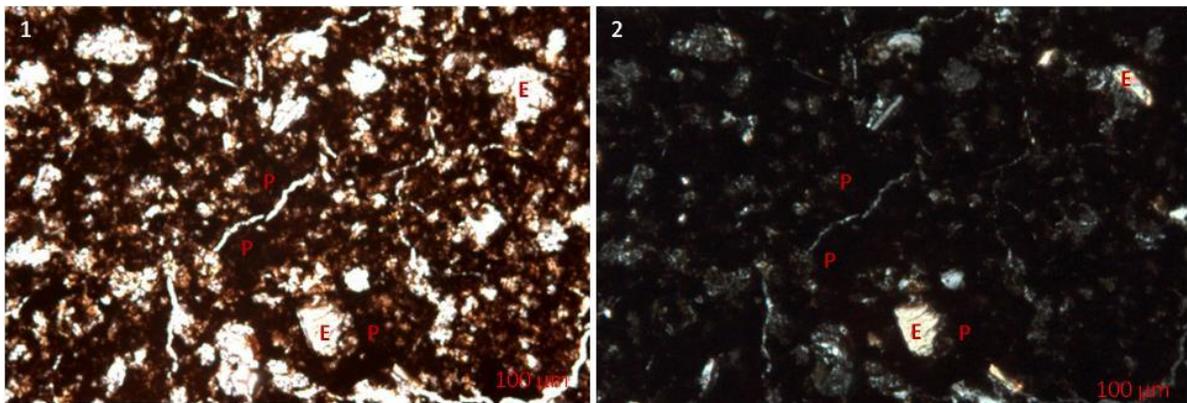
## 4.2 Descripción micromorfológica

El capítulo comprende la descripción de los rasgos micromorfológicos de los suelos descritos en campo, muestreados y caracterizados en el Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC, de acuerdo con la secuencia geomorfo-edafo-climática del abanico diluvial de Fusagasugá.

### 1. Perfil JS1 Lithic Melanudands

El material edáfico que predomina en la sección delgada es el denominado "material orgánico amorfo fino" y cuyo tipo es el monomórfico que se caracteriza porque está integrado por una masa orgánica madura relativamente uniforme en color y densidad (Figura 4.1 y Tabla 4.1). En este tipo de material hay restos vegetales reconocibles estructuralmente.

**Figura 4.1.** Perfil JS1 Lithic Melanudands, Horizonte A (1) NP (2) NX. P: plasma, E: granos del esqueleto. Material monomórfico que se caracteriza porque está integrado por una masa orgánica. 4X10 aumentos.



El material es isotrópico y embebe en cantidad baja y distribución al azar, cristales muy

finos de minerales birrefringentes. En algunos sectores se presentan tejidos vegetales sin descomponer, son escasos y distribuidos al azar. Dentro de los polígonos, originados por el secado, se observan poros delgados y alargados que parecen planos y que son propios del material; abarcan cerca del 20%.

**Tabla 4.1** Descripción micromorfológica del perfil JS1

Perfil	Hte	Prof. Cm	Microestruct	Porosidad	c/f distribución relacionada	c/f Proporción (grueso/fino)	Componentes minerales	Micromasa	b-fabrica Contextura birrefringente	Componentes Organicos
JS1	A	0-28	Bloques subangulares bien separados	20%, canales, planos	Porfirica	1/3	Arena fina, cuarzo y cuarcitas, fragmentos de carbón y fitolitos	Materia orgánica y arcilla, color negro	Indiferenciada	Raíces frescas y evidencia de fragmentos de fauna

## 2. Perfil JS2 Ultic Melanudands

### 2.1 Horizonte A

La microestructura es blocosa subangular, fuerte y moderada; en los canales se encuentran gránulos, son abundantes y muy finos, resultan de la fragmentación de los bloques; poros en forma de canales y camaras, son suaves y ondulados, ligeramente rugosos, son mesoporos (50 a 100 micras de ancho) en un 35%. La fracción gruesa primordialmente de tamaño arena muy fina y fina frecuentes entre 15 – 30%, compuesta por cuarzo, feldspatos, anfíboles, los feldspatos, anfíboles y piroxenos de forma prismática, el cuarzo se presenta en granos subredondeados, hay fragmentos de vidrio y varios granos de feldspatos presentan cutícula vítrea (Figura 4.2).

La fracción fina de naturaleza órgano-mineral de color pardo amarillento, el grado de transparencia es moteado y el componente orgánico grueso de raíces y tejidos; en la sección delgada no son evidentes fragmentos de rocas. La relación c/f de la masa basal es porfirica abierta, los granos no están en contacto; la contextura birrefringente de la micromasa es indiferenciada y es del tipo isótica. En cuanto a los edaforrasgos no se presentan revestimientos, ni hiporrevestimientos. Hay nódulos de contextura típica y puros, el grado de impregnación es fuerte y el límite de impregnación es neto de naturaleza orgánico de 2 a 5% de cantidad y de tamaño variable (30 a 100 micras), parece acumulación de sustancia húmicas, hay también nódulos de Fe redondeados y fragmentos

de color negro mate (Tabla 4.2).

## 2.2 Horizonte AB

Las características micromorfológicas de este horizonte son muy similares a las del horizonte anterior; difieren en lo siguiente:

- a. Predomina la naturaleza inorgánica sobre la orgánica.
- b. El color es pardo claro (ligeramente amarillento) (Figura 4.3).
- c. La estructura sigue siendo blocosa subangular pero con moderado grado de desarrollo.
- d. Se presentan muy pocos gránulos finos en los canales; es decir hay menor disgregación del material agregado.
- e. La porosidad se reduce, oscila entre 20 y 30%. Sigue predominando los poros planares y canales son mesoporos.
- f. Los nódulos orgánicos son escasos, como también los componentes orgánicos gruesos.

## 2.3 Horizonte 2Btg1

La microestructura es blocosa subangular, debil; poros en forma de canales, son suaves y ondulados, son mesoporos cerca del 17%. La fracción gruesa primordialmente de tamaño arena muy fina y fina frecuentes entre 15 – 30%, compuesta por cuarzo, anfíboles, piroxenos y feldespatos, el cuarzo se presenta en granos subredondeados y subangulares principalmente, los restante en forma de prismas, hay fragmentos alterables poco meteorizados (Figura 4.4).

La fracción fina de naturaleza arcillosa y de hierro, de color amarillo rojizo, el grado de transparencia es moteada y punteada; los fragmentos de roca son de naturaleza sedimentaria muy pocos de menos de 2% de tamaño arena fina, los granos son subangulares, parecen restos de arcillolitas y areniscas de grano muy fino. La relación c/f de la masa basal es porfirica a doble espacio; la contextura birrefringente de la micromasa es moteada en mosaico y es del tipo insépica. En sectores localizados hay granoestriada (<2%). En cuanto a los edaforrasgos se presentan hiporevestimientos y cuasirevestimientos alrededor de los poros raros, de naturaleza arcillosa y de Fe, de contextura interna microlaminada, son hipocutanes raros <2% ocupan la parte interna de cavidades y planos. Hay nódulos de contextura típica y nucleica, puros, el grado de

impregnación es fuerte y el límite de impregnación es neto, la naturaleza del material es hematita y de arena fina. Los nucleicos son pedorelictos (Tabla 4.2).

#### 2.4 Horizonte 2Btg2

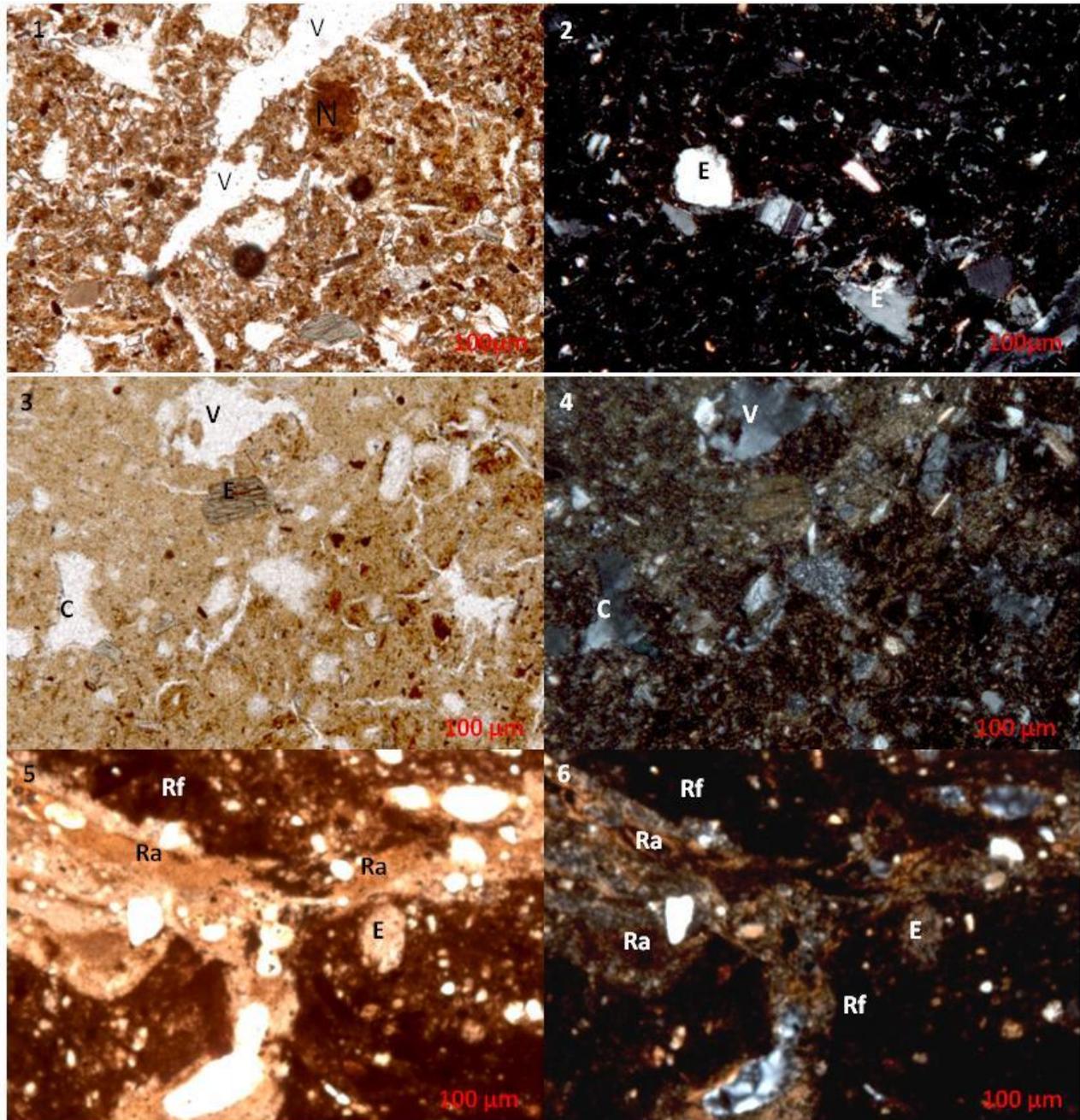
La microestructura es blocosa subangular, débil con un grado de desarrollo muy débil; poros en forma de canales, en cavidades y planos, son suaves y ondulados, son mesoporos cerca del 30%, predominan los poros en forma de canales. La fracción gruesa primordialmente de tamaño desde arcilla fina y limo grueso, pocos 5 – 15%, los granos son subangulares y subredondeados, hay áreas aisladas donde la cantidad es mayor (cerca de 50%), la fracción está compuesta por cuarzo, menor piroxenos y feldespatos, no se observan fragmentos de roca.

La fracción fina de naturaleza arcillosa y de hierro, de color pardo, el grado de transparencia es moteada en mosaico. La relación c/f de la masa basal es porfirica abierta; la contextura birrefringente de la micromasa es moteada en mosaico y es del tipo insépica, hay en sectores localizados estriada (vosepica de Brewer). En cuanto a los edaforrasgos se presentan revestimientos en las paredes de las cavidades de naturaleza arcillosa y cuasirevestimientos e hipocutanes de Fe, son hipocutanes arcillosos y de hierro en algunas cavidades y canales, hay también revestimientos de arcilla en las paredes de algunos canales y planos y también ocupan la parte interna de cavidades y planos (Figura 4.5). Hay nódulos de contextura típica de Fe y halos, puro e impregnativo, el grado de impregnación es fuerte y el límite de impregnación es neto, la naturaleza del material es hierro en <5% y variable (Tabla 4.2).

**Figura 4.2** Perfil JS2 Ultic Melanudands (1) NP hte Ap (2) NX hte Ap (3) NP hte AB (4) NX hte AB (5) NP hte 2Btg1 y (6) NX hte 2Btg1. E: granos del esqueleto; V: poro o void; C:

cavidades y rasgo pedológico (Ra: argilan o revestimiento arcilloso, Rf: revestimiento de

hierro o ferran y N: nódulo de Fe).



**Tabla 4.2** Descripción micromorfológica del perfil JS2

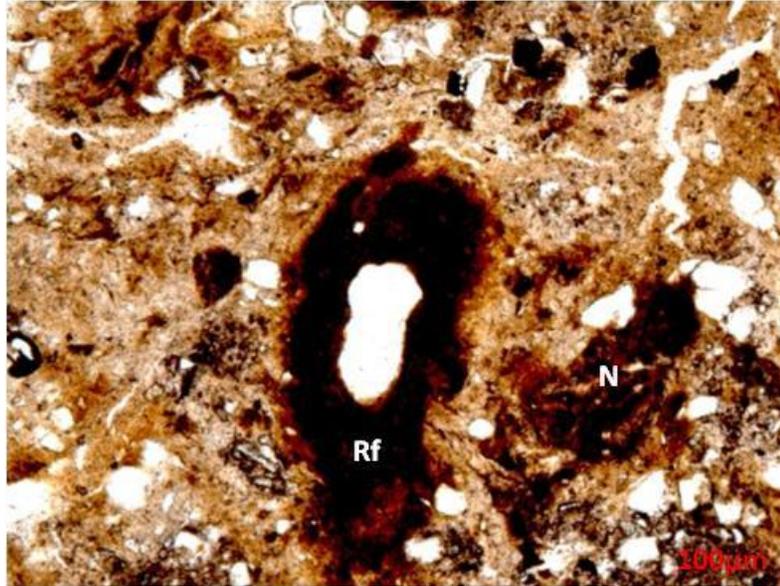
Perfil	Hte	Prof. Cm	Microestruct	Porosidad	c/f distribución relacionada	c/f Proporción (grueso/fino)	Compon. minerales	Micromas	b-fabrica Contextura Birrefringente	Compon. Organi	Edaforrasgos			Rasgos redoximór.	
JS2	Ap	0-30	Blocosa subangular. Trozos tamaño arena muy gruesa y muy fina (bimodal), están bien separados	35%, huecos de embalaje compuesto, canales y cámaras, huecos planos	Porfírica abierta	1/4	Arena fina, cuarzo, opacos, fragmentos de carbón, plagioclasa y hornblenda	Amarillo-rojo, arcilla, limo fino y pigmento orgánico	Indiferenciada	Secciones de raíces frescas	Fragmentos de fauna, materiales de mezcla muy frecuentes de los horizontes subyacentes	Nódulos de Fe-oxihidróxidos, impregnativo, redondeado			
	AB	30-49	Blocosa subangular, moderadamente separados	25%, Huecos planos y canales	Porfírica doble espacio	1/3	Arena fina, cuarzo, curcitas y opacos	Amarillo, limo fino y arcilla	Estriada en cruz y grado de transparencia moteada y punteada	Ausente	Fragmentos de fauna, materiales de mezcla muy frecuentes de los horizontes subyacentes	Nódulos de Fe-oxihidróxidos, impregnativo, redondeado	En los canales fragmentos de excrementos de biofauna discontinuos y débiles		
	2Btg1	49-70	Blocosa subangular débiles	17%, canales	Porfírica doble espacio	1/3	Arena fina, cuarzo, curcitas y opacos	Amarillo-rojizo, arcilla fina y limo	Granoestriada cruzada y moteada en mosaico	Ausente	Intercalaciones de arcilla, revestimientos, moteados, colores de interferencia de segundo orden debido a la impregnación de Fe y algunos fragmentos deformados	Hiporevestimientos de Fe y cuasirevestimientos de oxihidróxidos de Fe alrededor de los poros	Nódulos de Fe-oxihidróxidos moderadamente impregnados	Trozos de fauna y mezcla de materiales procedentes de otros horizontes	STAGNIC
	2Btg2	70-120	Blocosa subangular débiles	17%, canales	Porfírica a un solo espacio	1/3	Arena fina, cuarzo, curcitas y opacos	Grís, arcilla fina y limo	Estriada en cruz y moteada en mosaico	Ausente	Revestimientos de arcilla, moteados, colores de interferencia de primer orden	Hipo y cuasirevestimientos de Fe-oxihidróxidos	Nódulos de Fe-oxihidróxidos moderadamente impregnados	Trozos de fauna y mezcla de materiales procedentes de otros horizontes	GLEYIC

### 3. Perfil JS3 Typic Paleustults

#### 3.1 Horizonte 2Btg2

La microestructura es blocosa subangular, débil con un grado de desarrollo muy débil; poros de empaquetamiento simple, en forma de canales, en cavidades y planos, son suaves y ondulados, son mesoporos cerca del 20%, predominan los poros en forma de canales y planos. La fracción gruesa primordialmente de tamaño desde limo grueso hasta arena fina, frecuentes 15 – 30%, los granos son subangulares, la fracción está compuesta por cuarzo, menor piroxenos, feldspatos y anfíboles, el cuarzo es dominante (Tabla 4.3).

**Figura 4.3** Perfil JS3 Typic Paleustults sección delgada del horizonte 2Btg2 NP. Rf: revestimiento de Fe y N: nódulo de Fe



La fracción fina de naturaleza arcillosa y de hierro, de color pardo-amarillento-rojizo, el grado de transparencia es moteada, el componente orgánico es de tipo de tejidos y se presentan muy pocas semillas. Los fragmentos de roca son de naturaleza sedimentaria, son muy pocos <5% de tamaño arena fina y los granos son subangulares y angulares. La relación c/f de la masa basal es porfirica tipo abierta; la contextura birrefringente de la micromasa es poroestriada y en sectores granoestriada. En cuanto a los edaforrasgos se presentan revestimientos e hiporevestimientos en las paredes de canales y planos muy abundantes >20%, de naturaleza arcillosa y edaforrasgos redox, de contextura interna microlaminada, son hiporevestimientos arcillosos y de hierro en algunas cavidades y canales (Figura 4.6), hay también revestimientos de arcilla en las paredes de canales y planos. Hay nódulos de contextura típica y halos, el grado de impregnación es fuerte y la naturaleza del material es de hierro en <5%.

**Tabla 4.3** Descripción micromorfológica del perfil JS3

Perf	Hte	Prof. Cm	Microestruc.	Porosid	c/f distribución relacionada	c/f Proporción (grueso/fino)	Compon. Minerales	Micromas	b-fabrica Textura birrefringente	Compon. Organ.	Limite	Edaforrasgos			Rasgos redoximór.	
JS3	Ap	0-23	Blocosa subangular	25%, canales	Porfirica	1/2	Arena fina, cuarzo, curcitas, feldespatos y opacos	Marrón oscuro, arcilla, limo fino y pigmento orgánico	Indiferenciada	Raíces	Limite muy abrupto e irregular con el horizonte subyacente	Restos de fauna, materiales de mezcla muy frecuentes de los horizontes subyacentes	Nódulos de Fe-oxihidróxidos, impregnativo, redondeados			
	Btg1	23-54	Blocosa subangular	15%, canales	Porfirica	1/2	Arena fina, cuarzo, curcitas, feldespatos y opacos	Marrón grisáceo, arcilla, limo fino	Granoestriada cruzada y moteada en mosaico	Ausente	Arcilla orientada	Nódulos de Fe-oxihidróxidos, de moderada a fuertemente impregnados	Hiporevestimientos de Fe-oxihidróxidos	Seudomorfos de Fe-oxihidróxidos en residuos de raíces		
	2Btg2	50-70	Blocosa subangular	20%, canales	Porfirica	1/1	Arena fina, cuarzo, curcitas, feldespatos, opacos y micas	Marrón rojizo, arcilla y limo fino	Punteado moteado, ligeramente granoestriada	Ausente	Restos de fauna, materiales de mezcla muy frecuentes de los horizontes subyacentes	Hiporevestimientos de Fe-oxihidróxidos	Nódulos de Fe-oxihidróxidos, fuertemente impregnados	STAGNIC		
	2Btg3	90-120	Blocosa subangular	20%, planos y canales	Porfirica abierta	1/3	Arena fina de cuarzo, arena media de feldespatos completamente caolinizados, arena gruesa y grava de arenisca erosionada	Grisáceo, arcilla, limo fino	Cruzada y granoestriada	Ausente	Nódulos e intercalaciones de Fe-oxihidróxidos, ligera a fuertemente impregnados			GLEIYC		

**4 Perfil JS4 Typic Paleudalfs**

**4.1 Horizonte Ap**

La microestructura es blocosa subangular, poros en forma de canales alargados subdendriticos con longitud entre 80 y 100 micras y anchura entre 25 a 50 micras, paredes ligeramente rugosas y onduladas y orientados al azar y sin un patrón de distribución preferente, algunos presentan restos de tejido radicular; poros en forma de cavidades entre peds, irregulares de tamaño entre 50 a 100 micras de paredes rugosas pocos (5-15%), distribuidos al azar, sin un patrón de orientación preferente; poros planos elongados de tamaño entre 25 a 50 micras muy pocos, de paredes onduladas, distribuidos al azar y sin un patrón de distribución preferente.

La fracción gruesa primordialmente de tamaño arena fina, el cuarzo es el mineral predominante, hay piroxenos, anfíboles y biotita en muy bajas cantidades, como también fitolitos y opacos de menos de 5%, los granos de cuarzo son subangulares y

subredondeados. La fracción fina de tamaño arcilla pigmentada por materia orgánica en la masa basal y por hiporevestimientos de hierro (ferriargilanes) laminada y microlaminada (Figura 4.7). La relación c/f de la masa basal es porfirica, la fabrica de la micromasa es indiferenciada; algunos dominios de argillasepica y en sectores hay porestriadas. En cuanto a los rasgos pedológicos y en relación con los amorfos y criptocristalinos se presentan hiporevestimientos en canales y cuasirevestimientos en cavidades de hierro (hematita), son edaforrasgos redox del tipo impregnativo, son discontinuos y de espesor no mayor a 50 micras especialmente los hiporevestimientos, de color rojizo, moderadamnete impregnados, la cantidad oscila entre 2 a 5%. Predominan los hiporevestimientos relacionados con la alta dinámica del hierro, lo que evidencia condiciones redoximórficas (Tabla 4.4).

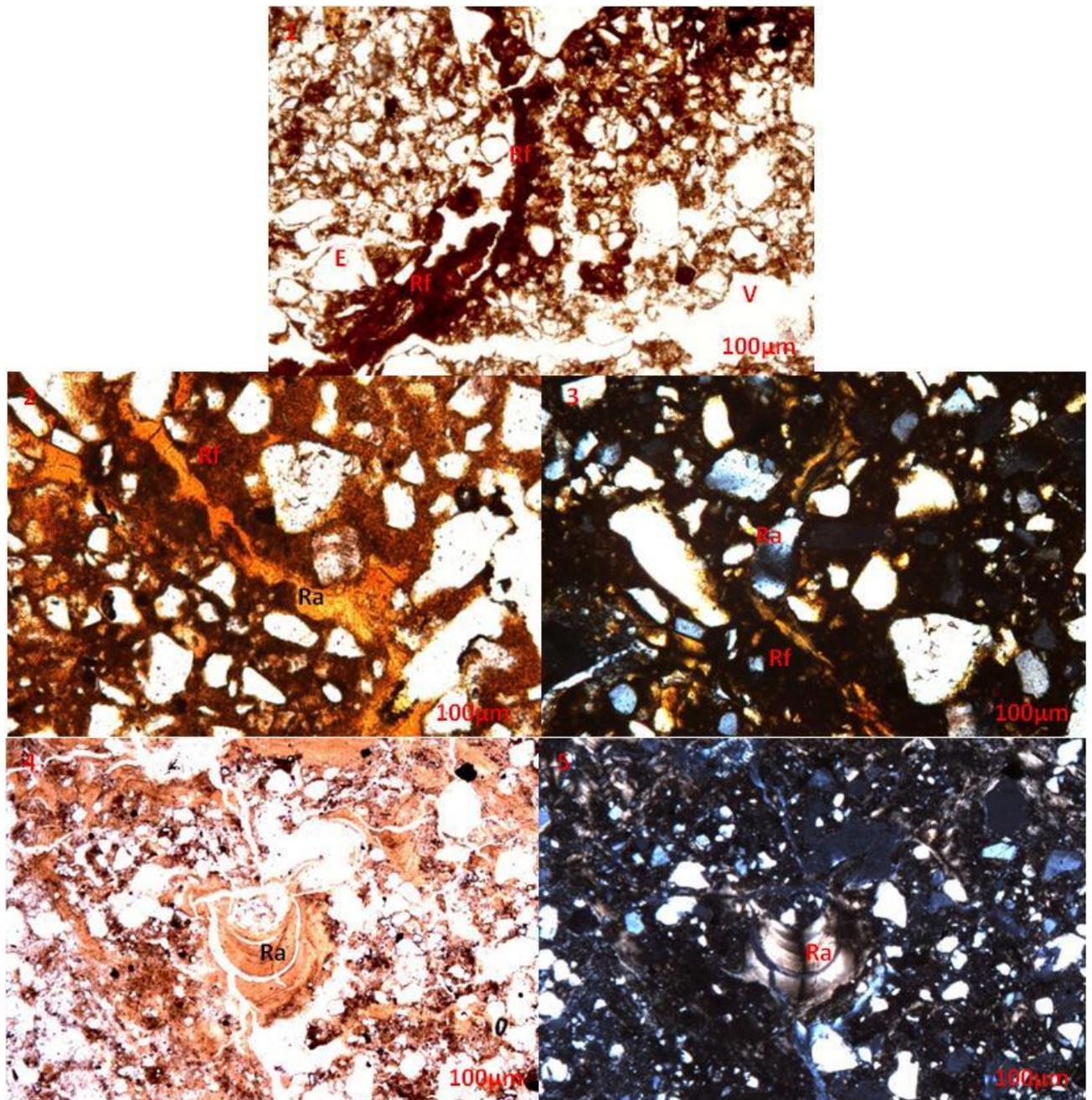
#### **4.2 Horizonte 2Btg1**

La microestructura es en bloques subangulares; poros en forma de canales, en cavidades y planos, son suaves y ondulados, mesoporos en un 25%, dominan los poros en forma de planos y canales; La fracción gruesa primordialmente de tamaño arena fina dominante entre 50 – 70% de tamaño heterométrico de forma prismática, el cuarzo es el mineral dominante, hay hornblenda y feldespatos en bajas cantidades, como también fitolitos y opacos de menos de 5%, los granos de cuarzo son subangulares y subredondeados.

La fracción fina de naturaleza arcillosa y de hierro (ferriargilanes) es de color pardo rojizo, los fragmentos de rocas principalmente de arenisca son pocos de foma subangular. La relación c/f de la masa basal es porfirica, contextura birrefringente de la micromasa es indiferenciad y en sectores hay porestriadas. En cuanto a los edaforrasgos se presentan hiporrevestimientos en la pared de los canales y planos muy abundantes >20%, la naturaleza del material es arcilla iluvial y arcillosa con hierro (ferriargilanes) son edaforrasgos redox, de contextura interna microlaminada de tipo impregnativo (Figura 4.8). Hay canales rellenos con arcilla iluvial y en sectores hay dinámica intensa del hierro son revestimientos de arcilla neta (argilanes) o mezclada con hierro (ferriargilanes) y de manganeso y también revestimientos de tipo ferrans e hiporrevestimientos en la matriz y cuasirrevestimientos, se evidencia condiciones redoximórficas, hay cerca de 10% de revistimientos de hierro (ferrans). Llama la atención que algunos argilanes están depositados sobre ferranes o que se presentan en capas de argilanes alternando con

ferranes (Tabla 4.4).

**Figura 4.4** Perfil JS4 Typic Paleudalfs (1) NP hteAp (2) NP hte 2Btg1 (3) NX hte 2Btg1 (4) NP hte 2Btg3 (5) NX hte 2Btg3. E: granos del esqueleto; V: poro o void; E: granos del esqueleto y rasgos pedológicos Ra: argilan o revestimiento arcilloso, Rf: revestimiento de hierro o ferran.



**Tabla 4.4** Descripción micromorfológica del perfil JS4

Perf	Hte	Prof. Cm	Microestruc	Porosid	c/f distribución relacionada	c/f Proporción (grueso/fino)	Componentes minerales	Micromas	b-fabrica Contextura birrefringente	Compon. Organ.	Edaforrasgos				
JS4	Ap	0-25	Blocosa subangular	25%, canales, cavidades y planos	Porfírica	2/1	Arena fina de cuarzo	Marrón oscuro, arcilla, limo fino y pigmento orgánico	Indiferenciada	Fragmentos de raíces	Nódulos de Fe oxihidróxidos, fuertemente impregnados	Hiporevestimientos de Fe-oxihidróxidos	Seudomorfos de Fe-oxihidróxidos en residuos de raíces		
	AB	25-45	Blocosa subangular	25%, canales	Porfírica	2/1	Arena fina de cuarzo, arena gruesa y grava alterada (ferruginizada) de arenisca	Marrón oscuro, arcilla, limo fino y pigmento orgánico	Indiferenciada	Fragmentos de raíces	Nódulos de Fe oxihidróxidos, fuertemente impregnados	Hiporevestimientos de Fe-oxihidróxidos	Seudomorfos de Fe-oxihidróxidos en residuos de raíces		
	2Btg1	45-59	Blocosa subangular	15%, canales, cavidades y planos	Porfírica	2/1	Arena fina de cuarzo, arena gruesa y grava alterada (ferruginizada) de arenisca	Marrón oscuro, arcilla, limo fino y pigmento orgánico	Indiferenciada	Ausente	Nódulos de Fe oxihidróxidos, fuertemente impregnados	Hiporevestimientos de Fe-oxihidróxidos	Seudomorfos de Fe-oxihidróxidos en residuos de raíces	Intercalaciones y rellenos de caolinita, microlaminada	
	2Btg2	59-88	Blocosa subangular, moderadamente separados	15%, canales y planos	Porfírica	2/1	Arena fina a gruesa de cuarzo y areniscas irregularmente distribuidos en parches	Mezcla irregular de manchas de color café oscuro, arcilla, limo fino y pigmentos orgánicos y micromasa rica en hierro	Indiferenciada	Ausente	Nódulos de Fe oxihidróxidos, fuertemente impregnados	Hiporevestimientos de Fe-oxihidróxidos	Seudomorfos de Fe-oxihidróxidos en residuos de raíces	Intercalaciones y rellenos de caolinita, microlaminada (más abundante que 2Btg1)	Fragmentos de fauna
	C (2Btg3?)	88-110	Blocosa subangular, moderadamente separados	15%, canales, planos	Porfírica	2/1	Arena fina a gruesa de cuarzo y areniscas irregularmente distribuidos en parches	Mezcla irregular de manchas de color café oscuro, arcilla, limo fino y pigmentos orgánicos y micromasa rica en hierro	Indiferenciada	Ausente	Nódulos de Fe oxihidróxidos, moderadamente impregnados	Hiporevestimientos de Fe-oxihidróxidos	Intercalaciones y rellenos de caolinita, microlaminada (más abundante que 2Btg2)	Revestimientos de arcilla, limo y manchas (puntos) pequeñas orgánicas	Fragmentos de fauna

## 5 Perfil JS5 Typic Paleudalfs

### 5.1 Horizonte 2Btg1

La microestructura es laminar; poros de empaquetamiento simple en forma de canales, en cavidades y planos, son suaves y ondulados, mesoporos en un 30%, dominan los poros en forma de planos y canales, muy pocos en cavidades. La fracción gruesa primordialmente de tamaño arena media y fina dominante entre 50 – 70% de tamaño heterométrico, de forma subangulares y subredondeados, el cuarzo es el mineral dominante, hay circón en muy pocas cantidades.

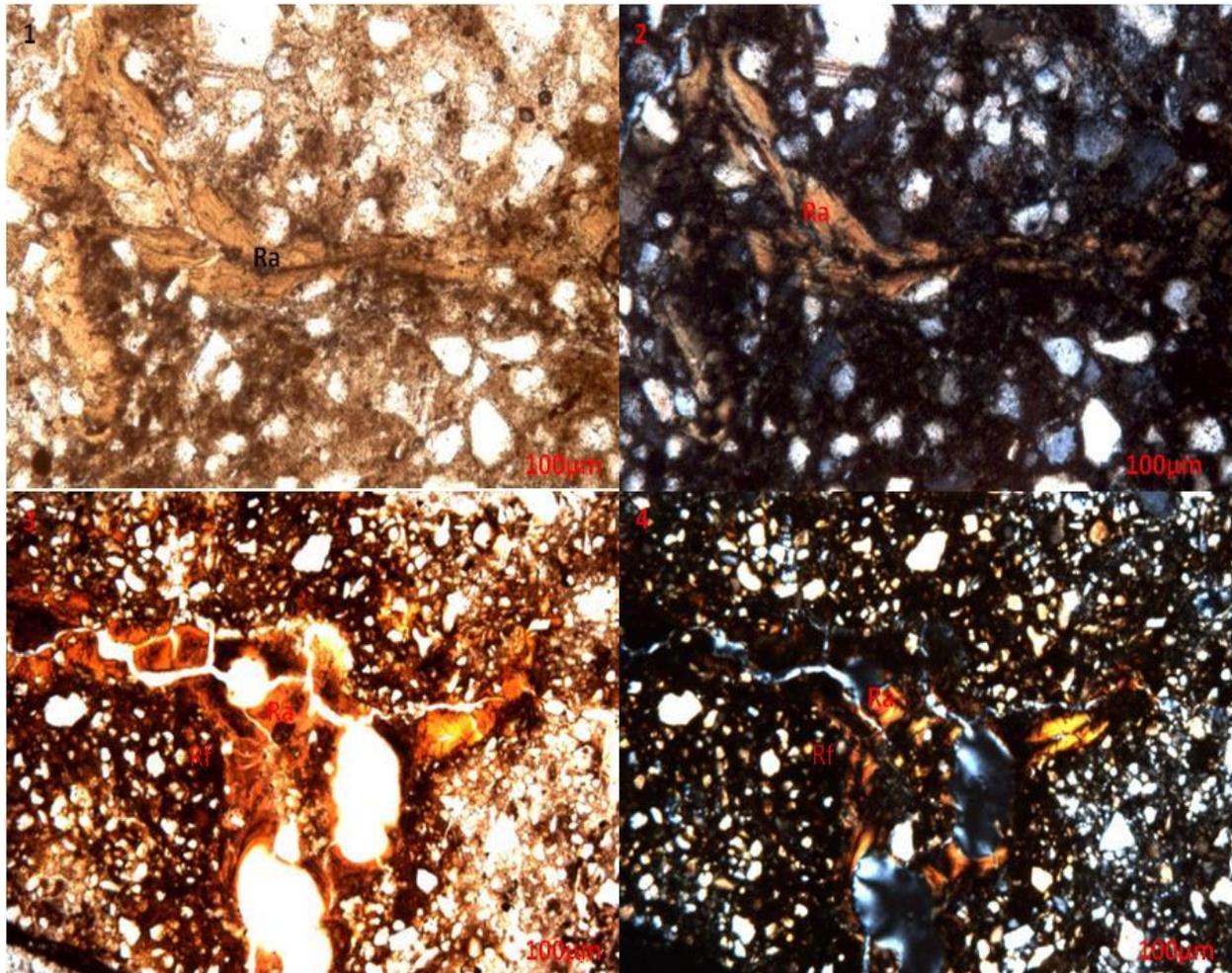
La fracción fina arcilla y limo fino de color pardo amarillento; los fragmentos de roca principalmente sedimentaria muy pocos <5% de tamaño arena fina de forma subangular pero no son tan evidentes en la sección delgada. La relación c/f de la masa basal es porfírica, contextura birrefringente de la micromasa es moteada en mosaico en sectores hay granoestriadas, ligera estriación transversal. En cuanto a los edaforrasgos se presentan revestimientos en las paredes de los canales común entre 30 – 50%, en las

---

cavidades muy pocos <5%, la naturaleza del material es arcilla iluvial y arcillosa con hierro (ferriargilanes) son edaforrasgos redox de contextura interna microlaminada de tipo impregnativo (Figura 4.9). Los hipocutanes son arcillosos y de hierro en cavidades y canales. Hay también argilanes en las paredes de canales y planos. Hay nódulos de contextura típica y halos, el grado de impregnación es fuerte y neto la naturaleza del

material es de hierro común entre 30 – 50% y variable (Tabla 4.5).

**Figura 4.5** Perfil JS5 Typic Paleudalfs (1) NP hte2Btg1 (2) NX hte 2Btg1 (3) NP hte 2Btg2 (4) NX hte 2Btg2; Rasgos pedológicos (Ra: argilan o revestimiento arcilloso, Rf: revestimiento de hierro o ferran). La microestructura es en bloques subangulares de muy débil grado de desarrollo, la fabrica del suelo es porfírica, tipo abierta y contextura birrefringente de la micromasa es indiferenciada y en sectores hay granoestriadas.



**Tabla 4.5** Descripción micromorfológica del perfil JS5

Perf	Hte	Prof. Cm	Microest	Porosid	c/f distrib. Relacionad	c/f Proporc. (grueso/fino)	Componen. minerales	Micromas	b-fabrica Contextura birrefringen	Compon. Organ	Edaforrasgos				Rasgos redoximór	
JS5	Ap	0-18	Blocosa subangular	20%, canales	Porfirica	3/1	Arena media y fina de cuarzo, subangular	Marrón amarillento, arcilla, limo fino y pigmento orgánico	Punteada, moteada	Fragmentos de raíz, fresco	Nódulos de Fe oxihidróxidos, fuertemente impregnados	Hiporevestimientos de Fe oxihidróxidos alrededor de los canales radiculares	Sudomorfos de Fe oxihidróxidos después de los residuos de las raíces	Fragmentos con recubrimientos de caolinita	Hiporevestimientos de arcilla alrededor de canales, entre las partículas de arena	
	Ap	10-22	Blocosa subangular bien separados	20%, canales, planos y cavidades	Porfirica	3/1	Arena media y fina de cuarzo, subangular	Marrón amarillento, arcilla, limo fino	Punteada, moteada	Fragmentos de raíz, fresco	Nódulos de Fe oxihidróxidos, fuertemente impregnados	Hiporevestimientos de Fe alrededor de los canales radiculares	Revestimientos y rellenos de caolinita alrededor de los poros, moteados debido a material orgánico de gran espesor (2-3 mm)	Fragmentos con recubrimientos de caolinita y de hierro en la masa basal. Presencia de Fe y revestimientos sucios de arcilla alrededor de los huecos		STAGNIC
	2Btg1	18-56	Laminar moderadamente separados	20%, planos y cavidades horizontales, mal acomodados; planos y cavidades, verticales, moderadam. acomodados y canales	Porfirica	2/1	Arena media y fina de cuarzo, subangular	Marrón amarillento, arcilla, limo fino	Moteado en mosaico, ligera estricción transversal	Ausente	Nódulos de Fe oxihidróxidos, fuertemente impregnados	Presencia de áreas con Fe alrededor de los poros, verticales y horizontales	Revestimientos y rellenos de caolinita, alrededor de los poros, manchas de materiales orgánicos, muy gruesas (2 mm), distorsionadas (patrones irregulares de extinción)	Fragmentos con recubrimientos de caolinita y de hierro en la masa basal		STAGNIC
	2Btv	79-103	Blocosa subangular	15%, canales y cavidades	Porfirica	1/1 to 1/5	Arena fina a gruesa de cuarzo, irregularmente distribuida	Arcilla grisácea, limo fino	Moteado en mosaico, poroestriada y granoestriada	Ausente	Nódulos de Fe oxihidróxidos y arcilla, fuertemente impregnados, fragmentado por la actividad de la fauna	Presencia de áreas con Fe alrededor de algunos poros	Revestimientos intercalados y rellenos de caolinita, alrededor de los poros, algunos microlaminados, algunos moteado debido a presencia de materiales orgánicos, muy gruesas (2 mm), (patrones de extinción irregular), que ocupan aproximadamente el 40% de l	Zonas ricas de arcilla con microestructura vesicular y fuertemente impregnadas de hierro púrpura oxihidróxidos siguiendo un patrón reticular	Fragmentos de fauna	STAGNIC. Mucho más arcilloso, quizás capa freática coigada

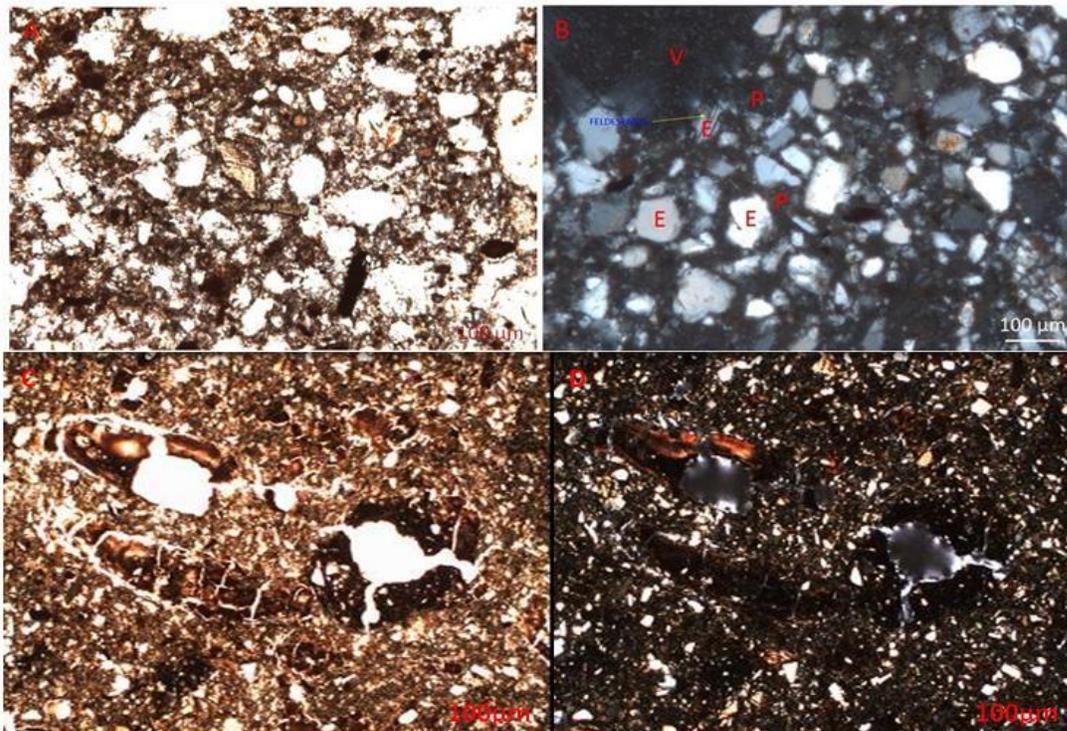
## 6 Perfil JS6 Typic Haplustalfs

### 6.1 Horizonte Ap

La microestructura es en bloques subangular débilmente desarrollada, escasa (5 – 15%) en la sección delgada y finos de paredes onduladas, distribuidos al azar y sin un patrón de orientación preferente. Se encuentran áreas localizadas donde el material tiende a la masividad. Los poros dominantes son canales, son entpedes e irregulares de tamaño 50 a 100 micras hasta alrededor de 200 micras de paredes lisas y frecuentes (15 – 30%) en la sección delgada y distribuidos al azar sin un patrón de orientación preferente; los planos son pocos y alargados con longitud superior a 100 micras y anchura cercana a 25 micras, de forma cilíndrica y paredes suavizadas, orientados al azar; los canales son poros alargados con longitud hasta 100 micras y anchura de 25 a 75 micras, de paredes lisas, ocupan un 20% en la sección delgada, distribuidos al azar, algunos presentan restos de raíces (Tabla 4.6).

La fracción gruesa primordialmente arena gruesa, el cuarzo es el mineral dominante, hay cantidades muy bajas de feldespatos y hornblenda, es común la frecuencia de fitolitos (30 – 50%), los granos de cuarzo son subangulares. La fracción arcilla pigmentada por materia orgánica de color gris oscuro, de aspecto manchada y/o punteada. La relación c/f de la masa basal es Monica-porfirica, la textura birrefringente de la micromasa es indiferenciada localmente poroestrada. En cuanto a los edaforragos se presentan nódulos de hierro principalmente de hematita muy pocos menor al 2% y de tamaño variable. No se presentan revestimientos ni hiporrevestimientos de arcilla (Figura 4.10) y en las figuras 4.7 y 4.8 se muestran algunos edaforragos de las secciones delgadas de las muestras tomadas en los perfiles de suelos.

**Figura 4.6.** Perfil JS6 Typic Hplustalfs horizonte Ap (A) NP (B) NX. Hprizonte Bt1 (C) Np y (D) NX. E: granos del esqueleto; V: poro o void; P: plasma. En (C) y (D) horizonte Bt1, la fábrica del suelo es porfírica y de la micromasa, combinación de insépica y vosépica. Se encuentran revestimientos densos de arcilla (argilanes), la morfología es en bandas y presentan bandas entremezcladas de limo y arena muy fina.

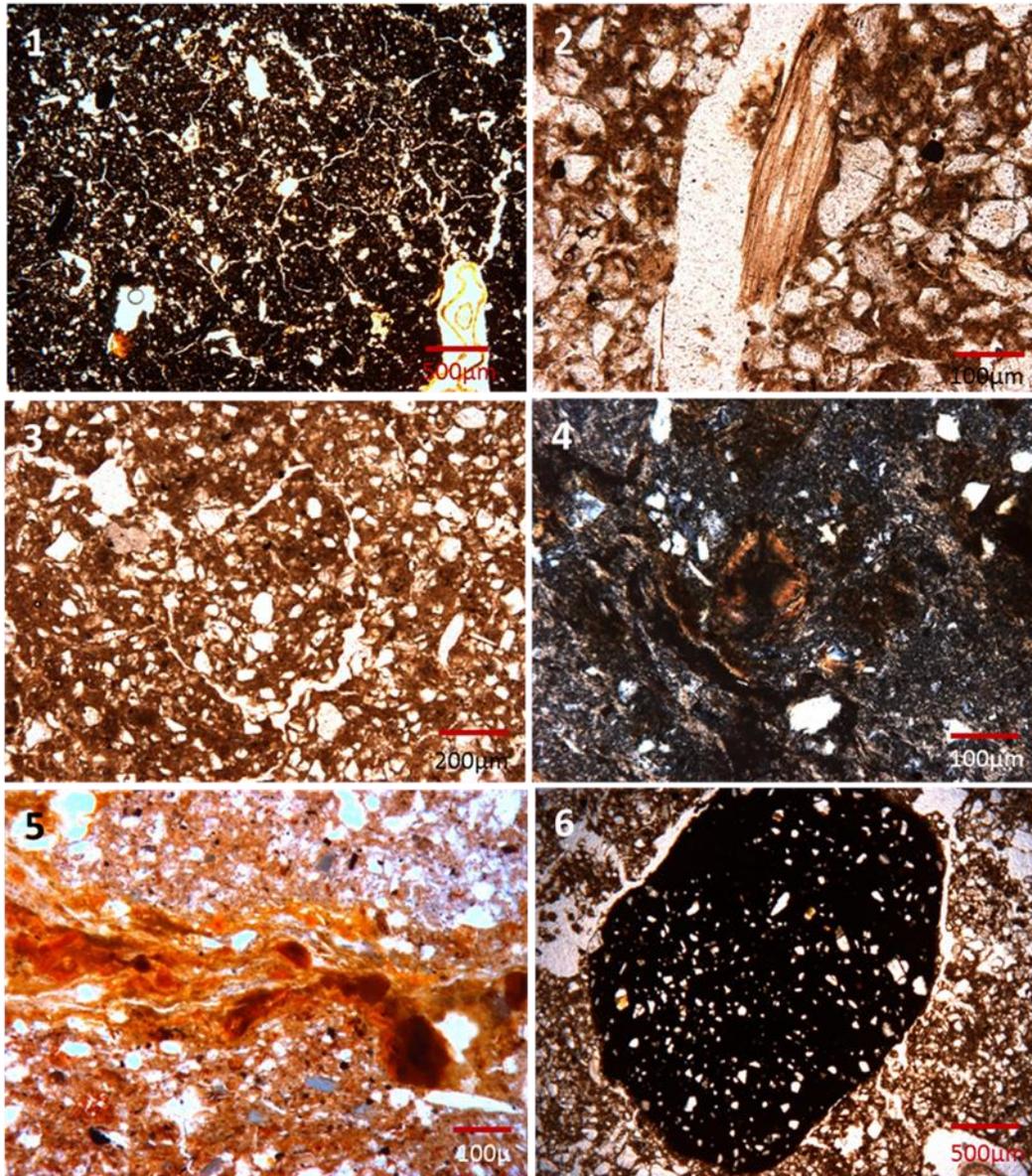


**Tabla 4.6** Descripción micromorfológica del perfil JS6a

Perfil	Hte	Prof. Cm	Microestruct.	Porosidad	c/f distribución relacionada	c/f Proporción (grueso/fino)	Componentes minerales gruesos	Micromas	b-fabrica Contextura birrefringente	Compon. Organi	Edaforrasgos			Rasgos redoximórficos
JS6a	Ap	0-26	Bloques subangulares debiles	20%, poros de embalaje simples, canales	Monica	10/1	Arena gruesa y grava de cuarzo, cuarcitas, opacos y fragmentos de roca arenisca ferruginizada subangular	Arcilla gris oscuro, limo fino y pigmento orgánico	Indiferenciada	Fragmentos de raíces frescas	Nódulos de Fe-oxihidróxidos, fuertemente impregnados			
	AB	26-33	Bloques subangulares debiles	15%, canales	Porfirica	5/1	Arena fina a gruesa de cuarzo, cuarcitas y opacos, subangulares, mal ordenados; arena muy gruesa y gravas de fragmentos de roca arenisca ferruginizada y redondeada	Arcilla gris y limo fino	Moteada en puntos	Fragmentos de raíces frescas	Pocos recubrimientos de caolinita, microlaminada al patrón irregular, alrededor de los canales	Fragmentos de fauna		
	Bt1	33-49	Bloques subangulares debiles	15%, canales	Porfirica	3/1	Arena fina a gruesa de cuarzo, cuarcitas y opacos, subangulares, mal ordenados; arena muy gruesa de fragmentos de roca arenisca ferruginizada y redondeada	Arcilla gris y limo fino	Moteada en puntos	Fragmentos de raíces frescas	Nódulos de caolinita y revestimientos de arcilla	Pocos rellenos de caolinita microlaminada	Fragmentos de fauna	
	Bt2	49-53	Blocosa angular	30%, planos, canales y cavidades	Porfirica	3/1	Arena fina a gruesa de cuarzo, cuarcitas y opacos, subangulares, mal ordenados; arena muy gruesa de fragmentos de roca arenisca ferruginizada y grava petroplíntico, redondeado	Arcilla gris y limo fino	Granoestriada y poroestriada		Nódulos de caolinita y revestimientos de arcilla	Recubrimientos de caolinita, microlaminada de patrón irregular, alrededor de canales	Nódulos de Fe-oxihidróxidos, fuertemente impregnados	GLEYIC

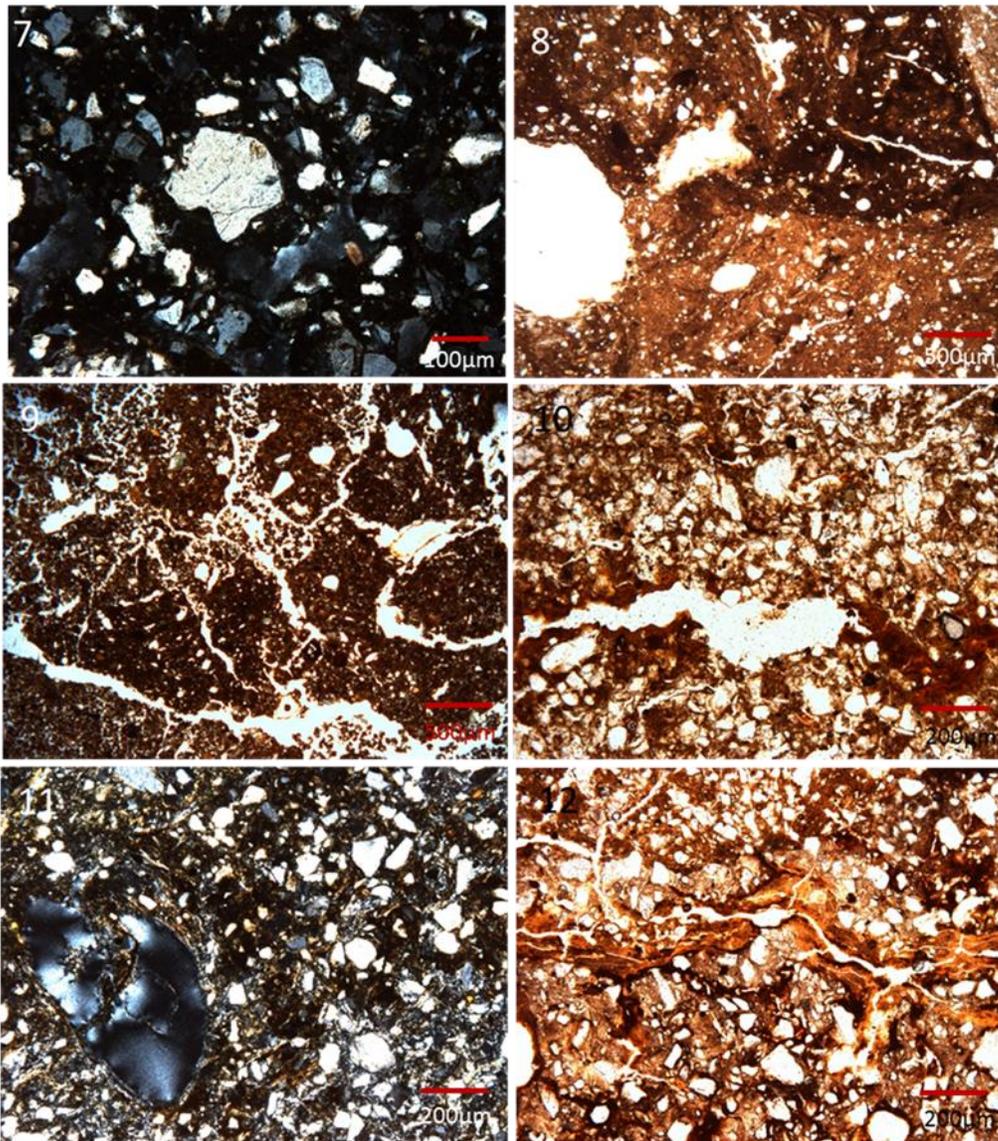
Figura 4.7. 1: Acumulación de sustancias húmicas, NP. 2: Presencia de tejido de la raíz

en un canal sin descomponer, NP. 3: los agregados están parcialmente separados por canales, cámaras, suave y ondulado, NP. 4: Horizonte de arcilla orientada 2Btg2, NX. 5: Horizonte Btg, NP. 6: Nódulos de hierro, NP.



**Figura 4.8.** 7: Micromasa porfírica, textura birrefringente indiferenciada, NX. 8:

Mesoporos (cavidades y canales), NP. 9: Estructura en bloques angulares, canales y planos, NP. 10: Ferriargilanes de color café rojizo, NP. 11: Micromasa porestriada con sectores granoestriada, NX. 12: Revestimientos arcillosos en canales, NP.





# 5. Fertilidad de los suelos

## Introducción

La fertilidad del suelo se considera como la cualidad que permite al mismo suministrar nutrientes en cantidades apropiadas y en un balance adecuado para el crecimiento de plantas especificadas cuando la luz, la humedad, la temperatura y otros factores de crecimiento son favorables.

Scholes, Swift, Sánchez, Ingram & Dalal (1994) por su parte, indican que la capacidad productiva de los suelos está determinada principalmente por sus propiedades químicas y físicas incluyendo el aprovechamiento de la humedad. Subrayan que desde un principio se debe reconocer que no todos los suelos son apropiados para la producción de cultivos; las condiciones del suelo, clima y topografía así como consideraciones económicas, deben ser evaluadas con anticipación para que las prácticas de fertilidad puedan efectuarse inteligentemente. La utilización de la tierra para producción óptima y beneficio económico a largo plazo, requiere de un profundo conocimiento de la fertilidad del suelo y de prácticas de manejo basadas en principios científicos, pero a la vez reforzados con experiencia práctica.

Si bien resulta muy sencillo clasificar la fertilidad del suelo en diferentes clases, es evidente que en el suelo los procesos físicos y químicos ocurren en formas variadas y de diferente complejidad, de tal forma que un tipo de problemática de fertilidad puede interactuar con otro; por ejemplo la salinización y sodificación del suelo altera los ciclos bioquímicos y la actividad biológica. De tal forma que cuando se evalúa la fertilidad del suelo, se deben considerar la disponibilidad de los elementos esenciales para el crecimiento de los vegetales, la salinidad y alcalinidad, el hidromorfismo, la reacción del suelo, la saturación del aluminio de cambio, el contenido de carbono orgánico, el contenido de bases cambiables y su porcentaje de saturación en relación con el complejo de cambio y las

limitaciones físicas (textura, estructura, humedad aprovechable, compactación entre otras).

Se deduce entonces, que para evaluar la fertilidad del suelo se deben integrar los aspectos químicos, físicos y biológicos. Generalmente se aborda el análisis de la fertilidad del suelo desde el punto de vista químico por la fácil accesibilidad a los análisis de laboratorio, que en poco tiempo arrojan los resultados analíticos de gran parte de las propiedades químicas relevantes en el crecimiento de las plantas. Por tal motivo, la evaluación de la fertilidad natural o con miras a propósitos agronómicos, solo integra por lo general el aspecto químico. Bajo esta circunstancia, la fertilidad química se refiere a la capacidad que presenta el suelo para suministrar los nutrientes esenciales a las plantas, lo que se pueda evaluar a través de análisis de laboratorio y con los resultados obtenidos se puede conocer con gran aproximación, la disponibilidad de nutrientes en el suelo o la cantidad de los mismos en los tejidos vegetales.

## 5.1 Metodología

Ortega (1987) propuso un método que se sustenta en una tabla de calificación para evaluar en cierta medida la fertilidad natural del suelo o sea su capacidad para suministrar los nutrientes que demandan los cultivos en el curso de su normal desarrollo (Tabla 5.1). Resalta el autor que la aplicación del método permite comparar la fertilidad de suelos desarrollados bajo condiciones ecológicas y propiedades físicas similares; subraya que si un suelo de fertilidad alta o muy alta no es productivo se deduce que existen otros factores limitantes que no pertenecen al dominio de la química del suelo, ya que el método que propone evalúa en forma sencilla propiedades químicas relevantes en el crecimiento de las plantas como son: pH, saturación del aluminio intercambiable, contenido y saturación de las bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, contenido de carbón orgánico, potasio disponible, fósforo disponible, conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Estas propiedades son usualmente analizadas y valoradas en los análisis químicos que realizan la mayoría de los laboratorios de suelos del país y, por consiguiente, es fácil evaluar y valorar la fertilidad química a los suelos con la tabla que incluye el método.

Subraya Ortega (1987) que el método que propone no solo evalúa la fertilidad de los

suelos, sino que también se puede utilizar para otros aspectos en relación con el suelo como: asignar un valor adecuado para el cálculo del valor potencial del suelo; servir como criterio en el sistema de clasificación de tierras por su capacidad de uso y utilizarse como guía en la elaboración de los capítulos de uso y manejo y de mapas temáticos de fertilidad en los levantamientos agrológicos.

En la actualidad la utilización de la tabla de calificación del método propuesto por Ortega (1987), sigue vigente en el área de reconocimiento de suelos de la Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

La aplicación de la tabla propuesta por Ortega (1987) para evaluar la fertilidad del suelo permite calificarla o apreciarla de acuerdo con el puntaje obtenido en 5 clases: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. En las clases muy baja y baja son coincidentes valores de pH inferiores a 5.5, saturación de aluminio superior a 30%, baja CIC, escasez y baja saturación de bases de cambio y contenidos exigüos de  $K^+$  y P disponibles; el contenido de carbón orgánico determina, de acuerdo con el valor, si la clase es muy baja o baja, de igual manera influye la capacidad de intercambio catiónico.

En la clase moderada la saturación de aluminio es menor del 30% o no hay aluminio de cambio; el pH generalmente es mayor de 5.5, mientras que los contenidos de bases se incrementan ligeramente al igual que su saturación y siguen siendo bajos los valores del  $K^+$  y P disponibles. En esta clase el bajo valor de la saturación de aluminio determina, en gran medida, un aumento notorio en el valor del puntaje final. Suelos salinos y sódicos caen dentro de esta clase, así presenten propiedades químicas favorables que puedan determinar una alta puntuación, con la cual podrían ser calificados como de fertilidad alta o muy alta.

En las clases alta y muy alta las condiciones químicas de los suelos son favorables y al evaluarlas con la tabla arrojan puntajes altos. En la clase alta es común que el potasio o el fósforo disponible presenten uno o los dos, valores bajos, mientras que en la clase muy alta los dos elementos, y especialmente el potasio, se encuentran en el suelo por encima del rango más alto establecido en la tabla, mayor de 40 mg/kg para el fósforo y mayor de 0.4 cmol (+)/kg para el potasio. Teniendo en cuenta los niveles propuestos para la mayoría de los cultivos y su disponibilidad permanente en el suelo, se establecieron dos clases: 1)

contenido igual o inferior a  $40 \text{ mg kg}^{-1}$  y 2) contenido superior a  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ ; en el primer caso se considera bajo, por lo que se espera obtener una respuesta alta a la aplicación de fertilizantes fosfatados por la totalidad de los cultivos comerciales; para el  $\text{K}^+$  se estima como alto, con baja respuesta a la fertilización con el elemento y al igual que el fósforo, se consideran dos clases de acuerdo con la disponibilidad y respuesta de las plantas a la fertilización con potasio: 1) contenido igual o inferior a  $0.4 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  y 2) mayor a  $0.4 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ ; el primero es bajo y el segundo alto. El nivel crítico de  $0.4 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  se

escogió de acuerdo con lo estipulado en el Manual Técnico de Microfertiliza (s.f.).

Para el análisis y evaluación de la fertilidad de cada uno de los suelos estudiados, se utilizó la Tabla de calificación (Tabla 5.1) del procedimiento metodológico propuesto por Ortega (1987), dada su facilidad para evaluar, calificar y ubicar la fertilidad del suelo dentro de 5 clases: muy baja, baja, media o moderada, alta y muy alta desde el punto vista químico en los primeros 50 cm.

En el procedimiento metodológico propuesto por Ortega (1987) la fertilidad se califica evaluando ponderadamente los primeros 50 cm del suelo los resultados analíticos de las siguientes propiedades químicas: pH, porcentaje de saturación de la acidez intercambiable, capacidad de intercambio catiónica, porcentaje de saturación de bases cambiables, cantidad total de bases cambiables, porcentaje de carbón orgánico y piso climático, fósforo disponible y potasio cambiante.

Es importante resaltar que en este procedimiento metodológico no se valora el carbonato de calcio y otros afines; estas sustancias pueden provocar serias limitaciones nutricionales (deficiencia o toxicidad) para el crecimiento de cultivos en general, que disminuyen, en gran medida, la capacidad productiva del suelo.

Respecto con el análisis técnico de las propiedades químicas que se evalúan con la tabla de calificación, estas ya fueron analizadas en su contexto técnico en el Capítulo 3 Morfología de suelos de este trabajo de investigación.

**Tabla 5.1** Tabla para evaluar la fertilidad del suelo (Ortega, 1987)

pH AGUA 1:1		INTERVALO PUNTAJE	<4.5>8.5 1	4.6-5.0, 7.9- 8.4 2.	5.1-5.5; 7.4- 7.8 3.	5.6-6.0 4	6.1-7.3 5
SATURACIÓN DE ALUMINIO %		INTERVALO PUNTAJE	>60 1	60-30 2	29-15 3	14-5 4	<5 5
CAPACIDAD DE CAMBIO cmol (+) kg <sup>-1</sup>		INTERVALO PUNTAJE	<5 1.	5-10 2	11-15 3	16-20 4	>20 5
BASES	PORCENTAJE DE SATURACIÓN	INTERVALO PUNTAJE	<10 0.5	10-35 1	36-50 1.5	51-70 2	>70 2.5
	TOTALES cmol (+) kg <sup>-1</sup>	INTERVALO PUNTAJE	<4.0 0.5	4.1-8.0 1	8.1-120 1.5	12.1-16.0 2	>16 2
% CARBONO	CLIMA FRÍO	INTERVALO PUNTAJE	<1.3 1	1.3-2.6>10.0 2.	2.7-4.0 8.1- 10.0 3	4.1-5.2; 8.0- 6.6 4	5.3-6.5 5
	CLIMA MEDIO	INTERVALO PUNTAJE	<0.5 1	0.6-1.7>7.6 2	1.8-2.9 6.5- 7.6 3	3.0-4.1; 5.4- 6.5 4	4.2-5.3 5
	CLIMA CÁLIDO	INTERVALO PUNTAJE	<0.2 1	0.2-0.5 2.	0.51-1.7 9	1.71-2.9 4	>3.0 5
FOSFORO BRAY II mg kg <sup>-1</sup>		INTERVALO PUNTAJE	<10 1	10-20 2	21-30 3	31-40 4	>40 5
POTASIO cmol (+) kg <sup>-1</sup>		INTERVALO PUNTAJE	<0.1 1	0.1-0.2 2.	0.21-0.3 3.	0.31-0.4 4	>0.4 5

## SALES Y/O SODIO

CE dS/m	PSI %	CLASE	PUNTAJE NEGATIVO	
			0-25 cm	25-50 cm
<4	MENOR	N	0	0
4.8	DE	S1	1	0.6
8.16	15	S2	2	1.4
>16		S3	3	2
<4	MAYOR	Na	5	4
4-8		S1Na	5	5
8-16		S2Na	5	5
>16		S3Na	5	5

## CALCULO DE FERTILIDAD

FT= Fertilidad Total

F1= Fertilidad 0-25 cm

F2= Fertilidad 25-50 cm

K= 0.285

Fertilidad en Suelos Normales:

$$FT = (0.7 F1 + 0.3 F2) K$$

Fertilidad en Suelos Salinos y/o Sódicos:

$$FT = 0.7 (F1 K - X1) + 0.3 (F2 K - X2)$$

X1= Salinidad y/o Sodio 0-25 cm

X2= Salinidad y/o Sodio 25-50 cm

## APRECIACION

&gt;8.4 Muy Alta

8.4 - 6.8 Alta

6.7 - 5.2 Moderada

5.1 - 3.6 Baja

&lt;3.6 Muy Baja

Es importante señalar que para un completo análisis de la fertilidad del suelo, se requiere considerar no sólo las propiedades químicas, sino también las propiedades físicas, biológicas, tecnológicas y económicas, las cuales son relevantes en los cultivos. Por tal motivo, la evaluación de la fertilidad natural o con miras a propósitos agronómicos, debe considerar el manejo integral del mismo, en tanto que la fertilidad física provee el soporte mecánico para el crecimiento y sostén de las plantas, en este sentido propiedades como la textura, la estructura, la retención hídrica, la porosidad, la resistencia a la penetración, la consistencia entre otras, se deben considerar cuando se evalúe la fertilidad del suelo.

## 5.2 Resultados

### Suelos con pH igual o inferior a 5.5

En el área del estudio los suelos agrupados en este rango de pH se encuentran distribuidos ampliamente en los sectores muy húmedos y húmedos de los pisos climáticos muy frío a frío y se localizan en la ladera estructural del relieve Montañoso Estructural-Glaciárico-Denudativo, en el abanico coluvial inclinado y en el ápice del abanico diluvial inclinado, suelos JS1, JS2 y JS3 (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2** Características químicas para la evaluación de la fertilidad del suelo

PERFIL	Prof. cm	HTE	CIC cmol(+)/Kg	Ca cmol(+)/Kg	Mg cmol(+)/Kg	K cmol(+)/Kg	Na cmol(+)/Kg	BT cmol(+)/Kg	Sat Bases %	C.O %	P mg/Kg	pH (1:1)	CaCO3 Cualitativo	Aluminio	
														cmol(+)/Kg	Sat %
JS - 1	00 - 28	Ah	66,7	0,48	0,21	0,23	0,17	1,09	1,6	16,9	3,3	4,3	-	9,3	89,5
JS - 2	00 - 30	Ap	43,0	0,38	0,08	0,27	0,04	0,77	1,79	8,8	20,5	4,8	-	5,3	87,3
	30 - 49	A	30,4	0,35	0,06	0,11	0,04	0,56	1,84	3,1	3	4,7	-	4,2	88,2
	49 - 70	2Btg1	24,2	0,61	0,25	0,08	0,06	1	4,13	0,96	ND	4,8	-	11,7	92,1
	70 - 120	2Btg2	21,2	0,48	0,37	0,12	0,37	1,34	6,32	0,26	ND	4,7	-	14,6	91,6
JS - 3	00 - 23	Ap	24,5	20,5	2,4	2	0,17	25,07	102,33	2,3	1174	7,5	++	-	-
	23 - 54	2Btg1	23,5	3,4	0,81	0,81	0,1	5,12	21,79	0,60	31,2	4,6	-	15,2	74,8
	54 - 70	2Btg2	21,7	1,8	0,86	0,62	0,06	3,34	15,39	0,33	19,5	4,5	-	16,8	83,4
	70 - 92	2Btg3	21,9	1,4	0,91	0,52	0,06	2,89	13,20	0,36	11,9	4,5	-	13,8	82,7
	92 - 120	2Btg4	18,8	0,71	0,77	0,47	0,08	2,03	10,80	0,17	15,2	4,5	-	14	87,3
JS - 4	0 - 25	A	11,1	6,2	0,59	0,08	0,16	7,03	63,30	1,5	12,1	6,6	-	-	-
	25 - 45	Btg1	12,3	4,8	0,74	0,08	0,28	5,9	48,00	1	0,14	6,5	-	-	-
	45 - 59	Btg2	10,1	3,9	0,71	0,09	0,31	5,01	49,60	1,1	ND	6,2	-	-	-
	59 - 88	Btg3	7,4	2,7	0,31	0,08	0,36	3,45	46,60	0,27	ND	5,7	-	-	-
	88 - 110	C	7,8	3,3	0,22	0,05	0,44	4,01	51,40	0,07	ND	5,7	-	-	-
JS - 5	0 - 18	Ap	10,1	4,4	0,65	0,39	0,41	5,85	57,90	1,8	24,5	5,5	-	-	-
	18 - 56	Btg1	14,4	5,6	2,2	0,23	1,3	9,33	64,80	0,51	ND	6,8	-	-	-
	56 - 79	Btg2	13,4	5,4	2,7	0,21	3,6	11,91	88,90	0,11	ND	7,1	-	-	-
	79 - 103	Btg3	15,6	5,7	2,9	0,11	3,8	12,51	80,20	0,07	ND	7,1	-	-	-
	103 - 117	Btg4	17,7	10,4	3,7	0,13	4,7	18,93	SAT	0,11	1,1	7,1	-	-	-
JS - 6	0 - 18	Ap	4,3	1,7	0,56	0,23	0,32	2,81	65,30	0,92	5,3	6,1	-	-	-
	18 - 60	Bt	13,7	5,7	3,8	0,15	7,3	16,95	SAT	0,32	1,3	8,3	++	-	-
JS - 6a	0 - 26	Ap	3,1	2,4	0,52	0,36	0,16	3,44	SAT	0,43	75	6,3	-	-	-
	26 - 33	AB	11,9	6	3	0,23	3,6	12,83	SAT	0,42	3,2	7,7	-	-	-
	33 - 49	Bt1	20,5	17,5	5,1	0,18	6,3	29,08	SAT	0,2	14,5	8,7	++	-	-
	49 - 59	Bt2	21,3	12,7	5,4	0,2	7,8	26,1	SAT	0,24	31	8,6	++	-	-
	59 - 82	Bt3	15,1	6,7	4	0,2	7,2	18,1	SAT	0,04	48,8	8,6	+	-	-
	82 - 100X	Bt4	24,2	7,8	5,9	0,31	10,2	24,21	SAT	0,1	10,8	7,9	+	-	-

Las condiciones de pH ácido, alta saturación de aluminio y bajos contenidos de P disponibles son el resultado de la interacción de eventos pedogenéticos ocurridos bajo climas en los que la precipitación excede a la evapotranspiración, que genera procesos

dominantes de transformaciones y pérdidas que determinan, en gran medida, eliminación de las bases de cambio, entre estas el potasio principalmente en el suelo JS2 y la conformación de minerales secundarios de baja actividad en los suelos JS2 y JS3. El fósforo elemento indispensable para el óptimo crecimiento de las plantas, se encuentra en cantidades bajas, contrastando con la alta retención fosfórica.

Bajo estas condiciones, los suelos presentan limitaciones severas para el crecimiento de muchos cultivos comerciales, por la combinación de pH muy ácido y déficit de P disponible; por su parte, el contenido de aluminio de cambio puede limitar el crecimiento de cultivos susceptibles al elemento. La fertilidad se califica, en general, como baja. Como medidas correctivas donde las condiciones del terreno permitan practicar agricultura para su utilización desde el punto de vista de la fertilidad química, se recomienda la aplicación de enmiendas calcáreas, preferiblemente cal dolomita, y de fertilizantes altos en fósforo y potasio. Otra alternativa es la adaptación de especies vegetales comerciales que toleren alto grado de acidez y saturaciones relativamente bajas de aluminio de cambio.

### **Suelos con pH entre 5.6 y 7.0**

Estos suelos se localizan en el abanico diluvial, en el cuerpo y la base del mismo, en pendiente plana del 1%, suelos JS4, JS5, JS6 y JS6a, se caracterizan porque la saturación de bases es superior al 50 % ó cercana al 50% en el suelo JS4; lo común es la presencia de feldespatos, trazas de anfíboles (hornblenda) y micas, que bajo la acción de climas relativamente subhúmedos y secos se alteran en gran medida y se produce la liberación de bases de cambio; entre estas se destacan el calcio y el magnesio y son los que saturan en alta proporción el complejo de cambio; este proceso produce condiciones eutróficas (saturación de bases superior a 50%) en todo el perfil de suelo y especialmente en los horizontes superficiales, se destaca porque estos suelos presentan contenidos de  $K^+$  y P disponibles por debajo de los niveles críticos establecidos para estos nutrientes (Tabla 5.2).

Al calificar la fertilidad de los suelos incluidos en estas clases, esta puede ser moderada si hay déficit de  $K^+$  y P disponibles y valores bajos de la CIC y el carbono orgánico, o alta si los contenidos de uno de los dos elementos está por debajo del nivel crítico o muy alta si los dos nutrientes están presentes en las cantidades apropiadas para el crecimiento de las plantas. De esta manera la utilización y manejo de los suelos en actividades agropecuarias

debe ajustarse a un plan de fertilización que incluya la aplicación de potasio y fosforo de

acuerdo con el nivel crítico para cada uno de estos.

En los suelos JS6 y JS6a, especialmente en los horizontes subsuperficiales los pHs son superiores a 7.0, presentan carbonato de calcio (reacción al HCL) por su condición climática seca y minerales de fácil alterabilidad como en este caso los feldspatos, los cuales se intemperizan bajo las condiciones de transformación y pérdidas imperante en climas secos, bajo esta circunstancia el proceso pedogenético es controlado por la presencia y/o acumulación de carbonato de calcio, lo que genera pH medianamente alcalino y dominio del complejo de cambio por  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  intercambiables; por tal motivo, y desde el punto de vista químico, estos suelos tienen limitaciones nutricionales y toxicidad por  $\text{Na}^+$  (Tabla 5.2). El análisis químico de estos suelos muestra que el pH es en general, superior a 7 pero inferior a 7.8, que los contenidos de  $\text{K}^+$  y P disponibles son bajos, mientras que las cantidades cambiables de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$  son relativamente altas y en algunos casos especiales precipitan en el suelo y pueden originar condiciones salinas, como ocurre comúnmente en los relieves con influencia marina. De tal forma que para utilizar estos suelos en cultivos, se requiere corregir la deficiencia de  $\text{K}^+$  y P e implementar planes específicos de riego y drenaje para eliminar o reducir o evitar procesos de salinización.

### **Suelos con fertilidad baja**

Los suelos JS1, JS2 y JS3 presentan fertilidad baja y se caracterizan por: valores de pH inferiores a 5.0; saturación de la acidez intercambiable superior a 70 %; porcentaje de saturación y cantidad de bases cambiables bajos y capacidad de intercambio catiónico por encima de 20.0 cmol (+)  $\text{kg}^{-1}$ . La capacidad de intercambio catiónico y los contenidos de carbono orgánico presentan valores relativamente más altos, lo que determina que a pesar de que presenten una fertilidad baja, los suelos JS2 y JS3 son potencialmente productivos.

Los suelos con esta clase de fertilidad requieren desde el principio prácticas extensivas de rehabilitación química para incorporarlos en forma eficiente y productiva a la producción agrícola, pecuaria y forestal; es decir, que es necesario implementar planes a gran escala de encalado y fertilización con elementos mayores y menores, ya que requieren de la aplicación de enmiendas calcáreas y fertilizantes para hacer un uso eficiente de estos en la producción agropecuaria.

### **Suelos con fertilidad media o moderada**

---

En la clase moderada se presentan los suelos JS4, JS5, JS6 y JS6a, el pH generalmente es mayor de 5.5, no hay aluminio de cambio, mientras que los contenidos de bases se incrementan ligeramente especialmente  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$  al igual que la saturación de bases y siguen siendo bajos los valores del  $\text{K}^+$  y P disponibles. Suelos salinos y sódicos caen dentro de esta clase, así presenten propiedades químicas favorables que puedan determinar una alta puntuación, con la cual podrían ser calificados como de fertilidad alta o muy alta. En esta clase el bajo valor de la saturación de aluminio determina, en gran medida, un aumento notorio en el valor del puntaje final.

La mayoría de estos suelos que presentan fertilidad moderada requieren la aplicación planificada de fertilizantes con N, P, K y elementos menores para optimizar su productividad y obtener cosechas satisfactorias y económicamente rentables.



## 6. Génesis y discusión

Tal como se planteó desde un primer momento en la presente investigación, la secuencia edafo-geomorfológica y climática ha permitido ubicar en la parte alta del abanico, correspondiente al páramo y subpáramo, suelos derivados de ceniza volcánica y hacia la parte media y baja, correspondiente al apice, cuerpo y base del abanico, la presencia de suelos de mayor estado evolutivo como son Ultisoles y Alfisoles. Se identificarán claramente dos procesos específicos pedogenéticos, uno la Andolización y el otro la translocación o iluviación de arcilla.

Por lo tanto, al hablar de pedogénesis relacionada con las propiedades ándicas hay que referirse a los suelos derivados de ceniza volcánica, en este caso influenciados de volcanes ya extintos de la Cordillera Central, los cuales corresponden a los suelos JS1 y JS2, clasificados como Lithic Melanudands y Ultic Melanudands, respectivamente, y sus propiedades se adscriben principalmente a cantidades abundantes de materiales no cristalinos o de baja cristalinidad, denominados amorfos, entre los cuales se encuentran alófana, imogolita, complejos Al-humus, ferrihidrita y otros similares (Nanzzyo, 2002).

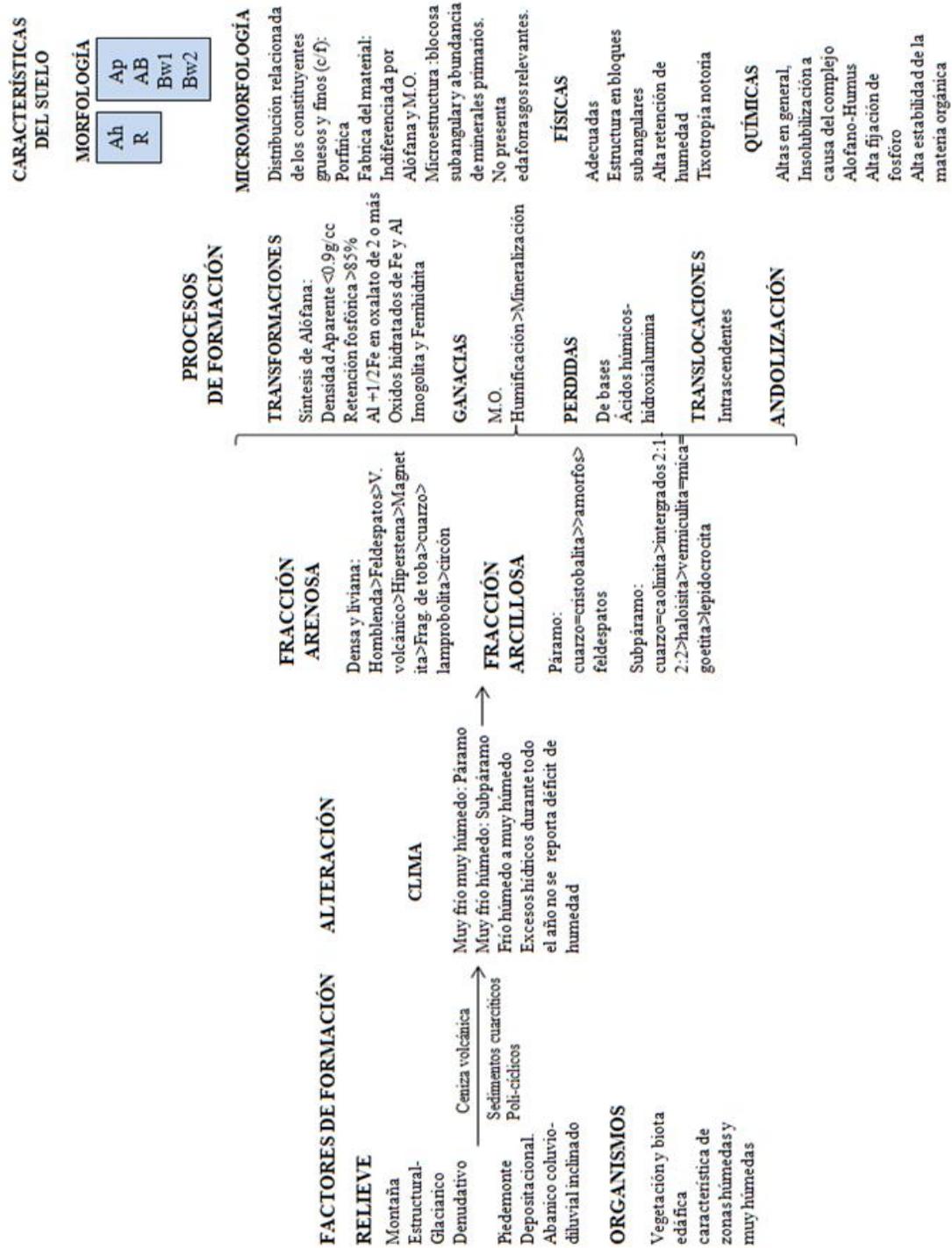
Estos suelos presentan también propiedades químicas y mineralógicas particulares; las primeras se deben básicamente a su composición elemental rica en aluminio, a una reactividad natural muy alta en su fracción coloidal y a su elevada área superficial, representada en el alto contenido de aluminio intercambiable, alta saturación de aluminio, alta CIC y alto aluminio activo. La composición elemental rica en aluminio es producto del lavado de silicio, sodio, calcio y otros cationes durante la formación del suelo. Presentan además rasgos morfológicos y propiedades químicas, físicas y mineralógicas que raramente se encuentran en otros suelos derivados de otros materiales (Nanzzyo, 2002); estas propiedades distintivas son propiciadas en gran parte por la formación de materiales amorfos y la acumulación de carbono orgánico, típico de suelos derivados de cenizas

volcánicas (Shoji et al. 2002).

La génesis de estos suelos está muy afectada por el clima, especialmente el régimen de lixiviación, y por el tiempo de exposición a la intemperie (Dahlgren et al., 2005). Varios estudios de suelos realizados a lo largo de secuencias climáticas (climosecuencias) han mejorado la comprensión del efecto climático en la formación de los materiales amorfos, lo cual conlleva en el tiempo a la aparición de las reconocidas “propiedades ándicas” de los suelos. En términos generales se ha encontrado que la presencia de materiales amorfos ocurre preferentemente en áreas con alta lixiviación (Zehetner & Miller, 2006). El clima es constantemente muy húmedo a húmedo y corresponde al páramo y subpáramo, requisitos óptimos para su desarrollo, presenta excesos hídricos durante todo el año y no se reporta déficit de humedad, el suelo es uniformemente oscuro o negro.

En la figura 6.1 se presenta el modelo evolutivo de los suelos JS1 y JS2, el cual sintetiza la génesis y las propiedades relevantes del proceso de andolización. En su formación y desarrollo los factores formadores material parental y clima, y los procesos de formación transformaciones y pérdidas tienen gran importancia, porque son los que regulan el proceso específico de andolización (Duchaufour, 1984; Besoain, 1985; Malagón *et al.*, 1991; Soil Survey Staff, 1999; Takahashi *et al.*, 2002; Nanzyo, 2002; Dahlgren et al., 2004); también señalan estos autores que las propiedades de los Andisoles están regidas en buena parte por los materiales inorgánicos amorfos y orgánicos y sus íntimas interacciones que se generan durante la pedogénesis.

**Figura 6.1** Modelo evolutivo de los andisoles de la parte alta del abanico diluvial de Fusagasugá



*Figura 6.1. Modelo Evolutivo de los Andisoles de la parte alta del abanico de Fusagasugá (Sánchez, J. 2015)*

Teniendo en cuenta lo anterior, este proceso específico difícilmente se produce en otros materiales parentales, aparte de los materiales piroclásticos (Besoain, 1985), ya que se requiere la existencia de materiales vítreos muy reactivos con elevada superficie específica, condición que se presenta solo en piroclásticos. Por lo tanto, la formación de los Andisoles está favorecida por la alteración del vidrio volcánico y de los minerales de rápida alteración, lo que permite la síntesis de los aluminosilicatos amorfos. En estos suelos, los minerales de la fracción liviana dominan en un 96%, lo cual es consecuente de acuerdo con Shoji et al (1993), en el sentido de que los minerales primarios de la fracción liviana predominan en estos materiales de suelos derivados de cenizas volcánicas, los feldespatos son de la serie plagioclasa, el hábito es en cristales prismáticos tabulares y gran parte de los granos están recubiertos con vidrio volcánico. El vidrio volcánico es del tipo ácido; se encuentra como unidades independientes y recubriendo granos de feldespatos, la abundancia sigue la secuencia: feldespatos plagioclasa >> vidrio volcánico >> cuarzo. En la fracción arcillosa predominan las arcillas de herencia litológica y de neoformación como caolinita; sin embargo, la composición mineralógica como tal depende en sí del grado evolutivo del Andisol: caolinita en estado maduro. Es también corriente en la arcilla encontrar haloisitas y metalohoisitas asociadas con: climas en etapa de sequedad y alta humedad; cristobalita y óxidos e hidróxidos de hierro y de aluminio cristalino o amorfo. Esta mineralogía de las arenas está relacionada con la composición original de los piroclastos (desde riolítica hasta basáltica) y en ella reviste especial importancia el vidrio volcánico, los minerales ferromagnesianos, los feldespatos y el cuarzo, los cuales varían en cantidades relativas de acuerdo con la naturaleza mineralógica del material volcánico (Sánchez, 2005; Pulido, 2006).

La micromorfología de los Andisoles deja ver fábricas de suelo porfíricas y con isotropía relevante (fábrica sin diferenciar) del material fino (plasma) en todo el perfil del suelo. Es notoria la estructura en gránulos y en bloques subangulares, los fragmentos de toba y la fábrica porfírica del material de suelo.

Entre las propiedades químicas se destaca, su alta capacidad de intercambio catiónico; alta retención de fósforo; contenidos de aluminio activos altos en oxalato ácido de amonio y relación  $Al + 1/2$  del Fe activo en oxalato de 2 o más; escaso contenido de bases. La acidez desde muy fuertemente a fuertemente ácido en los horizontes superficiales (pH: 4.3-5.3).

Altos contenidos de materia orgánica medida a partir del carbono orgánico, el cual se acumula en cantidad alta en el componente orgánico y es muy resistente a la descomposición microbial (mineralización). Se ha encontrado que el porcentaje de nitrógeno mineralizable en suelos de cenizas volcánicas es inferior a la mitad del que se encuentra en suelos no volcánicos con contenidos similares de materia orgánica (Shoji et al., 2002).

El fósforo disponible, es muy bajo ya que es fuertemente retenido por los materiales no cristalinos de aluminio y de hierro; de otra parte, el fósforo aplicado al suelo reacciona rápidamente con los citados materiales y termina formando componentes insolubles metal-fósforo, productos en los que desempeñan papel preponderante el aluminio y el hierro activos (Shoji et al., 2002).

El abastecimiento de potasio en los Andisoles es fuertemente gobernado por el contenido de potasio en la ceniza volcánica y en las arcillas del suelo. El contenido de K es bajo porque las arcillas alofánicas no presentan retención preferencial por el potasio, por lo que se lava y decrece a medida que avanza la meteorización (Shoji et al., 2002).

Con relación al proceso de iluviación de arcilla, correspondiente a los suelos JS3 Typic Paleudults, JS4 y JS5 Typic Paleudalfs, JS6 y JS6a Typic Haplustalfs, está referida a la translocación involucrando los fenómenos de eluviación – iluviación y es el proceso específico según el cual las arcillas migran mecánicamente a partir de los horizontes eluviales y se concentran en los iluviales; la arcilla inicia su movilización en estado disperso, vale decir bajo la forma de partículas aisladas, razón por la cual se ve afectado por procesos de floculación, agregación, presencia de agentes cementantes, al igual que por el tipo de arcillas y las condiciones del medio (pH, Na<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup>, Fe<sup>+2</sup>, M.O)(Faivre, 1973).

En medios poco ácidos y oxidados de los suelos JS4, JS5, JS6 y JS6a, los recubrimientos arcillosos se encuentran asociados con películas de arcilla y con la influencia de hierro, manifiesta en coloraciones pardo rojizas y grisáceas, características asociadas al hidromorfismo, las cuales varían al acentuarse y concentrarse en los horizontes, dando origen, en climas estacionales, a materiales plintíticos como es el caso del perfil JS5. En estas circunstancias los horizontes argílicos corresponden a procesos sucesivos bajo

condiciones paleoclimáticas.

Cuando el clima es húmedo a muy húmedo con excesos hídricos durante todo el año, son comunes los bajos contenidos de bases y por ende las bajas saturaciones en todo el perfil, en este caso para los Ultisoles, caso contrario cuando el clima es templado subhúmedo a templado seco, presentando altos contenidos de bases y alta saturación en los suelos del orden Alfisol, en ambos casos se presentan en su morfología actual cutanes de arcilla continuos en las paredes de los canales de las raíces y en las caras de los agregados en los horizontes Bt. En las formas agradacionales estables del abanico denominado cuerpo del abanico, que es actualmente una espesa capa de sedimentos, tal como era de esperarse que los suelos estudiados presenten incrementos de arcilla a profundidad indicando la presencia del horizonte argílico y es la caolinita el mineral arcilloso dominante en estos suelos, que en la sección delgada de los horizontes Bt se confirma con la presencia de edaforrasgos que son revestimientos, hiporrevestimientos y cuasirevestimientos en las paredes de los canales, planos y cavidades de arcilla iluvial y de hierro.

Los mecanismos asociados con la iluviación se favorecen mediante determinadas condiciones físicas y químicas; el clima, la presencia de horizontes franco arcillosos y arcillosos son ejemplos de aquellos que influyen sobre las físicas, mientras que el pH, las condiciones permanentes o estacionales del proceso de oxidación y reducción, la pérdida de carga en arcillas y la concentración de  $\text{Ca}^{++}$  en profundidad lo son de las químicas (Faivre, 1973; Elliott & Drohan, 2009). La lixiviación se ve afectada por la solubilidad de los compuestos, condiciones de desaturación y decarbonatación y, en algunos casos, por ciclos biogeoquímicos de algunos elementos como Si,  $\text{K}^+$ , N,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  a través de la vegetación, mientras que  $\text{Al}^{+3}$  y  $\text{Fe}^{+2}$  intervienen en menor grado (Malagón et al., 1996). Las partículas en suspensión se asocian en su dinámica de eluviación - iluviación al transporte mecánico, al que es promovido por la facilidad de dispersión de los coloides minerales y orgánicos, el pH, las concentraciones de  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Al}^{+3}$ , la presencia de carbonato de calcio, los compuestos orgánicos solubles y las condiciones climáticas. De esto se colige que las condiciones del medio son especialmente importantes, de tal manera que, por ejemplo, el carbonato de calcio activo limita la migración arcillosa; el inicio de la decarbonatación permite la movilidad de las arcillas finas y, a medida que esta continua (medios en la cercanía de la neutralidad), el  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Fe}^{++}$  promueven la formación de

agregados arcillo-húmicos, los cuales disminuyen la translocación de las arcillas gruesas

(Gunal & Ransom, 2006).

De acuerdo con Malagón et al (1996) en medios más ácidos y dependiendo del potencial de oxidación y del contenido en materiales orgánicos, la translocación arcillosa se verá disminuida (poca materia orgánica) o podrá incrementarse (al aumentar la materia orgánica), lo que está asociado a fenómenos de recubrimiento orgánico, lo cual favorece el mecanismo en mayor grado al producirse además la quelación del  $\text{Fe}^{+2}$  y del  $\text{Al}^{+3}$  (elementos floculantes).

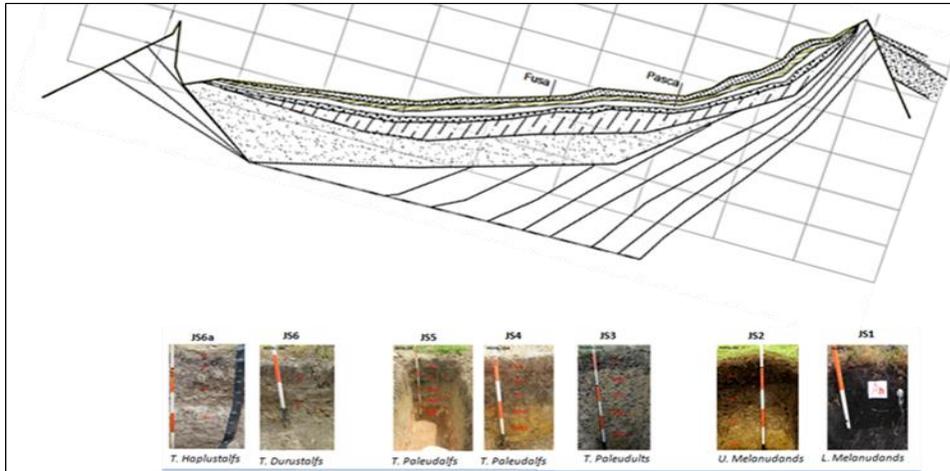
En un medio alcalino la acción del carbonato de sodio favorece la dispersión y translocación de las arcillas. Bajo ciertas circunstancias puede llegar a formarse el horizonte nátrico, el cual integra la iluviación de arcilla con porcentajes altos de  $\text{Na}^+$  intercambiable (horizonte Btn).

Por otra parte, la iluviación de arcilla está regida por condiciones químicas como la presencia de carbonatos, el clima edáfico, la estacionalidad y la presencia de raíces, ésta última influye sobre la profundidad a la cual se encuentra el horizonte enriquecido en arcillas, dado su efecto deshidratante en la zona de mayor concentración.

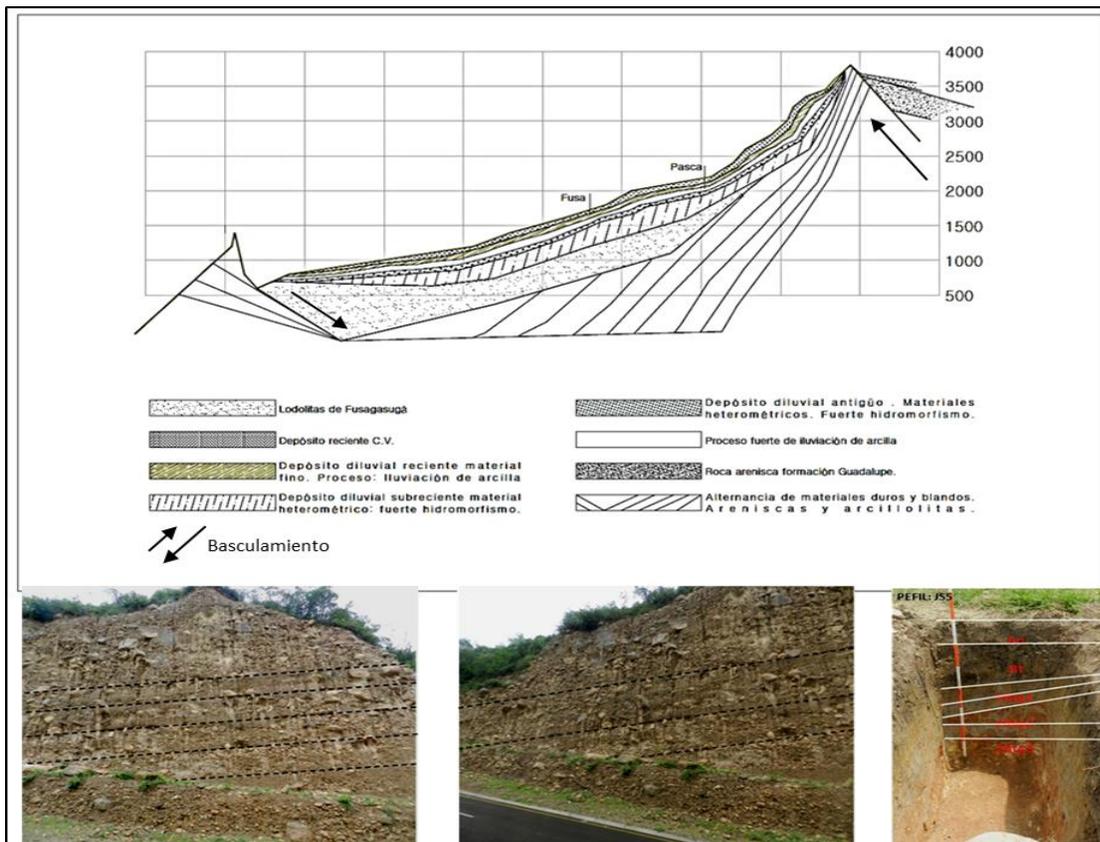
La génesis y evolución de los suelos está basada en los procesos de andolización, iluviación e hidromorfismo, definidos a partir del estudio morfológico de los suelos y apoyados por los análisis físicos, químicos, mineralógicos y micromorfológicos, permitiendo establecer las relaciones entre factores y procesos formadores de los suelos y así entender la realidad pedogenética en términos de relaciones suelo-paisaje. Por otra parte, la dinámica de este sistema está relacionada con el movimiento del agua en el suelo, dependiendo de la alternancia de las condiciones climáticas contrastantes de periodos de alta precipitación y de periodos secos. En la génesis de los suelos que no tienen carbonato de calcio, el clima y el material parental han sido los factores determinantes; el primero, por las condiciones de poca humedad y alta temperatura que generan un impacto leve en el proceso de alteración y transformación de las sustancias inorgánicas y el segundo, por la reducida cantidad de minerales de fácil alteración presentes en los materiales parentales.

Por otra parte la formación del abanico, teniendo en cuenta el significado mismo de “diluvial”, 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 fluvioglaciario, 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 (Figura 6.2). 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 y 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 (Figura 6.3).

**Figura 6.2** Sucesivos flujos de materiales sedimentarios rellenando y conformando una gran cubeta de sedimentación



**Figura 6.3** Modelo evolutivo de la formación del abanico por basculamiento tectónico



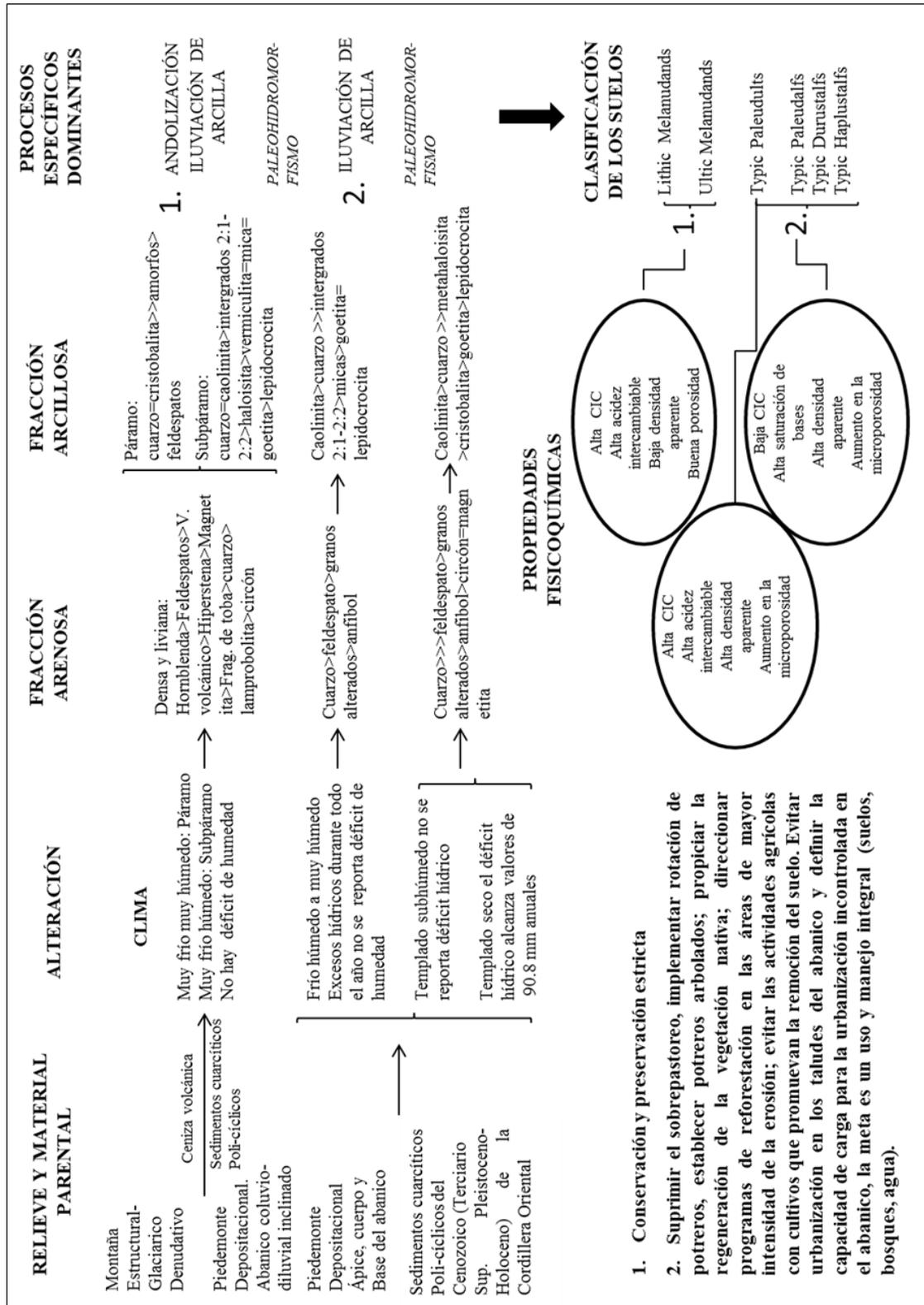
Las dataciones realizadas por Guillet, Faivre, Mariotti & khobzi (1988) muestran que estas formaciones comenzaron a depositarse en no menos de 20.000 años, lo cual es consistente con lo observado, señala Faivre (1988), en otras partes de la región en donde este tipo de material se ha acumulado entre 30.000 y 9.000 años AP, probablemente con acarreo masivo de materiales entre 30.000 y 26.000 años, con una sucesión de otras depositaciones posteriores que van hasta alrededor de 10.000 años AP, época en la cual los depósitos se han secado completamente (Faivre, 1988).

Las características redoximórficas están definidas como características asociadas con la humedad e hidromorfismo en el suelo que resultan de la reducción y oxidación del hierro (Fe) después de procesos de saturación y desaturación. 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, fue evidenciado por Villota (1980) y consignado tal como fue mencionado en la descripción de su perfil P18 y corroborado y reportado 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), lo que 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, 1985), lo que se evidencia es que este fue un proceso generalizado que abarco toda la región andina de nuestro país.

En la figura 6.4, se muestra el modelo evolutivo de los suelos actuales, teniendo en cuenta los conceptos y criterios establecidos en los capítulos anteriores mediante el estudio de este caso concreto, 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 6.4 Modelo evolutivo de los suelos del abanico diluvial de Fusagasugá



Por último y para una mayor claridad se lista el decálogo de la genesis de los suelos del abanico de Fusagasugá, siguiendo la secuencia paso por paso del desarrollo de la investigación para llegar a la consideración final sobre la evolución de los suelos:

1. Lo primero a tener en cuenta es el cómo se formó el abanico. Khobzi & Usselman (1973) y Villota (1980) indican que los materiales fueron transportados y sedimentados producto de la actividad glaciaria desde el páramo. Brunnschweiler (1981) considera la posibilidad de que hubo un descenso hasta unos 3.200m de la línea de nieves perpetuas en el páramo de Sumapaz durante la era glacial del Riss/Illinoian, por lo que las geoformas de las cabeceras del río Cuja pueden corresponder a un gran mega circo glaciárico. De acuerdo con Faivre (1988) fueron los materiales gruesos que se desplazaron catastróficamente como un torrente de hielo y detritos (flujo diluvial). Pero De Porta (1965) anotaba que se debió a la adaptación tectónica, formado por un conjunto de bloques fallados y basculados hacia el oriente y con el borde occidental hundido, coincidiendo con Jungerius (1976) que al estudiar las mismas unidades sostuvo que era evidente la remoción por tectonismo y subsecuente depositación de la masa de escombros de Pasca y Fusagasugá.

Aquí hay dos planteamientos, uno que el abanico fue producto del transporte de los materiales por el deshielo y su consecuente sedimentación y dos que el abanico fue consecuencia de la adaptación tectónica; sin embargo, sea cual fuere su origen, se les considera por sus características sedimentológicas como un fenómeno con una dinámica de tipo torrencial es decir diluvial (Khobzi & Usselman, 1973).

2. Por otra parte y con relación a los materiales depositados, Khobzi & Usselman (1973), Van der Hammen & Van Geel (1974), Jungerius (1976) y Villota (1980), sugieren que fueron producto de sucesivos flujos de materiales sobre los cuales se depositaron capas más delgadas de aluviones y ceniza volcánica y una fuente menor debe atribuirse a los antiguos depósitos fluvio-glaciales del páramo, sugieren también que todas las unidades deben provenir de una misma fuente de materiales.
3. Geomorfológicamente dominan las formas de agradación correspondientes a extensos depósitos diluviales situados a diferente altitud y a todo lo largo del río Cuja-Sumapaz,

rellenando los sinclinales de Pasca y Fusagasugá, los cuales se presentan interconectados entre si a través de aperturas producidas por el fuerte fallamiento sobre los monoclinales de arenisca del Cretáceo. Los materiales corresponden a una mezcla de detritos mal seleccionados que incluyen grandes bloques y cantos de arenisca angulosa y subredondeada, gravas y suelo formando un talud con un desnivel de 420 metros en la base del abanico.

4. Morfológicamente los suelos presentan cutanes de arcilla en los horizontes Bt; la presencia de películas y recubrimientos de arcilla en los poros y en las paredes de los canales de las raíces y de los pedos es la evidencia del proceso de iluviación de arcilla, en estos suelos la mayoría de los horizontes tienen cromas de 2 y menores constatando condiciones de hidromorfismo, lo cual debe corresponder a regímenes acuicos, pero que por las características topográficas actuales no lo favorecerían.
5. La textura muestra que todos los suelos estudiados presentan incremento en el contenido de arcilla. Pero el alto valor de la arcilla con sólo pequeñas cantidades de limo fino, limo medio y arena muy fina, indica que estos materiales se depositaron en condiciones ambientales diferentes a las actuales, probablemente condiciones muy marcadas de periodos secos y periodos de alta pluviosidad o en condiciones de alta saturación de humedad relacionadas con cuerpos de aguas tranquilas o se dieron las dos situaciones simultáneamente. Estos resultados se relacionan con la “actividad” de la fracción arcilla en términos de la superficie disponible para retener el agua a una presión de 1500 kiloPascales, también conocida como el índice de meteorización de Comerma (valores menores de 0,3 los suelos son muy evolucionados y muy degradados, valores entre 0,3 y 0,4 son moderadamente evolucionados y menos degradados), lo que refleja condiciones edafoclimáticas diferentes a las actuales.
6. En cuanto a la mineralogía de las arenas, el cuarzo domina la fracción y se constituye en el principal mineral de la fracción arenosa de los suelos, se presenta en forma subredondeada y subangular y algunos granos angulares están presentes, corroborando transporte y retransporte y la fuente única de los materiales. Estos suelos tiene un contenido relativamente alto de partículas de color rojo a rojizo de óxidos de hierro. Los fragmentos líticos se distribuyen de manera uniforme en el solum con un

leve aumento a profundidad y de origen sedimentario.

7. La caolinita es el mineral arcilloso dominante en la mayoría de los suelos estudiados y el segundo mineral de importancia en cuanto a su abundancia en la fracción arcillosa es el cuarzo, ratificando la fuente única de los materiales y su herencia pedogenética.
8. Resultados del “Aluminio activo” muestran que los contenidos más altos tanto del aluminio extraído con oxalato como el aluminio extraído con pirofosfato se presentan en los suelos JS1 y JS2 principalmente en los primeros horizontes, con una mayor contribución para el aluminio en oxalato de constituyentes de alófana y del aluminio activo unido a la materia orgánica contribución del aluminio extraíble con pirofosfato asociado a contenidos altos de carbón orgánico.
9. Dominan en los suelos las formas asociadas a óxidos de hierro, 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. 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  $\text{Fe}^{+3}$  o también conocidos como oxihidroxidos en forma de pequeños granos de mineral o revestimientos amorfos sobre otros minerales. 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  $\text{Fe}^{+3}$ . 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 edafambientales actuales.
10. Micromorfológicamente los modelos de los rasgos redoximórficos corresponden al estágnico predominantemente en horizontes más superiores y gléyico en horizontes inferiores, confirmando el encharcamiento desde los horizontes inferiores por una capa

freática a escala regional. Revestimientos de caolinita como moteados, debido a puntuaciones orgánicas de tamaño limo, coexisten con revestimientos microlaminados en algunos casos en el mismo horizonte, dos generaciones/orígenes de revestimientos. A partir de capas orgánicas lacustres y a partir de arcilla iluviada desde horizontes superiores, señalando el posible origen pantanoso. Gravetas lateríticas y fragmentos de areniscas ferruginizadas, por desmantelamiento del material originario durante el movimiento de masa y fábricas de birrefringencia estriadas en horizontes caoliníticos, pueden corresponder a revestimientos muy antiguos y a depósitos lacustres/pantanosos más arcillosos afectados por edafoturbación. Se ratifica que en principio fue una gran cubeta o cuenca de sedimentación, afectada por condiciones de alta saturación de posible origen pantanoso con materiales de características de flujo diluvial que posteriormente y debido al basculamiento tectónico que afectó la región durante las manifestaciones orogénicas del Pleistoceno configuraron el relieve actual.



# 7. Conclusiones y recomendaciones

## 7.1 Conclusiones

1. Los principales factores que han influido en la intensidad de los procesos de andolización, iluviación de arcilla y condiciones redoximórficas son: (1) el tiempo para la formación del suelo (con horizonte argílico en los maduros), (2) el rejuvenecimiento (los suelos JS2 por la ceniza volcánica y el suelo JS3 formado en condiciones diferentes a las actuales) y más importante (3) la condición de drenaje.
2. Condiciones paleoambientales contrastan con las condiciones actuales de buen drenaje en los suelos, debido a la inclinación de la pendiente. El abanico se formó en el Pleistoceno y hace 10.000 años AP se consolidó totalmente.
3. Procesos dominantes la iluviación y la oxidación-reducción evidenciado por la presencia de edaforrasgos redox (condiciones redoximórficas), debe haber sido en alternancia con la iluviación de arcilla, proceso fuertemente favorecido por las estaciones secas y húmedas bien marcadas.
4. 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, evidenciando que este fue un proceso generalizado que abarcó toda la región andina de nuestro país.
5. 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, el cual 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.

6. Existe relación entre los datos del contenido de arcilla, arena muy fina, limo fino y limo medio, el índice de Comerma y el índice de “desgaste” de Martini, las coincidencias de estos resultados se dan en el sentido de una sedimentación en aguas tranquilas y con grado evolutivo de los suelos entre moderado a muy evolucionados en el índice de Comerma y el índice de desgaste de Martini que a menor índice mayor desgaste de los suelos. Lo que permite evidenciar que los suelos se formaron en ambientes pedológicos distintos.
7. La mineralogía de las arenas está relacionada con la composición original de los piroclastos y en ella reviste especial importancia el vidrio volcánico; los minerales ferromagnesianos, los feldespatos y el cuarzo se presentan variando en cantidades relativas de acuerdo con la naturaleza mineralógica del material volcánico en los suelos localizados en la ladera estructural del relieve Montañoso Estructural-Glaciárico-Denudativo y en el abanico coluvio-diluvial muy inclinado. El cuarzo domina la fracción arenosa en los suelos que se localizan en el abanico diluvial, en el cuerpo y la base del mismo, el cual se presenta en forma subredondeada y subangular.
8. La caolinita es el mineral arcilloso dominante en la mayoría de los suelos estudiados, excepto en el perfil JS1. De acuerdo con lo anterior, para la formación de caolinita, se requiere unas condiciones climáticas donde la precipitación exceda la evaporación y un material basal que tenga minerales susceptibles a la acción hidrolítica, como lo son los feldespatos que en este caso están presentes en la fracción arenosa. Es imprescindible también un adecuado drenaje del medio para que almacene y percole eficientemente el agua de la precipitación para que se generen las reacciones químicas y se produzca la pérdida de elementos solubles y relativamente solubles y por último

es necesario un tiempo suficiente para la cristalización final de la caolinita. Bajo esta circunstancia, el componente mineral de las arcillas, se ha formado bajo ambientes edafológicos muy diferentes a las del suelo actual que evolucionó a partir de estos materiales, lo que dificulta, muchas veces, explicar la síntesis de las arcillas porque no se encuentra correspondencia entre los minerales arcillosos presentes en el suelo con el ambiente pedoquímico actual del mismo.

9. La presencia de haloisita (haloisita hidratada  $4H_2O$ ) y metahaloisita (haloisita deshidratada  $2H_2O$ ) indican que evidentemente existe relación con minerales “no cristalinos” como la alófana o aluminosilicatos “no cristalinos” similares a la alófana y la imogolita y también como un producto de alteración hidrotermal, indican además procesos evolutivos diferentes, unos asociados a la influencia de la ceniza volcánica y otros asociados a suelos ferralíticos con grados variables de saturación, de periodos de oxidación y reducción en los suelos. Así mismo la presencia de goethita y lepidocrocita en la fracción arcillosa y de hematita en la fracción arenosa constatan aún más la influencia de condiciones edafoambientales diferentes.
10. En el mismo sentido de lo anotado anteriormente, la presencia de cristobalita en los suelos ratifica la influencia que tuvo la ceniza volcánica en la formación y evolución de los suelos, dado que este mineral es común en suelos derivados de cenizas volcánicas.
11. El estudio micromorfológico aporta pruebas concluyentes acerca de los modelos de rasgos redoximórficos principalmente estágnico predominantemente en horizontes más superiores y gléyico en horizontes inferiores (excepto en perfil JS5 con horizonte arcilloso en la base, que puede ser responsable de una capa freática colgada), confirman el encharcamiento desde los horizontes inferiores por una capa freática a escala regional, lo cual ha sido evidenciado por los rasgos micromorfológicos que expresan condiciones redoximórficas en los suelos.
12. 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.

13. Gravas lateríticas y fragmentos de areniscas ferruginizadas, por desmantelamiento del material originario durante el movimiento en masa y fábricas de birrefringencia estriadas en horizontes caoliníticos, pueden corresponder a revestimientos muy antiguos.
14. Los suelos que presentan fertilidad baja se encuentran distribuidos en los sectores muy húmedos y húmedos de los pisos climáticos muy frío a frío y se localizan en la ladera estructural del relieve Montañoso Estructural-Glaciárico-Denudativo, en el abanico coluvio-diluvial muy inclinado y en el ápice del abanico diluvial inclinado. Los suelos en la clase de fertilidad moderada, se localizan en el abanico diluvial, en el cuerpo y la base del mismo, en pendiente plana del 1%, bajo la acción de climas relativamente subhúmedos y secos.

## 7.2 Recomendaciones

1. Es importante dar continuidad a estos estudios con el fin de avanzar en el conocimiento del Pleistoceno, por lo que la datación y la identificación de especies mineralógicas indicadoras de condiciones ambientales extremas, ayudará a la comprensión de los cambios climáticos y las adaptaciones a éstos cambios.
2. En términos del estudio de la micromorfología de suelos, ésta aporta al conocimiento de la génesis teniendo en cuenta no sólo el proceso de iluviación de arcilla sino también de las condiciones redoximórficas y de otros procesos pedogenéticos asociados a la producción agrícola como son la porosidad, microestructura y en este caso a las condiciones paleoclimáticas. Por lo tanto, cualquier planificación del uso de los suelos debe ir acompañada de un estudio mineralógico y micromorfológico, toda vez que en Colombia son numerosos los ejemplos de abanicos diluviales; destacando, entre otros, los macroabanicos de Armenia-Pereira, Valle del Cauca e Ibagué, de esta manera se podrá determinar qué tipos de suelos se deben “*preservar*” independientemente de su fertilidad actual y potencial.
3. A medida que se mejore la resolución de los levantamientos de suelos en nuestro país,

mejorará cada vez más el conocimiento de los suelos poligenéticos o policíclicos, lo cual redundará en buscar una estricta estrategia para el uso sostenible.

4. Se requiere una estrategia enfocada al fortalecimiento de los laboratorios de suelos en el país dada la necesidad de abordar investigaciones desde la óptica pedológica con el fin de comprender el origen, evolución, formación y distribución de los suelos y explicar la evolución tanto de los minerales de los materiales expuestos en la superficie, como la de los suelos resultantes actualmente, ya que la mineralogía tiene efectos importantes en la estabilidad estructural, la escorrentía, el agua disponible, la retención de nutrientes, el almacenamiento de carbono, el mantenimiento de la estructura del suelo, la infiltración, la pérdida de suelo y la susceptibilidad a la degradación.
5. Se recomienda generar una mayor conciencia científica de las múltiples posibilidades que brinda este tipo de estudios y así romper con esquemas tradicionales donde el mayor énfasis se da a la física y la química de los suelos; hoy en día un proceso de planificación de tierras y porque no de ordenamiento territorial debe conllevar un estudio mineralógico y micromorfológico, para dar mayor contundencia técnica a las propuestas de su uso y manejo desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental.

# Anexos

## ANEXO 1

### Descripción de perfiles

#### Perfil No: JS1



Taxonomía: LITHIC MELANUDANDS (USDA), ANDOSOL, LEPTICO, DISTRICO (Protoandico, Melánico (WRB-FAO)

Unidad Geomorfológica: Montaña Anticlinal Escarpada

Símbolo unidad cartográfica: MA

Localización geográfica. Departamento: Cundinamarca Municipio: Usme Sitio: Sector los Tunjos, laguna de Chisaca

Coordenadas geográficas: Latitud 4° 17' 00" N Longitud 74° 13'23" W

Altitud: 3940 msnm.

Gran Paisaje Fisiográfico: Relieve Montañoso Estructural-Glaciario Denudativo. Paisaje

Fisiográfico: Montaña Anticlinal Escarpada. Subpaisaje: Ladera Estructural

Material Parental: Areniscas duras de grano medio cubiertas de mantos de Cenizas volcánicas

Pendiente: Inclinado 7 a 12%.

Clima ambiental: Muy Frío muy húmedo.

Precipitación promedio anual: 1440 a 1320 mm. Temperatura media multianual entre 11°C a 12°C

Clima edáfico: Régimen de temperatura: Isomésico. Régimen de humedad: Údico. Temperatura edáfica: 8°C y temperatura ambiente 10°C

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar, ligera.

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró.

Inundaciones: No hay.

Profundidad efectiva: Superficial. Limitante: La roca arenisca dura y coherente

Horizontes diagnósticos: Melánico

Otras características diagnósticas: Propiedades ándicas y baja saturación de bases.

Vegetación: Gramíneas naturales y Frailejón (*Espeletia sp*)

Uso actual: Parque Nacional Natural Sumapaz

Limitantes del uso: Zona de protección y conservación

Descrito por: Jorge Alberto Sánchez y Estudiantes de Suelos del programa de Administración Ambiental y de los Recursos Naturales de la Universidad Santo Tomas de Bogotá.

Fecha: 1 de Octubre de 2011

### **Descripción**

A

00 – 28 cm

Color en húmedo negro (10YR2/1); textura franco limosa; estructura en bloques subangulares, moderados, medios y finos con subestructura granular fina; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; abundantes poros medianos y finos; frecuentes raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; con reacción fuerte al fluoruro de sodio; pH 4.5; reacción muy fuertemente ácida. En relación con la profundidad del horizonte este puede variar entre 28, 36 y 41 cm de espesor por lo que para su clasificación se tomó un valor promedio.

R

28 – 100X

Roca arenisca dura y continua

**Perfil No: JS2**

Taxonomía: ULTIC MELANUDANDS (USDA), ANDOSOL UMBRICO, DISTRICO (Protoandico, Melánico) (WRB-FAO)

Unidad Geomorfológica: Abanico coluvio-diluvial muy inclinado

Símbolo unidad cartográfica: AC

Localización geográfica. Departamento: Cundinamarca Municipio: Pasca Sitio: Vereda Juan Viejo

Coordenadas geográficas: Latitud 4° 14' 43" N Longitud 74° 16' 36" W

Altitud: 3280 msnm.

Gran Paisaje Fisiográfico: Piedemonte depositacional. Paisaje Fisiográfico: Abanico coluvio-diluvial inclinado. Subpaisaje: Ladera parte media

Material Parental: Cenizas volcánicas

Pendiente: fuertemente inclinado 12 a 25%.

Clima ambiental: Muy Frío húmedo.

Precipitación promedio anual: Precipitación promedio anual: Entre 950 a 900 mm.

Temperatura media multianual entre 11°C a 12°C

Clima edáfico: Régimen de temperatura: Isomésico. Régimen de humedad: Údico.

Temperatura edáfica: 8°C y temperatura ambiente 11°C

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar, ligera a moderada.

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró.

Inundaciones: No hay.

Profundidad efectiva: Profundo. Limitante: Sin limitaciones

Horizontes diagnósticos: Melánico/Argílico

Otras características diagnósticas: Propiedades ándicas y baja saturación de bases.

Vegetación: Pasto kikuyo, pasto poa, pino y mortiño

Uso actual: Cultivos de papa y pastos

Limitantes del uso: La pendiente, erosión y acidez del suelo

Descrito por: Juan Carlos Loaiza y Jorge Alberto Sánchez.

Fecha: 20 de Mayo de 2012

### **Descripción**

Ap

00 – 30 cm

Color en húmedo negro (10YR2/1); textura franco limo-arcilloso; estructura en bloques subangulares moderada a fuerte, gruesas, medianas y finas; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; abundantes poros medianos y finos; frecuentes raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; límite gradual y plano, con reacción fuerte al fluoruro de sodio; pH 4.8; reacción muy fuertemente ácida.

AB

30 – 49 cm

Color en húmedo café grisáceo muy oscuro (10YR3/2); textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares moderada, gruesas y medianas con subestructura granular fina; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa y plástica; abundantes poros medianos y finos; frecuentes raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; límite gradual y ondulado, con reacción fuerte al fluoruro de sodio; pH 4.7; reacción muy fuertemente ácida.

2Btg1

49 – 70 cm

Color en húmedo amarillo pardusco (10YR6/8) dominante en un 80% y gris pardusco (10YR6/2) en un 20%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares fuertes, gruesos y medianos; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica; regulares poros medianos y finos; regulares raíces finas, vivas, de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; límite gradual y ondulado, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 4.8; reacción muy fuertemente ácida

2Btg2

70 – 120 cm

Color en húmedo gris (10YR6/1) dominante en un 60% y amarillo pardusco (10YR6/8) en un 40%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados a fuertes, medianos y finos; consistencia en húmedo muy firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos medianos y finos; pocas raíces finas y medianas; poca actividad de macroorganismos; sin reacción al fluoruro de sodio; pH 4.7; reacción muy fuertemente ácida.

OBSERVACIONES: Presencia de crotovinas frecuentes en los dos primeros horizontes

### Perfil No: JS3



Taxonomía: TYPIC PALEUDULTS (USDA), ALISOLS NUDIARGICO HÁPLICO (Cutánico, Profundico) (WRB-FAO)

Unidad Geomorfológica: Piedemonte diluvial

Símbolo unidad cartográfica: AD1

Localización geográfica. Departamento: Cundinamarca Municipio: Pasca Sitio: Vereda Alto del Molino

Coordenadas geográficas: Latitud 4° 19' 40" N Longitud 74° 20' 39" W

Altitud: 2140 msnm.

Gran Paisaje Fisiográfico: Piedemonte. Paisaje Fisiográfico: Abanico diluvial. Subpaisaje: Apice parte media

Material Parental: Arcillas no consolidadas

Pendiente: inclinado 12%.

Clima ambiental: Frío húmedo en transición al templado.

Precipitación promedio anual: Entre 1100 a 1840 mm. Temperatura media anual entre 14°C a 18°C

Clima edáfico: Régimen de temperatura: Isomésico. Régimen de humedad: Údico.

Temperatura edáfica: 17°C y temperatura ambiente 17°C

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar, ligera a moderada.

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró.

Inundaciones: No hay.

Profundidad efectiva: Moderadamente profundo. Limitante: Presencia de horizontes compactados argílicos que impiden el desarrollo a profundidad de las raíces

Horizontes diagnósticos: Umbrico/Argílico

Vegetación: Pasto kikuyo y cultivos

Uso actual: Cultivos como cebolla, tomate de árbol, habichuela, arveja, cilantro, maíz, mora, granadilla y pastos

Limitantes del uso: La pendiente, erosión y acidez del suelo

Descrito por: Cristina Díaz García y Jorge Alberto Sánchez.

Fecha: 20 de Mayo de 2012

### **Descripción**

Ap

00 – 23 cm

Color en húmedo café oscuro (10YR3/3); textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares moderados a fuertes, gruesos, medianos y finos; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; abundantes poros medianos y finos; frecuentes raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; límite claro y plano, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 5.0; reacción muy fuertemente ácida.

2Btg1

23 – 54 cm

Color en húmedo café grisáceo (10YR5/2) en un 60% y moteados café amarillento (10YR5/8) en un 40%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados a fuertes, gruesos, medianos y finos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo muy firme, en mojado pegajosa y plástica; regulares poros medianos y finos; regulares raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; límite difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 4.0; reacción

extremadamente ácida.

#### 2Btg2

54 – 70 cm

Color en húmedo café grisáceo (10YR5/2) en un 60% y moteados café amarillento (10YR5/8) en un 40%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados a fuertes, gruesos, medianos y finos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo muy firme, en mojado pegajosa y plástica; regulares poros medianos y finos; regulares raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; límite difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 4.0; reacción extremadamente ácida.

#### 2Btg3

70 – 92 cm

Color en húmedo café amarillento (7,5YR5/8) en un 60% y moteados de color gris (7,5YR5/1) en un 40%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados a fuertes, gruesos, medianos y finos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo muy firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros medianos y finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; no hay actividad de macroorganismos; límite difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 4.0; reacción extremadamente ácida.

#### 2Btg 4

92 – 120x cm

Color en húmedo café amarillento (7,5YR5/8) en un 60% y moteados de color gris (7,5YR5/1) en un 40%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados a fuertes, gruesos, medianos y finos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo muy firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros medianos y finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; no hay actividad de macroorganismos; límite difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 4.0; reacción extremadamente ácida.

**Perfil No: JS4**

Taxonomía: TYPIC PALEUDALFS (USDA), LIXISOLS NUDIARGICO HÁPLICO (Cutánico, Profundico) (WRB-FAO)

Unidad Geomorfológica: Piedemonte diluvial

Símbolo unidad cartográfica: AD2

Localización geográfica. Departamento: Cundinamarca Municipio: Fusagasugá Sitio: Vereda Novilleros Finca: Antigua huevos sol

Coordenadas geográficas: Latitud 4° 20' 50" N Longitud 74° 23' 17,7" W

Altitud: 1660 msnm.

Gran Paisaje Fisiográfico: Piedemonte. Paisaje Fisiográfico: Abanico diluvial. Subpaisaje: Cuerpo parte alta

Material Parental: Coluviones heterométricos de cantos subredondeados de areniscas y lutitas

Pendiente: plana 1%.

Clima ambiental: Templado húmedo.

Precipitación promedio anual: 1348 mm. Temperatura media anual 18,9°C

Clima edáfico: Régimen de temperatura: Isomésico. Régimen de humedad: Údico.

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar, ligera.

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró.

Inundaciones: No hay.

Profundidad efectiva: Moderadamente profundo. Limitante: Presencia de horizontes compactados argílicos

Horizontes diagnósticos: Umbrico/Argílico

Vegetación: Pastos de corte y cultivos

Uso actual: Cultivos de tomate y pastos de corte

Limitantes del uso: El horizonte argílico

Descrito por: Melisa Lis Gutierrez, Juan Carlos Loaiza y Jorge A. Sánchez

Fecha: 27 de Marzo de 2013

### **Descripción**

Ap

00 – 25 cm

Color en húmedo pardo oscuro (10YR3/1); textura franca; estructura en bloques subangulares moderados, medianos y finos; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica; regulares poros medianos y finos intraped; abundantes raíces medianas y grandes, vivas, de distribución normal; regular actividad de macroorganismos; límite claro y plano, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 6.4.

AB

25 - 45 cm

Color en húmedo café (10YR3/1); textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares

moderados y finos; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica; regulares poros medianos y finos intraped; abundantes raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; abundante actividad de macroorganismos (lombrices); límite difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 6.6. Presenta moteados rojizos (5YR4/6) frecuentes /15%). Entre la parte superficial del Hz A y A hay presencia de fragmentos de roca de 2 y

3 cm de diámetro, de colores oscuro y amarillo rojizo

### 2Btg1

45 - 59 cm

Color en húmedo gris (5YR3/1) en un 5%, pardo amarillento (7,5YR4/6) en un 15% y pardo oscuro (10YR3/1) en un 80%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados, medianos y finos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo muy firme, en mojado pegajosa y plástica; regulares poros medianos y finos; regulares raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; límite brusco difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 6.5.

Presencia de moteados frecuentes, medianos y definidos de colores gris (5YR3/1) en un 10% y negro en un 15%.

### 2Btg2

59 – 88 cm

Color en húmedo gris (5YR6/2) en un 10%, pardo oscuro (10YR3/1) en un 20% y amarillo rojizo (10YR5/8) en un 70%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados y finos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo muy firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros medianos y finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; no hay actividad de macroorganismos; límite difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 6.2. Hay materia orgánica relleno de grietas y canales de raíces. Presencia de bloques de roca subangulares de 30 cm de diámetro (15%) y de 5 cm de diámetro (1%)

### 2Btg3

88 – 110x cm

Color en húmedo amarillo rojizo (7,5YR6/8) dominante en un 90% y moteados de color negro (10YR2/1) en un 10%; textura arcillosa; sin estructura masiva; consistencia en húmedo muy firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros medianos y finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; no hay actividad de

macroorganismos; límite difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 5.7. Es posible paleosuelo o suelo fósil el cuál fue enterrado por nuevos aportes.

**Observaciones:** Presencia de bloques de roca al interior del perfil desde la superficie de hasta 1 m (15%) de diámetro subangulares. Las muestras de micromorfología corresponden a las siguientes profundidades: Hz Ap (13 – 21 cm); Hz A (24 – 36 cm); Hz ABg (42 – 56 cm) y Hz Btg1 (59- 79 cm).

### Perfil No: JS5



Taxonomía: TYPIC PALEUDALFS (USDA), LIXISOLS NUDIARGICO HÁPLICO (Cutánico, Profundico) (WRB-FAO)

Unidad Geomorfológica: Piedemonte diluvial

Símbolo unidad cartográfica: AD2

Localización geográfica. Departamento: Cundinamarca Municipio: Fusagasuga Sitio: Vereda Novilleros

Coordenadas geográficas: Latitud 4° 21' 22.1" N Longitud 74° 24' 06,5" W

Altitud: 1600 msnm.

Gran Paisaje Fisiográfico: Piedemonte. Paisaje Fisiográfico: Abanico diluvial. Subpaisaje:

Cuerpo parte baja

Material Parental: Coluviones heterométricos de cantos subredondeados de areniscas y lutitas

Pendiente: plana 1%.

Clima ambiental: Templado húmedo.

Precipitación promedio anual: 1348 mm. Temperatura media anual 18,9°C

Clima edáfico: Régimen de temperatura: Isomésico. Régimen de humedad: Údico.

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar, ligera.

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró.

Inundaciones: No hay.

Profundidad efectiva: Moderadamente profundo. Limitante: Presencia de horizontes compactados argílicos

Horizontes diagnósticos: Umbrico/Argílico

Vegetación: Pastos de corte y cultivos

Uso actual: pastos y pastos de corte

Limitantes del uso: El horizonte argílico

Descrito por: Melisa Lis Gutierrez, Cristina Díaz Garcia, Diego Camilo Peña, Juan Carlos Loaiza y Jorge A. Sánchez

Fecha: 27 de Marzo de 2013

### **Descripción**

Presencia de grietas de hasta 4 mm. Migración de materia orgánica entre las grietas hasta 70 cm de profundidad. En algunos sectores se observan bandeados que se intercalan a partir de los 66 cm hasta 120 cm o mezclados de colores gris (5YR6/1); rojizo (2,5YR4/8)

y amarillo (7,5YR5/8).

Presencia de bloques de roca subredondeados de 36 cm de diámetro.

Ap

00 – 18 cm

Color en húmedo pardo (10YR5/3); textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares moderados, medianos y finos; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; regulares a pocos poros medianos y finos; regulares raíces medianas y finas, vivas, de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; límite claro, plano y brusco con presencia de fragmentos laminares de roca de 3cm de largo en un 8% y pequeños en un 7%, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 6.5. Es necesario confirmar si hay discontinuidad litológica entre este horizonte y el siguiente.

2Btg1

18 – 56 cm

Color en húmedo pardo amarillento (10YR5/6) en un 60%, negro (10YR2/1) en un 30% y gris (5Y6/1) en un 10% ; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados, medios y gruesos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo extremadamente firme, en mojado pegajosa y plástica; regulares poros medianos y finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; límite ondulado y gradual, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 6.0. Presencia de fragmentos de 1 cm de diámetro, angulares en un 1% y fragmentos subangulares en bloques de 2 cm de diámetro en un 1%.

2Btg2

56 – 79 cm

Color en húmedo pardo amarillento (10YR5/8) en un 70% y pardo grisáceo (10YR5/2) en un 30%; textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares moderados, medianos y gruesos; consistencia en húmedo muy firme, en mojado pegajosa y plástica; pocos poros medianos y finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; límite plano y difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH

### 5.5. Tendencia a estructura laminar fina.

2Btv

79 – 103 cm

Color en húmedo rojo amarillento (5YR5/6) dominante en un 80% y gris (5YR5/1) en un 20%; textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares moderados y finos; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica; pocos poros medianos y finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; no hay actividad de macroorganismos; límite plano y difuso, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 5.5. Presencia de bloques de roca de 6 cm de diámetro en un 5%. Presencia de fragmentos meteorizados de hasta 40 cm de diámetro, de forma irregular con coloración 2,5YR4/8. Coloración en las grietas gris (5Y6/1) de hasta 6 cm de profundidad, gris-amarillo de hasta 5 cm de profundidad, rojizo de hasta 6 cm de profundidad, rojizo-amarillo de 7 cm de profundidad.

2Btg

103 – 117x cm

Color en húmedo gris (5YR6/1) dominante en un 90% y moteados de color rojo amarillento (5YR5/6) en un 10%; textura franco arcillosa; estructura en bloques angulares moderados y finos; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica; pocos poros finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de distribución normal; no hay actividad de macroorganismos; límite difuso y plano, sin reacción al fluoruro de sodio; pH 5.5. Presencia de bloques de roca de 5 cm de diámetro en un 7%. Presencia de fragmentos meteorizados de hasta 40 cm de diámetro, de forma irregular con coloración 2,5YR4/8. Coloración en las grietas gris (5Y6/1) de hasta 4 cm de profundidad, gris-amarillo de hasta 4 cm de profundidad, rojizo de hasta 7 cm de profundidad, rojizo-amarillo de 8 cm de profundidad.

2Cv

117 – 120x cm

Color en húmedo rojo amarillento (5YR5/6) dominante en un 90% y gris (5YR6/1) en un 10%; textura arcillosa; sin estructura masivas; consistencia en húmedo firme, en mojado muy pegajosa y muy plástica; pocos poros finos; pocas raíces finas y medianas, vivas, de

distribución normal; no hay actividad de macroorganismos; pH 5.5.

**Observaciones:** Las muestras de micromorfología corresponden a las siguientes profundidades: Hz Ap (10 – 22 cm); Hz 2Btg1 (31 – 43 cm); Hz 2Bwg1 (43 – 56 cm).

### Perfil No: JS6



Taxonomía: TYPIC HAPLUSTALFS (USDA), LIXISOLS NUDIARGICO HÁPLICO (Cutánico, Hiperéutrico) (WRB-FAO)

Unidad Geomorfológica: Piedemonte diluvial

Símbolo unidad cartográfica: AD5

Localización geográfica. Departamento: Cundinamarca Municipio: Fusagasuga Sitio: Peaje de Chinauta

Coordenadas geográficas: Latitud 4° 16' 18,4" N Longitud 74° 30' 6,7" W

Altitud: 1100 msnm.

Gran Paisaje Fisiográfico: Piedemonte. Paisaje Fisiográfico: Abanico diluvial. Subpaisaje: Base parte inferior.

Material Parental: Materiales heterométricos de cantos subredondeados de areniscas

Pendiente: plano 1%.

Clima ambiental: Cálido seco.

Precipitación promedio anual: 1086 mm. Temperatura media anual 23°C

Clima edáfico: Régimen de temperatura: Isohipertérmico. Régimen de humedad: Ústico.

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar, ligera.

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró.

Inundaciones: No hay.

Profundidad efectiva: Muy superficial. Limitante: Presencia de horizontes compactados argílicos que impiden el desarrollo a profundidad de las raíces

Horizontes diagnósticos: Ocríco/Argílico

Vegetación: Pastos y cultivos

Uso actual: Cultivos como tomate

Limitantes del uso: Presencia de horizontes compactados, de materiales heterométricos y la condición climática seca del suelo

Descrito por: Jorge Alberto Sánchez.

Fecha: 10 de Noviembre de 2012

## **Descripción**

Ap

00 – 18 cm

Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); textura franco arcillosa; estructura

---

en bloques subangulares muy finos, débilmente desarrollados; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; regulares poros finos y medianos localizados intraped; pocas raíces finas, vivas, de distribución normal; poca

actividad de macroorganismos; límite claro y plano; pH 7.2; no hay reacción al HCl.

Bt

18 – 60 cm

Color en húmedo gris oscuro (5YR4/1) en un 60% y pardo oscuro (7.5YR3/2) en un 40%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados a fuertes, gruesos, medianos y finos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo extremadamente firme, en mojado pegajosa y plástica; pocos poros finos, irregulares y discontinuos intraped; muy pocas raíces finas; no hay actividad de macroorganismos; límite difuso; pH 7.7; reacción ligera a moderada al HCl.

### Perfil No: JS6a



Taxonomía: TYPIC HAPLUSTALFS (USDA), LIXISOLS NUDIARGICO HÁPLICO (Cutánico, Hiperéutrico) (WRB-FAO)

Unidad Geomorfológica: Piedemonte diluvial

Símbolo unidad cartográfica: AD5

Localización geográfica. Departamento: Cundinamarca Municipio: Fusagasuga Sitio:

Peaje de Chinauta

Coordenadas geográficas: Latitud 4° 16' 19,2" N Longitud 74° 30' 0,4" W

Altitud: 1100 msnm.

Gran Paisaje Fisiográfico: Piedemonte. Paisaje Fisiográfico: Abanico diluvial.

Subpaisaje: Base parte inferior

Material Parental: Materiales heterométricos de cantos subredondeados de areniscas

Pendiente: plano 1%.

Clima ambiental: Cálido seco.

Precipitación promedio anual: 1086mm. Temperatura media anual 23°C

Clima edáfico: Régimen de temperatura: Isohipertérmico. Régimen de humedad: Ústico.

Tipo y grado de erosión: Hídrica laminar, ligera.

Drenaje natural: Bien drenado.

Nivel freático: No se encontró.

Inundaciones: No hay.

Profundidad efectiva: Muy superficial. Limitante: Presencia de horizontes compactados argílicos que impiden el desarrollo a profundidad de las raíces

Horizontes diagnósticos: Ocríco/Argílico

Vegetación: Pastos y cultivos

Uso actual: Cultivos como tomate

Limitantes del uso: Presencia de horizontes compactados, de materiales heterométricos y la condición climática seca del suelo

Descrito por: Melisa Lis Gutierrez, Cristina Diaz Garcia, Diego Camilo Peña, Juan Carlos Loaiza y Jorge A. Sánchez

Fecha: 27 de Marzo de 2013

**Descripción**

Ap

00 – 26 cm

Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares muy finos y medianos, débilmente desarrollados; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; poros finos y medianos localizados intraped; pocas raíces finas, vivas, de distribución normal; frecuente actividad de macroorganismos; límite neto y plano; pH 6. No hay reacción al HCl, 0,92 MO. No hay reacción al NaF.

AB

26 – 33 cm

Color en húmedo gris oscuro (5YR5/8) en un 60% y pardo oscuro (10YR3/2) y (10YR2/1) en un 40%; textura arcillosa; estructura en bloques angulares moderados a fuertes, gruesos, medianos y finos; presencia de cutanes de arcilla; consistencia en húmedo extremadamente firme, en mojado pegajosa y plástica; pocos poros finos, irregulares y discontinuos intraped; muy pocas raíces finas; no hay actividad de macroorganismos; límite gradual ondulado; pH 6.5; no hay reacción al HCl. No hay reacción al NaF.

Presencia de nódulos de manganeso redondeados de 2 – 5cm de diámetro frecuentes. Presencia de fragmentos subangulares de 2 cm de diámetro frecuentes al interior de la matriz del suelo. Se observa reubicación de óxidos de hierro, recubrimientos órgano-argílicos intraped en los canales de raíces, canales de raíces rellenos de materia orgánica de color 10YR5/6.

Bt1

33 – 49 cm

Color húmedo 10YR3/2 en un 40% y 10YR8/1 en un 60%; textura arcillosa; estructura en bloques subangulares medianos y finos, fuertemente desarrollados, consistencia en húmedo firme, plástica y pegajosa. Presencia de fragmentos de cuarzo, presencia de rocas de 2 mm de diámetro redondeadas y pocas. Presencia de carbonatos de color 10YR8/1

abundantes y alargados, irregulares. Presencia de cutanes moderados, espesos y discontinuos. Presencia de nódulos de manganeso redondeados de hasta 2 mm de diámetro. La matriz del suelo está mezclada con materiales oscuros. Limite neto y plano, alta reacción al HCL, alta reacción a NaF. pH: 7.

#### Bt2

49 – 59 cm

Color húmedo 10YR3/2 en un 30% y 2.5Y7/4 en un 70%; textura franco arcillo arenosa; estructura en bloques angulares, fuertemente desarrollados, medianos y finos, consistencia en húmedo firme, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa. Limite neto y plano. Presencia de nódulos de manganeso redondeados, abundantes de hasta 3 mm de diámetro. Presencia de recubrimientos blancos y espesos zonales por enriquecimiento con cuarzo y acumulación de carbonatos. Alta reacción al HCL moderada reacción a NaF. pH: 8.

#### Bt3

59 – 82 cm

Color húmedo 10YR3/2 en un 20% y 2.5Y7/4 en un 80%, textura arcillosa; estructura en bloques angulares, medianos y finos, consistencia en húmedo muy firme, plástica y pegajosa Limite brusco y plano, Presencia de fragmentos de roca de 2 cm de diámetro. Poca presencia de nódulos de manganeso redondeados de 1 ó 2 mm de diámetro. Presencia de recubrimientos blancos y espesos zonales por enriquecimiento con cuarzo muy fino. No hay reacción al HCL. No hay reacción al NaF, pH: 8.

#### Bt4

82 – 100 x

Color húmedo 10YR5/6 en un 70% y 10YR7.5/8 en un 30%, textura arcillosa; estructura en bloques angulares de medianos a finos, consistencia en húmedo muy firme, plástica y

pegajosa. no hay reacción al HCL. No hay reacción al NaF, pH: 8.

**Observaciones:** Es necesario realizar pruebas de arena gruesa y arena fina para identificar la presencia del Horizonte AB.

Presencia de boques de roca al interior del perfil de 1m de diámetro.

Las muestras de micromorfología corresponden a las siguientes profundidades: Hz Ap (00 – 25 cm); Hz AB (25 – 33 cm); Hz Bt2 (44 – 53 cm); Hz Bt3 (54 – 61cm)

## ANEXO 2

## TEXTURA RESULTADOS

## Distribución granulométrica por el método de pipeta

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	Perfil	Prof. Cm	Nomenclatura	Grava %	DISTRIBUCIÓN DE PARTICULAS								ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASE TEXTURAL
					MILIMETROS mm											
					2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	0,1 - 0,05	0,05 - 0,02	0,02 - 0,002	<0,002				
ABANICO COLUVIAL INCLINADO AC	JS - 2	0 - 30	Ap	0,0	0,07	0,4	0,37	0,56	3,2	19,8	33,3	42,4	4,6	53,0	42,4	ArL
	JS - 2	30 - 49	AB	0,0	0,06	0,10	0,24	3,0	7,9	10,2	31,0	47,4	11,4	41,3	47,4	ArL
	JS - 2	49 - 70	2Btg1	1,51	0,03	0,02	0,10	4,0	9,2	11,8	27,1	47,8	13,3	38,9	47,8	Ar
	JS - 2	70 - 120	2Btg2	0,0	0,0	0,01	0,20	3,3	7,3	9,9	28,4	51,0	10,8	38,2	51,0	Ar
ABANICO DILUVIAL DISECTADO - APICE AD1	JS - 3	0 - 23	Ap	0,25	0,22	0,43	0,67	4,18	9,3	7,0	32,9	45,4	14,8	39,8	45,4	Ar
	JS - 3	23 - 54	2Btg1	0,06	0,12	0,28	0,20	0,71	5,4	4,7	13,3	75,3	6,7	18,0	75,3	Ar
	JS - 3	54 - 70	2Btg2	0,36	0,12	0,10	0,18	1,31	5,4	5,2	15,7	72,0	7,1	20,9	72,0	Ar
	JS - 3	70 - 92	2Btg3	1,99	1,02	0,80	0,96	4,24	4,6	3,8	14,0	70,6	11,6	17,8	70,6	Ar
	JS - 3	92 - 120	2Btg4	0,20	0,36	0,26	0,15	0,35	2,5	2,6	21,1	72,7	3,6	23,7	72,7	Ar
ABANICO DILUVIAL NIVEL SUPERIOR CUERPO AD2	JS - 4	0 - 15	Ap	0,0	0,19	0,68	4,4	18,1	24,4	16,6	12,6	23,0	47,8	29,2	23,0	F
	JS - 4	25 - 45	AB	0,0	0,13	0,30	2,2	12,3	20,4	13,6	10,7	40,4	35,3	24,3	40,4	Ar
	JS - 4	45 - 59	2Btg1	0,0	0,22	0,28	2,2	12,3	19,8	12,0	10,2	43,2	34,7	22,1	43,1	Ar
	JS - 4	59 - 88	2Btg2	0,0	0,06	0,23	2,1	12,1	21,4	12,8	11,1	40,2	35,9	23,9	40,2	Ar
	JS - 4	88 - 110	2Btg3	0,0	0,46	0,43	2,3	10,7	21,1	11,8	11,5	41,6	35,1	23,4	41,6	Ar
	JS - 5	0 - 18	Ap	0,0	0,19	0,47	5,9	21,7	21,0	16,6	12,0	22,2	49,2	28,6	22,2	F
	JS - 5	18 - 56	2Btg1	0,0	0,21	0,30	2,7	8,5	10,2	8,2	9,0	60,9	22,0	17,2	60,9	Ar
	JS - 5	56 - 79	2Btg2	0,0	0,10	0,24	2,0	6,2	7,5	4,3	6,8	72,9	16,0	11,1	72,9	Ar
	JS - 5	79 - 103	2Btv	0,0	0,10	0,24	1,8	5,6	6,3	4,7	7,2	74,0	14,1	11,9	74,0	Ar
	JS - 5	103 - 117	2Btg	0,0	0,07	0,10	0,70	3,0	3,5	0,7	3,5	88,5	7,3	4,2	88,5	Ar
ABANICO DILUVIAL NIVEL INFERIOR BASE AD5	JS - 6	0 - 18	Ap	0,0	0,41	0,63	3,0	15,6	25,9	24,1	22,6	7,8	45,5	46,7	7,8	F
	JS - 6	18 - 60	Bt	0,0	1,3	1,2	2,5	12,3	18,2	17,0	18,7	28,9	35,4	35,7	28,9	F Ar
	JS - 6a	0 - 26	Ap	0,0	0,51	1,0	3,9	21,1	28,3	21,6	16,1	7,4	54,8	37,7	7,4	FA
	JS - 6a	26 - 33	AB	0,0	0,92	1,7	2,9	11,9	17,5	14,4	11,7	37,1	36,9	26,1	37,1	F Ar
	JS - 6a	33 - 49	Bt1	14,2	0,89	1,4	4,9	16,3	15,7	18,9	22,1	19,8	39,2	41,0	19,8	F
	JS - 6a	49 - 59	Bt2	23,3	1,9	1,5	2,9	11,2	14,4	11,4	24,0	32,8	31,8	35,4	32,8	F Ar
	JS - 6a	59 - 82	Bt3	13,9	2,3	3,0	5,8	18,3	15,9	18,0	21,6	15,0	45,4	39,6	15,0	F
	JS - 6a	82 - 100X	Bt4	0,0	0,30	0,75	1,5	5,2	6,4	5,3	4,1	76,5	14,2	9,3	76,5	Ar

## Textura por el método de Bouyoucos

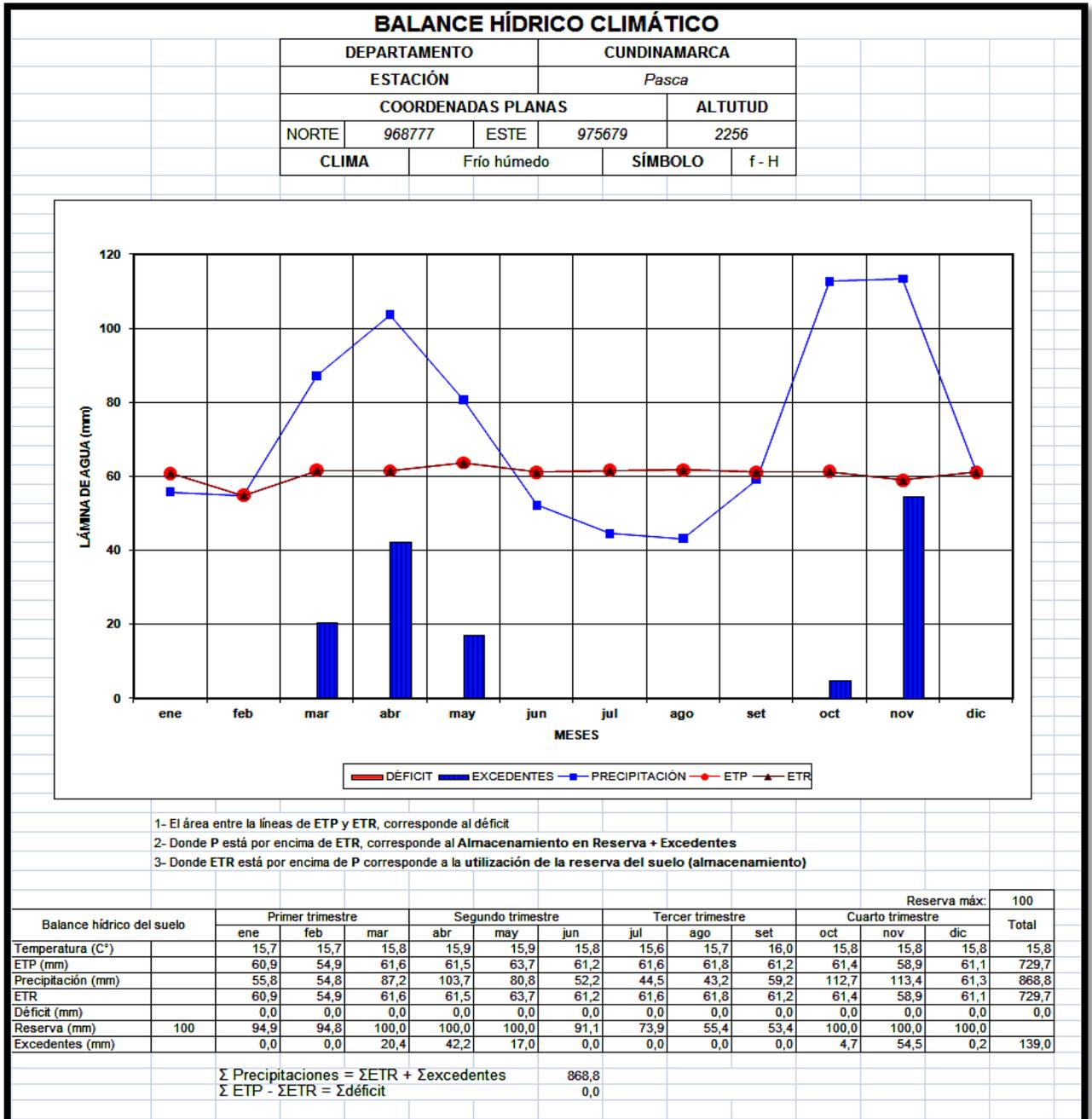
UNIDAD GEOMORFO LÓGICA	No. PERFIL	Prof. Cm	GRANULOMETRIA			CLASE TEXTURAL	NOMENCLATURA
			ARENA%	LIMO%	ARCILLA%		
VALLE GLACIARICO EN U VG	JS - 1	00 - 28	NO DISPERSÓ				Ah
ABANICO COLUVIAL INCLINADO AC	JS - 2	00 - 30	33,6	28,1	38,3	FAr*	Ap
		30 - 49	40,8	27,4	31,8	FAr*	AB
		49 - 70	27,3	29,2	43,5	Ar	2Btg1
		70 - 120	21,5	27,2	51,3	Ar	2Btg2
ABANICO DILUVIAL DISECTADO - APICE AD1	JS - 3	00 - 23	20,4	42,1	37,5	FAr	Ap
		23 - 54	12,3	19,7	68,0	Ar	2Btg1
		54 - 70	13,2	19,5	67,3	Ar	2Btg2
		70 - 92	16,7	15,3	68,0	Ar	2Btg3
		92 - 120	13,4	25,8	68,8	Ar	2Btg4
ABANICO DILUVIAL NIVEL SUPERIOR CUERPO AD2	JS - 4	0 - 25	33,8	32,0	34,2	FAr	Ap
		25 - 45	31,5	26,6	41,9	Ar	AB
		45 - 59	29,7	26,5	43,8	Ar	2Btg1
		59 - 88	29,8	25,9	44,3	Ar	2Btg2
		88 - 110	27,8	25,9	46,3	Ar	2Btg3
	JS - 5	0 - 18	43,9	32,0	24,1	F	Ap
		18 - 56	19,1	17,7	63,2	Ar	2Btg1
		56 - 79	13,0	13,6	73,4	Ar	2Btg2
		79 - 103	10,7	13,7	75,6	Ar	2Btv
		103 - 117	4,3	9,6	86,1	Ar	2Btg
ABANICO DILUVIAL NIVEL INFERIOR BASE AD5	JS - 6	0 - 18	43,5	44,6	11,9	F	Ap
		18 - 60	33,3	32,2	34,5	Ar	Bt
	JS - 6a	0 - 26	65,9	20,2	13,9	FAr	Ap
		26 - 33	44,8	20,0	35,2	FAr	AB
		33 - 49	28,0	20,1	51,9	Ar	Bt1
		49 - 59	25,1	20,1	54,8	Ar	Bt2
		59 - 82	32,4	22,3	45,3	Ar	Bt3
		82 - 100X	10,4	9,8	79,8	Ar	Bt4

\*La muestra no dispersó adecuadamente el porcentaje de arcilla puede ser mayor

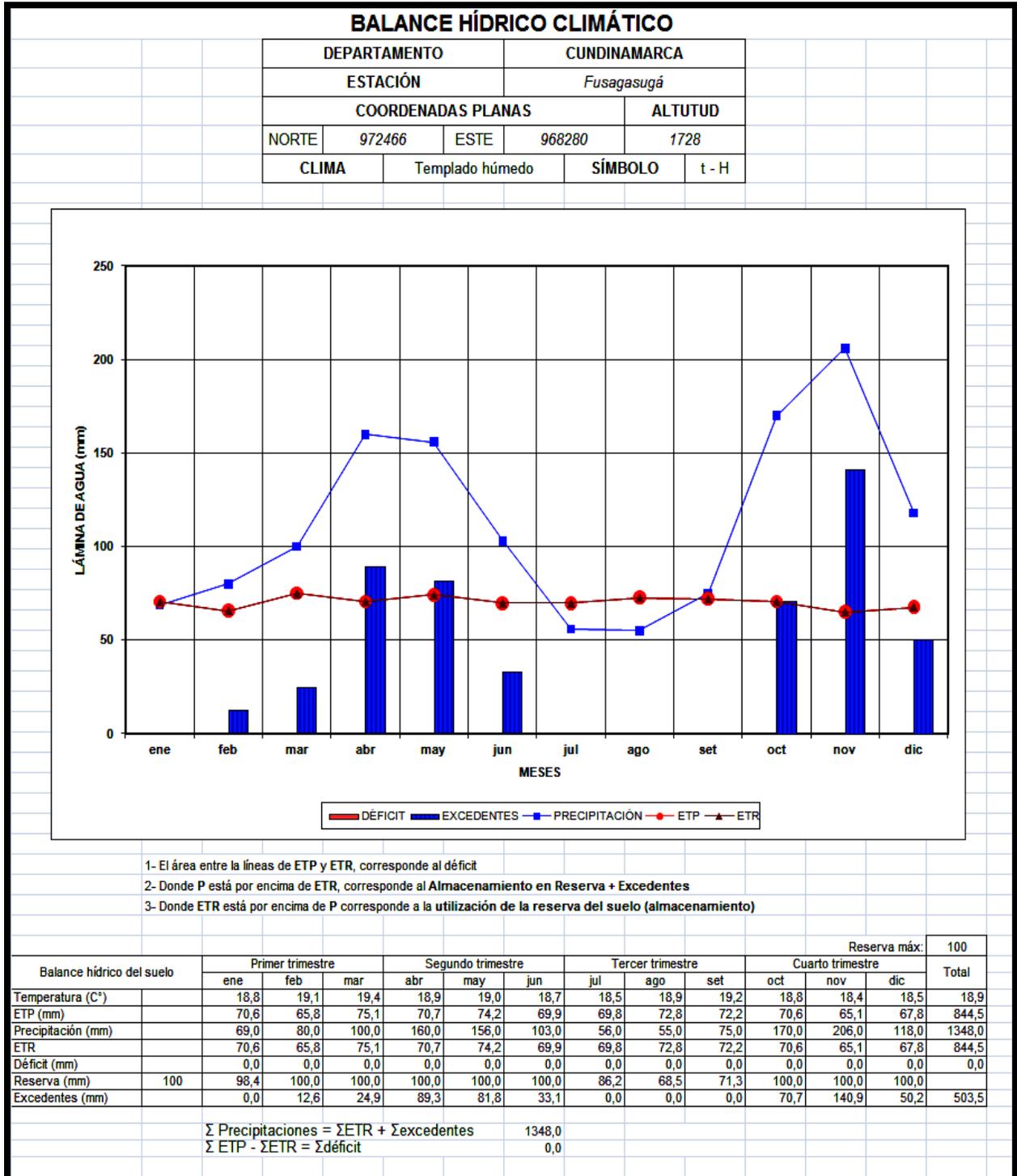
ANEXO 3

ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

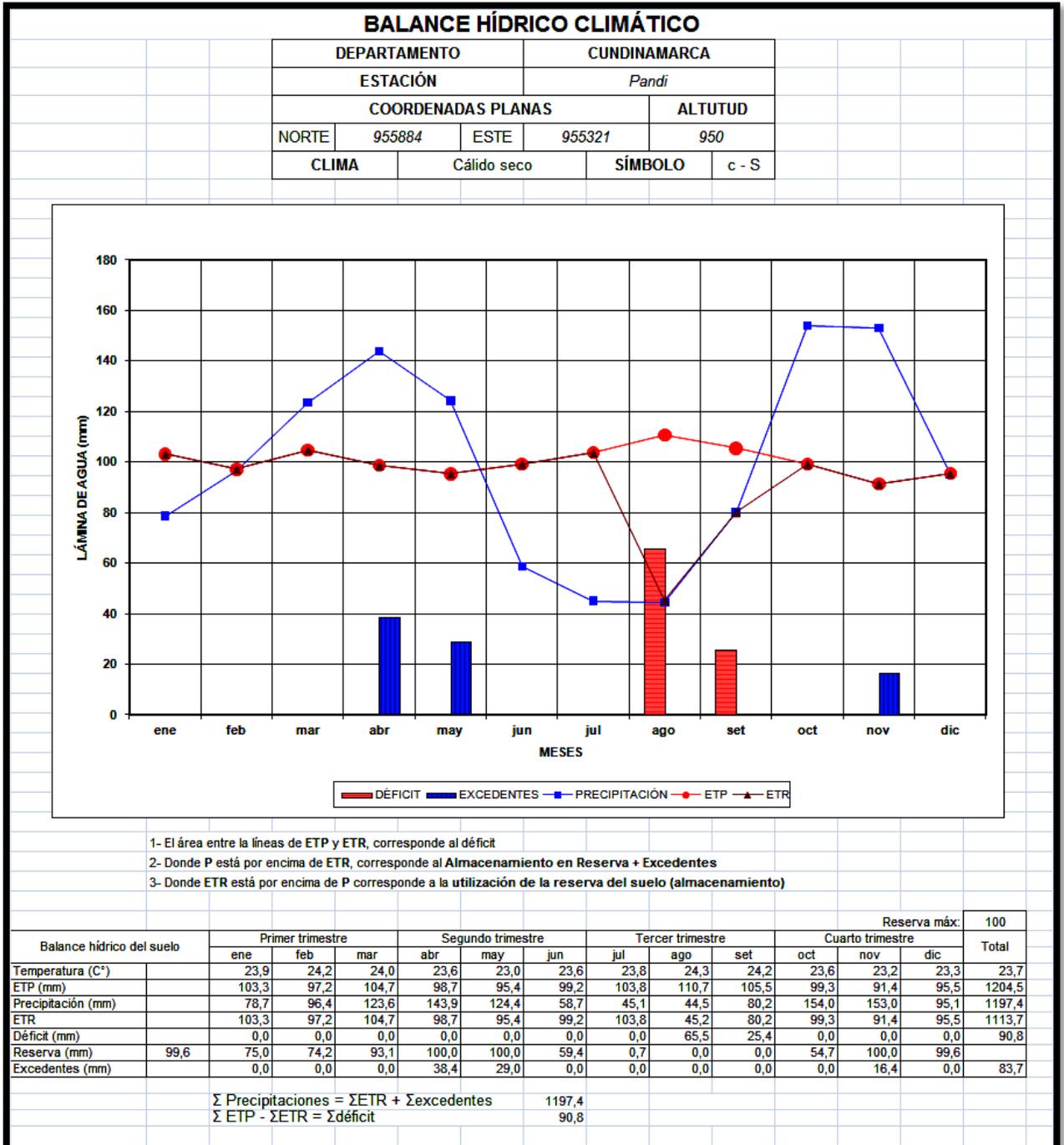
*Balance hídrico climático de Estación meteorológica Pasca (IGAC, 2009)*



**Balance hídrico climático de Estación meteorológica Fusagasugá (IGAC, 2009)**



**Balance hídrico climático de Estación meteorológica Pandí (IGAC, 2009)**



## ANEXO 4

### GLOSARIO DE TÉRMINOS

**ABANICO:** Superficie de configuración semi-radial formada por acumulación de materiales explayados al pie de una vertiente, la pendiente es suave y paralela al eje del abanico.

**ABANICO DILUVIAL:** Forma originada por acumulación caótica, sin ningún sorteamiento de flujos de barro y lahars.

**ACOMODACIÓN DE LOS AGREGADOS (PEDS):** Se refiere el grado en que las caras adyacentes de los agregados se moldean unas con otras. Prismas, láminas y bloques angulares presentan normalmente alto grado de acomodación. Los bloques subangulares presentan al menos acomodación parcial, mientras que los gránulos y grumos se presentan no acomodados.

**ALOFANA:** Material arcilloso formado en la naturaleza por coprecipitación de Si y Al, a partir de soluciones que contengan al primero en forma monomérica o como anión silicatado concentrado y, Al bajo formas hidroxílicas. Se caracteriza en ATD por la presencia de una endoterma entre 100 – 150 ° C y una exoterma a 900 – 950 ° C, sin reacciones intermedias. Existen los de tipo B a AB los cuales predominan sobre las A.

**AMORFO:** Estado de los cuerpos sólidos cuyas moléculas, átomos o iones no manifiestan disposición regular alguna.

**ANÁLISIS DE ARCILLA POR RAYOS X: (Técnica)** Método que consiste en la descarga de un haz de Rayos X sobre una película fina de suspensión arcillosa orientada, depositada en un portaplastas de vidrio, o sobre una pequeña cantidad de polvo arcilloso empaquetado al azar en un portamuestras. Al chocar contra las partículas, el haz es difractado y la energía resultante aprovechada para producir un registro gráfico (difractograma) que permite la identificación de los minerales presentes en la muestra.

**ANÁLISIS OPTICO DE ARENAS:** Examen visual bajo microscopio, de los granos de arena de una muestra de suelo, durante el cual se describen los rasgos y características ópticas de los

cristales y granos minerales individuales, montados en un líquido de inmersión (usualmente salicilato de metilo). Para el análisis se utiliza un microscopio petrográfico o polarizante, con sistema de iluminación para estudio con luz transmitida.

**ANDOLIZACIÓN:** Proceso por el cual los materiales piroclásticos del suelo se transforman en productos especialmente alofánicos, que establecen uniones estables con los compuestos húmicos, produciendo una melanización superficial, mediante la acumulación de compuestos órgano-minerales.

**ARENISCA:** Roca sedimentaria compuesta por fragmentos de minerales ó de rocas de 0.1 a 2 mm de diámetro, visibles a simple vista ó con una lupa.

**ARGÍLICO:** Endopedón. Horizonte iluvial que contiene acumulaciones de arcillas silicatadas iluviales en láminas orientadas; sus requerimientos están basados en el incremento de arcilla, la relación arcilla fina a arcilla total, el grosor y la estructura de suelo.

**B (Horizonte):** Horizonte formado debajo de un A, E, u O, dominado por la destrucción total o parcial de la estructura de la roca original y por 1) concentración iluvial de arcilla silicatada, hierro, aluminio, humus, carbonato, yeso y sílice, solos o combinados, 2) evidencias de remoción de carbonatos, 3) concentración residual de sesquióxidos, 4) recubrimientos de sesquióxidos, 5) alteración que forma arcillas silicatadas o libera óxidos o ambas cosas y que forma estructura de suelo, 6) cualquier combinación de los anteriores.

**BASCULAMIENTO:** Inclinación debida a la disposición general de las estructuras sedimentarias, como producto del tectonismo o debido a la adaptación tectónica.

**BASES TOTALES (BT):** Es la sumatoria de los miliequivalentes por 100 gramos de suelo de los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio desplazados por acetato de amonio 1 normal a pH: 7 en la fracción de tierra fina menor de 2 mm.

**C (Horizonte):** Horizonte o capa, excluyendo la capa endurecida, que está poco afectada por procesos pedogenéticos y carece de las propiedades de los horizontes O, A, E, B.

**CANALES:** Son poros significativamente más grandes que aquellos que pueden resultar

del empaquetamiento normal de granos simples, y tienen generalmente forma cilíndrica. Los canales presentan comúnmente paredes suavizadas, conformación regular y una sección transversal relativamente uniforme en tamaño y forma, donde sobresale la longitud. Pueden ocurrir en forma transpedal o intrapedal.

**CÁMARAS:** Las cámaras son poros grandes similares a las cavidades o a las vesículas, pero difieren de las primeras en que sus paredes son regulares y suaves (metaporos) y de ambas porque están interconectadas a través de canales y usualmente tiene una forma característica que las identifica. Las cámaras pueden subdividirse de acuerdo a su forma característica, más que al radio de sus ejes principales; subesféricas y arqueadas son los tipos que han sido observadas en mayor proporción.

**CAOLINITA:** Mineralogía de arcilla de composición química  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , especie mineralógica tipo silicato compuesta por láminas de tetraedro unidas a láminas de octaedros a través de átomos de oxígeno, también conocida como de relación 1:1.

**CAPACIDAD DE INTERCABIO CATIONICO (CIC):** Medida de las cargas negativas de un suelo a un pH determinado; se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de suelo o en centimoles por kilogramos (fracción menor de 2 mm de diámetro). Usualmente se determina con acetato de amonio 1 M a pH: 7.

**CARACTERISTICAS MINERALOGICAS:** Propiedades referidas a los constituyentes sólidos del suelo. Se analizan las fracciones arcilla y arena, importantes en la fertilidad actual y potencial de los suelos.

**CAVIDADES (VUGHS):** Son poros o espacios relativamente grandes, diferentes de los poros de empaquetamiento, que se presentan como entidades discretas no interconectadas con otros espacios; usualmente se encuentran no orientados y presentan un patrón de distribución al azar. En forma general, pueden clasificarse como ortovughs o metavughs, de acuerdo con la suavidad y configuración de sus paredes.

**CATENA:** Secuencia de suelos de igual edad, originados de material parental similar, y desarrollados bajo similares condiciones climáticas, pero con características diferentes,

debido a variación en el relieve y en el drenaje.

CENIZA VOLCANICA: Material piroclástico con diámetros menores de 4 mm.

COMPONENTES ORGÁNICOS: La materia orgánica ocurre en una variedad amplia de formas en la sección delgada de suelo. La descripción y clasificación están basadas únicamente en la morfología de las partículas.

CONCRECIONES: La mayoría se ha formado por acreción.

CRISTALÍTICA – CRYSTALLITIC b-fabric (Cristica): Plasma en general anisótropo formado por cristales procedentes de cristalización de componentes relativamente solubles: no se observan separaciones plásmicas. Se explican con base en las leyes generales de nucleación y crecimiento cristalino.

CRISTOBALITA: Mineral común en suelos derivados de cenizas volcánicas, se estima que la cristobalita es un mineral resistente componente de piroclastitas, sin embargo no es común en cenizas volcánicas inalteradas.

CUTANES (REVESTIMIENTOS): Se definen como una modificación de textura, estructura o fábrica sobre las superficies naturales de los materiales del suelo debido a la concentración de constituyentes particulares del mismo, o a una modificación in situ del plasma. Con base en el proceso formador se presentan los cutanes por iluviación (revestimientos o películas): arcilla, hierro, carbonatos, yeso, materia orgánica.

DENSIDAD APARENTE: Relación entre la masa del suelo y la unidad de volumen aparente del mismo; por lo tanto se incluye el espacio poroso.

DENSIDAD REAL: Es la relación entre la masa total de los sólidos y el volumen total de las partículas, del suelo, sin tener en cuenta la porosidad.

DENUACION: Erosión realizada por cualquier tipo de movimiento de masas tendente siempre a hacer desaparecer las diferencias de nivel.

**DEPOSITACIÓN:** Acción y efecto de que el hielo, el viento, las aguas corrientes, marinas o lacustres dejen en un lugar el material que llevan en suspensión.

**DEPÓSITOS ALOGÉNICOS:** Son depósitos exógenos originados en el exterior de origen volcánico en contraposición a endógeno que es lo que ocurre o se genera en el interior.

**DISTRIBUCION GRANULOMETRICA:** Proporción relativa en porcentaje con respecto al peso de las diferentes fracciones presentes en una masa de suelo.

**DRENAJE INTERNO:** (1) Cualidad del suelo determinada por el movimiento del agua hacia abajo y a través de él. (2) Desecación o avenamiento de tierras pantanosas o inundadas.

**DRENAJE NATURAL:** Frecuencia y duración de los periodos durante los cuales el suelo no está saturado total o parcialmente.

**E:** Horizonte mineral que ha perdido arcilla silicatada, hierro, aluminio o combinación de éstos, permitiendo una concentración de arena y limo, de cuarzo ó de otros minerales resistentes.

**ELUVIACIÓN:** Movimiento de material de una porción del perfil de suelo, como en el horizonte álbico.

**ENAÚLICA (Aglomeroplásmica):** El plasma se sitúa en los huecos que dejan los granos minerales.

**EROSIÓN:** En sentido amplio de la palabra consiste en el desgaste de la superficie terrestre por medio de fuerzas individuales o combinadas del agua, viento y gravedad.

**ESCARPE:** Acantilado o ladera vertical o subvertical que pudo originarse por una falla o corresponder al frente de una cuesta, crestón o espinazo.

**ESPECIE MINERALOGICA:** Sustancia química homogénea dotada de un ordenamiento atómico regular (orden cristalino) presente en condiciones ideales bajo la forma de sólidos

regulares (cristales), constituyendo los granos de arena en la porción de tamaño del suelo de 50 a 250 micras, o las diminutas partículas coloidales de limos y arcillas en la fracción de 2 a 50 micras los primeros y en la menor de 2 micras las segundas.

**ESTRIADA AL AZAR – RANDOM STRIATED (Omniséptica):** Separaciones plásmicas muy desarrolladas, formando un modelo muy complejo.

**ESTRIADA PARALELA – PARALLEL STRIATED (Másepica):** Separaciones plásmicas en zonas alargadas.

**ESTRIADA RETICULADA – RETICULATE STRIATED (Latisépica):** Separaciones plásmicas que semejan un retículo formado por dominios aciculares muy cortos y orientados aproximadamente en ángulo recto.

**ESTRUCTURA (Suelo) (1)** Organización natural de las partículas del suelo en unidades que están separadas por superficies de debilitamiento. **(2)** Agregación de partículas primarias del suelo en partículas compuestas, las cuales se separan de los agregados contiguos por medio de superficies de debilidad.

**ESTRUCTURA BLOCOSA (Suelo):** Las partículas están organizadas alrededor de un punto y limitadas por superficies planas o redondeadas, las cuales son moldeadas por las caras de los otros agregados.

**ESTRUCTURA BLOCOSA ANGULAR (Suelo):** Los agregados del suelo están caracterizados por partículas limitadas por planos que se interceptan formando ángulos más o menos definidos.

**ESTRUCTURA BLOCOSA SUBANGULAR (Suelo):** Se caracteriza por tener una mezcla de caras planas y redondeadas con vértices en su mayoría redondeados.

**FABRICA:** Ha sido usado en las ciencias de la tierra de maneras diferentes; por ejemplo, en petrografía ha sido usado por algunos para expresar el grado de organización más allá de la estructura, y por otros para expresar patrones de orientación. Para algunos

petrógrafos los términos fábrica, estructura y textura son sinónimas.

**FABRICA DEL SUELO:** Trata con la organización total del suelo, expresada por el arreglo espacial de los constituyentes del suelo (sólidos, líquidos y gases), su forma, tamaño y frecuencia consideradas desde el punto de vista configuraciones, funcional y genético. Como en sección delgada no es posible describir la fase líquida, los mismos autores Bullock y colaboradores (1985) proponen reemplazar el término “fábrica del suelo” por “patrón de constituyentes del suelo”, el cual concierne con el arreglo espacial de los constituyentes sólidos del suelo y los poros asociados.

**FALLA:** Fractura de la corteza terrestre acompañada de desplazamientos vertical, horizontal o combinado de los bloques o capas.

**FERRALITICO:** Clase de suelo de las regiones Tropicales húmedas y Ecuatoriales, con fuerte acumulación de sesquióxidos de hierro y aluminio y dominancia de arcillas de tipo caolinítico.

**FERRAN:** Cutan compuesto de concentraciones de óxidos de hierro.

**FERROMAGNESIANO (Mineral):** Nesosilicato con predominio de hierro y magnesio.

**FERRUGINACION:** Liberación de hierro de los minerales primarios y la dispersión de las partículas de óxido de hierro en cantidades crecientes; su oxidación e hidratación progresivas dan a la masa del suelo colores pardos, pardo rojizos y rojos respectivamente.

**FERTILIDAD DEL SUELO:** Capacidad que tiene el suelo para suministrar los nutrientes que demanda el desarrollo de los cultivos y las plantas.

**FISIOGRAFIA:** Descripción del paisaje terrestre, incluyendo aspectos del uso de la tierra, vegetación e influencia humana.

**FRACCIÓN DENSA (Arena):** Minerales de peso específico mayor de 2,89 g/cc.

FRACCIÓN DE TIERRA FINA: Partículas del suelo de diámetro menor de 2 mm

FRACCIÓN LIVIANA (Arena): Minerales de peso específico menor de 2,89g/cc.

GEOMORFOLOGÍA: Es la ciencia que estudia de manera sistemática las formas del terreno, su génesis, es decir, el origen o procedencia de lo que vemos en un paisaje y la evolución a través del tiempo, como respuesta de los diferentes procesos naturales que se encargan de esculpir y modelar la superficie terrestre, unas veces de manera tan lenta que puede ser imperceptible para el hombre y en otras tan rápida que causan catástrofes impredecibles con grandes pérdidas en recursos físicos y vidas humanas.

GEFÚRICA (Intertéctica): los granos del esqueleto están unidos por puentes de plasma.

GIBSITA: Oxido hidratado de aluminio ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ).

GLACIARES: Enormes masas de hielo que pueden moverse bajo influencia de la gravedad.

GLACIO FLUVIAL: Semejante a fluvio glacial, relieves modelados por el deshielo del último glaciar, formando valles en U, artesas, circos, lagunas y valles glaciáricos,

GLEYICO (gl): Que tiene dentro de 100 cm de la superficie del suelo mineral, una capa de 25 cm o más de espesor que tiene condiciones reductoras en algunas partes y un patrón de color gléyico en todo el espesor.

GLÉBULAS: Unidades tridimensionales dentro de la matriz-s, con formas redondeadas y tendencia esférica que manifiestan diferencia en fábrica, comparada con la del material del suelo que las engloba.

- \* Características: fábrica interna, naturaleza mineralógica, distintividad, forma.
- \* Fábrica: Indiferenciada, concéntrica, laminar, porosa, etc.
- \* Mineralogía: sesquóxidica, Mn,  $CO_3$ ,  $SO_4$ ,  $SiO_2$ , arcillosa.
- \* Separación con el materia que las engloba: difuso, abrupto, gradual.
- \* Forma: elipsoidal, amigdaloides, esférica, lenticular.
- \* Las principales glébulas son: nódulos (fábrica interna no diferenciada), concreciones

(fábrica concéntrica), septaria (grietas radiales, cruzadas por otras concéntricas), pedones (geodas pedológicas), halos glebulares o moteos (fábrica no diferenciada y halos poco diferenciados), pápulas (glébulas arcillosas o no y con fábrica laminar y

límites bien definidos.

GOETHITA ( $\alpha$ -FeOOH): Oxido hidratado de hierro. Resultado de una cristalización lenta del hierro liberado por el proceso intemperico que afecta a los minerales ferromagnesianos, se encuentra en abundancia en suelos ferralíticos, existe en cantidades fácilmente detectables en suelos de rocas ácidas, granitos y areniscas. También puede ser heredada del material parental en depósitos alogénicos.

GRADO DE PEDALIDAD: En el análisis de la microestructura (estructura) del suelo se analiza el grado de pedalidad o desarrollo de los peds, para lo que se tiene en cuenta la proporción de poros que rodea a los mismos.

GRANOESTRIADA (Esquelsépica): Separaciones plásmicas en conexión con granos del esqueleto.

GRANOS DEL ESQUELETO (COMPONENTES MINERALES GRUESOS): Son los granos individuales relativamente estables en cuanto a movilidad y alteración. Comprenden los granos minerales, fragmentos de roca y los cuerpos silíceos orgánicos resistentes de mayor tamaño que el coloidal. Los granos del esqueleto se analizan con base en su composición, grado de alteración, esfericidad y redondez.

GRANULOMETRÍA: Procedimiento físico por el cual se determinan las proporciones relativas en porcentaje con respecto al peso de las diferentes fracciones de tamaños de los granos o partículas presentes en una masa de suelos dada.

GRUPO TEXTURAL: Conjunto de clases texturales con similares proporciones de tamaño.

HALOS GLEBULARES: Son acrecionarios en origen, formados in situ. Pueden rodear en diferente magnitud todos los tipos de nódulos.

HALOISITA Y METAHALOISITA: Existe relación con minerales “no cristalinos” como la alófana o aluminosilicatos “no cristalinos” similares a la alófana y la imogolita y también como un producto de alteración hidrotermal.

**HIDRÓLISIS:** Desdoblamiento de un compuesto químico por la acción del agua.

**HIPOREVESTIMIENTOS (HIPOCUTANES):** Estos ocurren inmediatamente junto más bien que sobre la superficie con la cual están asociados (concepto de neo cutan de Brewer); pueden resultar por impregnación de la masa de suelo inmediatamente adyacente a la superficie (hipo revestimiento externo), por impregnación de las zonas superficiales de granos microporosos del esqueleto (hipo revestimiento interno) o por disminución de un componente como ocurre en los pedorrasgos que han perdido componentes (depletion pedofeatures).

**HORIZONTE DEL SUELO:** Capa o franja paralela a la superficie del suelo que se distingue de las capas adyacentes por diferentes propiedades.

**HORIZONTE DIAGNÓSTICO:** Nomenclatura descriptiva de naturaleza cuantitativa para describir y denominar los suelos, útiles en la taxonomía de suelos.

**HUMIFICACIÓN:** Transformación de la materia orgánica bruta en humus.

**HUMUS:** Parte de la materia orgánica bien descompuesta y más o menos estable.

**IDENTIFICACION DEL PERFIL:** Código alfanumérico con el cual se designa el perfil del suelo.

**ILUVIACION:** (1) Movimiento de material a una porción del perfil del suelo como en los horizontes argílico y espódico.(2) Conjunto de procesos de acumulación de sustancias solubles o coloidales que llevan a la formación de horizonte de acumulación o iluvial.

**INDIFERENCIADA – UNDIFFERENTIATED b-fabric (Isótica):** plasma isótropo; no se identifican separaciones plásmicas.

**INTERESTRATIFICADOS E INTERGRADOS 2:1-2:2:** Relacionadas con la alteración de micas, en especial aquellas trioctaédricas; las micas se alteran mediante mecanismos muy

---

variados, entre ellos la ganancia de agua y la pérdida gradual de cationes conduce a estructuras "hidromicáceas" las cuales posteriormente y a medida que continúa el proceso generan arcillas con estructuras laminares heredadas, como son la vermiculita y

las esmectitas.

**LIXIVIACIÓN (Suelos):** Término general para indicar movimiento hacia abajo de materiales en solución.

**MATERIAL NO CRISTALINO:** Hace relación a los aluminosilicatos “no cristalinos” similares a la alófana y la imogolita, los cuales presentan cierto grado de ordenamiento cuando son observados al microscopio electrónico, pero son insensibles a la difracción de rayos Xs (DRX).

**MATERIALES OLIGOMÍCTICOS:** Constituidos por un solo tipo de roca y la matriz es normalmente arenosa.

**MATRIZ DEL SUELO O MATRIZ- S (masa basal, componentes básicos minerales y componentes básicos orgánicos):** Se define como el material que se encuentra dentro de los pedes primarios, o que compone los suelos apedales. Consiste de: granos del esqueleto, plasma, materiales orgánicos y espacio poroso. Se excluyen los rasgos pedológicos.

**MELANIZACIÓN:** Oscurecimiento de los materiales iniciales inconsolidados y de color claro por mezcla íntima con materia orgánica.

**MICROESTRUCTURA:** Se considera desde el ángulo micromorfológico para analizar aspectos concernientes con la estructura del suelo que se revelan cuando el material de suelo es examinado con técnicas ópticas con aumentos de 5 veces o más altos que a simple vista y que concierne con agregación o porosidad, con el tamaño, forma y arreglo de las partículas primarias.

**MICROMORFOLOGÍA:** Es la rama de la ciencia del suelo que atiende la descripción, interpretación y medición de componentes, rasgos y fábricas en el suelo en su arreglo natural sin alterar a nivel microscópico.

**MINERAL:** Combinaciones químicas natural ó los elementos nativos resultantes de diversos procesos fisico-químicos que tuvieron lugar en el interior de la corteza terrestre o en su

superficie.

**MINERALIZACIÓN:** Liberación de compuestos minerales por descomposición o transformación de la materia orgánica.

**MONOESTRIADA (Insépica):** Pequeños dominios de arcilla orientada arreglados al azar. Fabrica birrefringente (b-fabric) moteada (speckled) o insépica

**MONOCLINAL:** Pliegue parcialmente degradado en el que los estratos buzcan en una sola dirección, en el cual se distinguen una pendiente de buzamiento y una contra-pendiente o escarpe.

**MONOMÓRFICO:** Integrado por una masa orgánica madura relativamente uniforme en color y densidad.

**MONTMORILLONITA:** Arcilla de relación 2:1, del grupo de la Smectita, caracterizada por no tener sustitución en la capa tetraédrica y con sustitución de 1AlX1Mg en la capa octaédrica, especie mineralógica tipo silicato compuesta por láminas de tetraedro – octaedro – tetraedro.

**MORFOLOGIA DE SUELOS:** Constitución física del suelo, que incluye la textura, la estructura, la porosidad, la consistencia, el color y el espesor de los horizontes, entre otros.

**MOTEADA EN MOSAICO – MOSAIC SPECKLED (Mosépica):** Separaciones plásmicas en numerosas zonas.

**MOTEOS (CONVOLUTE NODULES):** Resultan de la impregnación débil o mediana sobre un material arcilloso u otro material denso; frecuentemente son menos densos, más irregulares en densidad y tienen límites más difusos que otros tipos de nódulos. La naturaleza heterogénea de la impregnación determina áreas con fuerte impregnación entremezcladas con otras de impregnación débil relacionadas a un particular patrón de poros. Los Moteos ocurren en variedad de colores debido a lo débil de la impregnación, nunca son opacos. Ellos se pueden subdividir de acuerdo con el color y la fábrica interna; el principal criterio bajo el microscopio para distinguirlos de los nódulos son la forma y el grado de impregnación. En el campo los Moteos ferruginosos se diferencian de otros

nódulos por forma y por la blandura.

**NIVEL FREÁTICO:** Lámina de agua libre que satura transitoria o permanentemente todos los poros del suelo en una sección determinada.

**NÓDULOS:** Los integrados por materiales solubles del plasma (calcita, hierro, manganeso) han sido formados por acreción mientras que aquellos con fábrica de suelo o roca, no. Pueden ser típicos, concéntricos, nucleicos, seudomórficos, de acuerdo con la morfología que presenten.

**PÁPULAS:** Varían en origen: litorelictos, pedorelictos o relictos sedimentarios; la fábrica laminar indica origen sedimentario. Su forma puede indicar origen: discoidal (sedimentario), redondeada (transporte), angular (ruptura in situ).

**PATRÓN DE RELACIÓN GRUESO-FINO, c/f:** Es la disposición o arreglo espacial de las partículas de suelo y los espacios asociados y queda determinada por la manera como los granos esqueléticos se relacionan con el plasma.

**PED:** Unidad individual de estructura del suelo, referida a la organización natural de las partículas del suelo.

**PEDOLOGÍA:** Considera al Suelo como un cuerpo natural sin profundizar en su utilización práctica inmediata. El pedólogo estudia, examina y clasifica los suelos en sus modificaciones dentro de su situación natural.

**PEDÓN:** Entidad básica de suelo que representa la unidad más pequeña en la cual se debe describir y muestrear el suelo.

**PEDS:** El ped primario es la unidad básica de descripción en el material pedal del suelo y en todo el suelo en materiales apedales.

**PERFIL MODAL DEL SUELO:** Sección vertical a través de un suelo. El perfil constituye la pieza fundamental para entender, descifrar e interpretar la capacidad y potencialidad del

suelo en cuanto a utilidad humana.

**PERIGLACIAR (zona)** : Zona situada cerca de masas glaciares en las cuales tienen lugar procesos morfológicos determinados por el hielo del suelo, tales como solifluxión, crioturbación y los suelos helados o permafrost.

**pH o ACIDEZ**: Medida de la concentración de iones, hidrógeno en el suelo. Designación numérica de la reacción del suelo.

**PIEDEMONTE**: Superficie inclinada situada al pie de las vertientes de montaña. Definido básicamente por su posición intermedia entre la montaña y la planicie.

**PLANOS Y FISURAS O GRIETAS**: Son poros simples planares y de acuerdo a la relación de sus ejes principales se clasifican en: grietas regulares cuando aparecen en el suelo siguiendo un modelo más o menos regular, grietas oblicuas si el modelo es irregular y grietas de resquebrajamiento cuando el modelo es de forma compleja.

**PLASMA (COMPONENTES MINERALES FINOS)**: Es el material inestable del suelo potencialmente móvil, susceptible de transformarse, organizarse y concentrarse. Comprende los elementos básicos en la actividad del suelo, como: agua, sustancias coloidales orgánicas y minerales, cationes y el material relativamente soluble que no está ligado a los granos esqueléticos.

**PLEISTOCENO**: Período cuaternario que se caracteriza por la existencia a lo largo de él, de varios períodos placiares e interglaciares, con el correspondiente avance o retroceso de glaciares e inlandsis.

**POLIPEDON**: Cuerpo real del suelo, compuesto por un grupo de pedones contiguos que están dentro de los límites de la serie de suelos.

**POROESTRIADA (Vosépica)**: Separaciones plásmicas en conexión con huecos.

**POROS (HUECOS)**: Desde el punto de vista de la porosidad del suelo, está se considera según dos conceptos básicos, uno de forma general y otro de manera detallada. El primero

es el denominado Fábrica del Suelo, que toca con la organización total del suelo y se expresa por el arreglo espacial de los constituyentes del mismo (sólidos, líquido y gases), su forma, tamaño y frecuencia, considerados desde un punto de vista configuracional, funcional y genético. El segundo, tiene que ver con la Estructura del suelo que contempla el modo en que los sólidos y poros (huecos) están dispuestos o arreglados y la forma y el

tamaño en que lo hacen.

**PÓRFIRO-ESQUELÉTICA (PORFÍRICA):** Los granos del esqueleto están distribuidos en una masa basal (plasma) densa.

**POROS DE EMPAQUETAMIENTO:** Son originados por el empaquetamiento al azar de los individuos (granos individuales o unidades compuestas como los peds). Estos son usualmente equidimensionales o alargados y con límites o paredes irregulares o suaves; presentan un patrón de distribución y orientación al azar y están fuertemente interconectados por espacios limitados o estrechos.

**POROSIDAD:** Volumen de vacíos o espacios porosos, los cuales pueden estar ocupados por agua o por aire.

**PROFUNDIDAD EFECTIVA:** (1) Espesor del material del suelo en el cual las raíces de las plantas pueden penetrar fácilmente para obtener agua y nutrientes. (2) Distancia vertical del suelo que permite el desarrollo normal de las raíces para el crecimiento vegetal.

**QUITÓNICA (Granular/mónica):** No hay plasma o el plasma no está en la forma de rasgos edáficos, por ejemplo argilanes que rodean a los granos esqueléticos.

**R:** Lechos de roca dura, suficientemente coherentes como para no permitir ser cavados con una pala, en estado húmedo.

**RASGOS PEDOLÓGICOS:** Son unidades reconocibles en cualquiera de los dos tipos siguientes: 1) dentro de la matriz – s o 2) formando superficies de debilidad o fragilidad entre peds. Ellos se distinguen del material asociado debido al origen, concentración de plasma, composición mineralógica o diferencias en el arreglo de los constituyentes.

**RELIEVE MONTAÑOSO ESTRUCTURAL DENUDATIVO:** Comprende relieves en materiales terciarios y cretácicos, originados por procesos orogénicos y fuerzas tectónicas que han conformado pendientes escarpadas, disectadas por la incisión de las corrientes de agua a lo largo de lineamientos y plegamientos que caracterizan sus estructuras. En estos relieves son frecuentes los fenómenos de denudación como son,

remoción en masa, reptación, solifluxión. Representan sistemas importantes ubicados al sur del departamento de Córdoba, tanto por su amplitud y altitud entre 600 y 1500 m,

como por ser áreas productoras de agua.

**RELIEVE MONTAÑOSO GLACIARICO:** Comprende relieves modelados por antiguos glaciares de montaña, relacionados con el período de los últimos 130.000 años del cuaternario, correspondiente al ciclo del último interglacial-glacial-interglacial. Hoy en día como evidencia de ese modelado resultante se encuentran los campos de morrenas.

**RELLENOS (PEDOTÚBULOS):** Es el material del suelo (granos esqueléticos o granos esqueléticos y plasma) que se encuentra con forma externa tubular y límites bien marcados, se presentan como tubos simples o ramificados. La fábrica interna es diferente a la del material del suelo circundante y su presencia se asocia con el relleno de cavidades o espacios con material de suelo transportado por la fauna edáfica.

Se distinguen además por:

-Forma tubular integrada por material del suelo y con límites relativamente abruptos.

-Sus características distintivas como: fábrica interna, composición del plasma, forma externa y facilidad de separación del material del suelo que los engloba.

-Su origen es en la mayoría de los casos biológico (cavidades generadas por la fauna del suelo y rellenas por materiales de diferentes horizontes). Si el poro está completamente relleno se denomina completamente denso; denso incompleto cuando hay relleno completo pero existen algunos poros en el relleno; suelto continuo cuando el relleno consiste de granos, agregados, cristales o excrementos distribuidos regularmente a través del poro sin un empaquetamiento a tope; suelto discontinuo cuando el relleno consiste de granos, agregados, cristales o excrementos distribuidos irregularmente, aislados o en racimos.

**REVESTIMIENTOS (Cutanes):** Se definen como una modificación de textura, estructura o fábrica sobre las superficies naturales de los materiales del suelo debido a la concentración de constituyentes particulares del mismo, o a una modificación in situ del plasma.

Los revestimientos o cutanes se clasifican de acuerdo con las características de las superficies afectadas, la naturaleza mineralógica del material cutánico, las fábricas

internas y características adicionales como grado de separación y de adhesión.

Tras la descripción macroscópica, en sección delgada se describe: características de la superficie afectada (granos, canales, planos, etc), naturaleza del cután (arcillosa, Fe, Mn, M.O, etc.) fábrica interna y límite con el material del suelo. Los cutanes pueden ser simples o compuestos.

Con base en el proceso formador se presentan los siguientes tipos de revestimientos o cutanes:

Iluviación (revestimientos o películas): arcilla, hierro, carbonatos, yeso, materia orgánica, entre otros.

**RUGOSIDAD DE LAS SUPERFICIES:** Es una característica importante de los agregados ya que es de utilidad en la interpretación de su génesis y como indicador del movimiento del agua a varios estados de saturación. En superficies rugosas no hay cerramiento completo de los poros planares con la hinchazón del material de suelo por humedecimiento, como ocurre al contrario ocurre en superficies suaves debido a un efectivo sellamiento de los poros planares, lo que impide el movimiento del agua.

**SECCIÓN DELGADA:** Corte de muestra orientada adherida a un porta objeto con desbaste a un espesor de 120 y 180  $\mu\text{m}$ . Existen varios equipos para realizar esta actividad básicamente relacionados con el corte y desbaste con aglomerante sintético y adherente al porta objeto.

**SEDIMENTACIÓN:** Deposición de materiales rocosos trabajados por la erosión, fragmentados y arrastrados por agentes móviles, así como de organismos muertos o de sustancias químicas.

**SEDIMENTACIÓN DILUVIAL:** Término sugerido por Goosen, D. (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.

STÁGNICO (st): Que tiene en algunas partes dentro de 100 cm de la superficie del suelo mineral, condiciones reductoras por algún tiempo durante el año y en 25 por ciento o más del volumen del horizonte, solo o en combinación, un patrón de color stágnico o un horizonte Álbico.

TECTÓNICA: (1) Estudio de las deformaciones sufridas por la corteza terrestre y de las estructuras resultantes como fracturas, pliegue, esquistosidades, etc., y de las causas que las han originado. (2) Conjunto de fenómenos que causan el afloramiento, plegamiento, hundimiento o fractura de las rocas superficiales.

TRANSECTO (Levantamiento de suelos): Recorridos preestablecidos, más o menos en línea recta perpendiculares a las geoformas presentes en el área de estudio, con la finalidad de realizar las correspondientes observaciones.

VESÍCULAS: Son poros redondeados o elípticos de paredes lisas y sin conexión entre ellos. Se originan por escape de burbujas de gases, aire atrapado por lluvia o riego o sedimentos. El CO<sub>2</sub> liberado por la actividad biológica puede también generarlos. Las vesículas difieren de las cavidades en la forma casi circular que presentan a modo de burbujas, con paredes curvas y suaves.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Benayas De Rey, Josefina.(1982). *Atlas de micromorfología de suelos e introducción a la micromorfología*. Monografías de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos N. 84 Madrid. 87p.

Besoain, E. (1985). *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, San José de Costa Rica.

Brewer, Roy. (1964). *Fabric and mineral anlysis of soils*. Jhon Wiley & Sons, Inc., New York. Pp 179-204.

Bullock, P., Fedorof, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, J. (1985). *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, England. 152 p.

Instituto Geografico Agustin Codazzi. (1987). *Aplicación de la Geomorfología al*

*levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos.* Alfred Zinck. Subdirección de Agrología. Bogotá.

176 p.

Instituto Geografico Agustin Codazzi. (1995). *Suelos de Colombia*. Subdirección Agrológica. Bogotá, DC.

Soil Science Society of America. (1987). *Glossary of Soil Science Terms*. Madison, Wisconsin 53711 USA. 44 p.

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. National Soil Survey Center. Lincoln, Nebraska, Soil Survey Laboratory, USA. pp 181-213.

Suarez De Castro, F. (1980). *Conservación de suelos*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 315 p.

Villota, H. (2005). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C.

Zinck, A. (2012). *Geopedología 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. pp. 42-45.

## **ANEXO 5**

### **INDICES DE REFLEXIONES**

Índices de reflexiones medias y fuertes con espaciados ( $d=\text{Å}$ ). 1. Principalmente Minerales de Arcilla; 2. Silicatos; 3. Óxidos, Hidróxidos, Carbonatos, etc... Los numeros entre parentesis dan las intensidades relativas para los minerales puros. Fuente: IGAC (1979) actualizado al 2016.			
$d=\text{Å}$	1	2	3
24	Interestratificación Biotita-Vermiculita=Hidrobiotita		
20 - 9,6	Montmorillonoides en varios estados de hidratación		
17,7	Montmorillonoides saturados con glicerol (10)		
17,0	Montmorillonoides saturados con etilen-glicol (10)		
14 - 15	Montmorillonoides secados al aire		
14 - 15	Vermiculita secada al aire (10)		
13,6 - 14,3	Cloritas (10) poca intensidad (3) si son ricas en Fe		
12,2	Vermiculita secada al aire		
12,1	Sepiolita (10)		
11,4 - 11,7	Hidrobiotitas (10)		
10,7	Vermiculita secada al aire		
10 - 14	Micas hidratadas		
10,8	Haloisitas saturadas con glicerol		
10,2 - 10,5	Palygorskita (10)		
10,1	Haloisita hidratada (10) (pobremente ordenada)		
9,9 - 10,1	Micas e Illitas (10)	9,2 - 9,4 Talco (9)	
9,8	Sepiolita	9,1 - 9,2 Pirofilita (6)	
8,85	Montmorillonoides saturados con glicerol (4)		7,91 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O (6)
7,6	Sepiolita (3)	8,37 - 8,39 Anfíbol (10)	
7,2 - 7,5	Metahaloisita (8)		7,7 Yeso (10)
7,15	Kaolinita (10), Dickita (10) Nacrita (10)	7,1 - 7,2 Antigorita (6) Crisotilo (3)	
7,05 - 7,15	Chamosita (10)		
7,0 - 7,2	Cloritas (9) Haloisita hidratada calent a 300°C	6,8 - 7,0 Amesita (9)	
6,44	Palygorskita (6)	6,72 Cronstedita (10)	
		6,3 - 6,5 Feldespatos (4,6)	6,25 Lapidocrita (10) Boemita (10)
5,90	Montmorillonoides saturados con glicerol (6) - (3)		
5,42	Palygorskita (5)	5,4 Mullita (7)	5,48 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O (4)
5,0	Muscovita (10)		
			4,96 Goetita (3)
			4,85 Magnetita (3)
			4,83 Gibsita (10)
4,7 - 4,8	Cloritas (9), menor intensidad las ricas en Fe		4,72 Bayerita (10)
4,6 - 4,7	Chamosita (2) - (4)	4,81 Anfíbol (2)	
4,6	Vermiculita (5) Sepiolita (10)	4,6 - 4,7 Talco (6)	4,62 Espinela (8)
4,45 - 4,6	Montmorillonoides (6) - (10)		
		4,57 Pirofilita (5)	4,55 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (4)
		4,53 Amesita	
4,45 - 4,50	Muscovita, Illita (9)		
4,49	Palygorskita (8)		
4,45 - 4,46	Kaolinita (4), Haloisita "Fireclay" (8)		
4,43	Dickita (6)		
4,42	Metahaloisita (10)		
4,40	Nacrita		

Índices de reflexiones medias y fuertes con espaciados ( $d=\text{Å}$ ). 1. Principalmente Minerales de Arcilla; 2. Silicatos; 3. Óxidos, Hidróxidos, Carbonatos, etc... Los numeros entre parentesis dan las intensidades relativas para los minerales puros. Fuente: IGAC (1979) actualizado al 2016.			
$d=\text{Å}$	1	2	3
4,35 - 4,36	Kaolinita (6) Dickita (6)		4,36 Bayerita (8) 4,34 Gipsita (6)
4,26	Dickita (4)		4,29 Yeso (10)
4,2 - 4,3	Palygorskita (5)		4,21 Cuarzo (7)
4,17	Kaolinita (6)	4,0 - 4,2 Feldespato (8)	4,15 Goetita (10)
4,13	Dickita (6)		
4,12	Kaolinita (3)		4,05 Cristobalita (10) 3,98 Diaspora (10)
3,84	Kaolinita (4)	3,8 - 3,9 Feldespatos (2) - (7)	3,84 Calcita (6)
3,82	Sepiolita (5)		3,73 Ilmenita (7)
3,78	Dickita (6)		3,72 Maghemita (3)
3,69	Palygorskita (5)	3,73 - 3,75 Feldespato (4-8) 3,64 - 3,67 Feldespato (3 - 8)	3,69 Dolomita (3) 3,67 Hematita (7)
3,57 - 3,58	Metahalosita (8)	3,59 - 3,60 Antogorita (7)	3,65 Rodocrocita (6)
	Nacrita (9)	Crisotilo (6)	
	Dickita (10)		
	Kaolinita (10)		
3,52 - 3,58	Cloritas (10)		3,58 Siderita (6)
3,50 - 3,55	Chamosita (10)		
	Vermiculita (6)		
3,54	Montmorillonoides saturados con glicerol (5)		
3,50	Muscovita	3,49 Cronstedita (9)	3,50 Anhidrita (10)
	Palygorskita (3)	3,46 Amesita (10)	3,47 Cordindon (8)
3,46	Vermiculita, clorita (004) baja carga	3,46 Talco (6)	
3,43	Dickita (4)	3,44 - 3,48 Feldespato (3) - (6)	3,4 Aragonito (10)
3,42	Vermiculita (5)	3,40 Anfíbol (3)	3,40 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O (10)
3,40	Hidrobiotita (8)		3,40 Magnetita (3)
		3,39 Mullita (10)	
3,36	Kaolinita (4)		3,36 Goetita (3) 3,35 Cuarzo (10)
3,33	Muscovita (10)	3,36 Pirofilita (3)	3,30 Gipsita (3)
	Illita (9)	3,17 - 3,16 Hiperstena	3,28 Lepidocrocita (9)
3,23	Palygorskita (10)	3,18 - 3,12 Anfíbol (5)	
3,22	Sepiolita (5)	3,1 - 3,25 Feldespato (7-10)	
	Muscovita (5)	A veces 2 líneas (picos)	3,20 Bayerita (6)
		3,12 Talco	3,16 Bohemita (10)
			3,15 Cristobalita (4)
3,00	Muscovita (5)	3,05 Pirofilita (10)	3,06 Yeso (7) 3,03 Calcita (10)
		2,97 - 3,00 Feldespato (3-7)	
2,95	Montmorillonoides saturados con glicerol (1) - (3)	2,94 Hiperstena (8)	2,94 Maghemita (7)
2,86 - 2,88	Muscovita (5)	2,86 Hiperstena (9)	2,88 Dolomita (10)
		2,81 - 2,89 Feldespato (4) - (8)	2,85 Rodocrocita (10)
2,82 - 2,87	Cloritas (1) - (6)		Cristobalita (8)
2,81 - 2,84	Vermiculita (1) - (4)		
2,80	Muscovita (4)		2,79 Siderita (10) 2,76 - 2,83 Apatito (10)

Índices de reflexiones medias y fuertes con espaciados ( $d=\text{Å}$ ). 1. Principalmente Minerales de Arcilla; 2. Silicatos; 3. Óxidos, Hidróxidos, Carbonatos, etc... Los numeros entre parentesis dan las intensidades relativas para los minerales puros. Fuente: IGAC (1979) actualizado al 2016.			
$d=\text{Å}$	1	2	3
			2,75 Ilmenita (10)
		2,70 Anfíbol (8)	2,74 Magnesita (10)
2,67 - 2,70	Chamosita (3) - (10)	2,70 Cronstedita (7)	
		Mullita (6)	2,69 Hematita (10)
2,65	Biotita (8)	2,70 Hiperstena (6)	ó Goetita (Dixon)
2,61	Palygorskita (8)		
	Sepiolita (8)		
	Hidrobiotita (4) - (8)		
2,60 - 2,63	Vermiculita (1) - (5)	2,60 Talco (5)	
2,57 - 2,59	Cloritas (1) - (7)	2,58 - 2,60 Amesita (2) - (5)	
2,57	Muscovita (9), Illita (7)		
2,56	Metahaloesita (7)		
2,55 - 2,60	Montmorillonoides (2) - (10)		2,65 Corindón (9)
2,52 - 2,55	Cloritas (2) - (6)	2,54 Mullita (7)	2,54 Ilmenita (8)
	Palygorskita (3) - (10)	2,51 - 2,55 Feldespato (4) - (8)	2,53 Magnetita (10)
2,54 - 2,56	Kaolinita (8)(6)	Pirofilita (2) - (7)	
2,51 - 2,52	Chamosita (5) - (10)	2,51 - 2,52 Antigorita (4)	2,51 Maghemita (10)
2,50	Dickita (6)	2,50 Hiperstena (4)	Hematita (8)
2,49 - 2,50	Kaolinita (9)	2,47 - 2,48 Talco (6)	2,48 Cristobalita (9)
2,45	Biotita (8)	2,46 Amesita (7)	2,47 Lepidocrocita (8)
	Sepiolita (7)		Wüstita (7)
2,43 - 2,46	Cloritas (2) - (6)	2,44 - 2,45 Crisotilo (3)	2,43 Goetita (7)
2,42	Nacrita (10)	2,42 - 240 Pirofilita (4) - (7)	
2,40	Chamosita (10)	2,41 (Cronstedita (7)	2,41 Espinela (10)
2,37 - 2,38	Kaolinita (7)		2,38 Corindón (8)
2,37	Vermiculita (4)		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (8)
2,32 - 2,33	Dickita (5) - (8)		2,34 Bohemita (10)
	Kaolinita (8) - (10)		2,31 Diaspora (8)
2,28	Kaolinita (9)		2,28 Calcita (7), Cuarzo
	Sepiolita (6)		2,22 Bayerita (10)
2,18	Biotita (8)	2,20 Mullita (7)	2,20 Hematita (7)
2,14	Chamosita (5)		2,14 Wüstita (10)
2,13	Muscovita (8)		2,12 Diaspora (7)
		2,11 Mullita (5)	2,10 Magnesita (8)
2,09	Sepiolita (5)	2,09 Talco (4)	2,09 Calcita (7)
		2,07 Pirofilita (3)	2,08 Corindón (19)
2,00 - 2,05	Cloritas (2) - (8)	2,02 Cronstedtita	2,07 Diaspora (7)
2,00	Micas (5) - (10)		2,01 Espinela (8)
	Hidrobiotitas (5) - (10)		
1,99 - 2,01	Cloritas (2) - (6)		1,98 Aragonito (9), Cuarzo
1,98	Kaolinita (7)		1,97 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (10)
			1,93 Lepidocrocita (7)
		1,90 - 1,92 Amesita (5) - (7)	1,92 Calcita (9)
		1,87 Talco (5)	1,87 Calcita (8)
			1,85 Bohemita (10)
			1,83 Hematita (7)
			1,81 Cuarzo (8)
1,79	Dickita (3)		1,80 Dolomita (7)



## Bibliografía

- Acevedo, O., Cruz, M., & Cruz, E. (2002). *Distribución de óxidos de Fe, Al y Si en horizontes endurecidos de origen volcánico*. *Agrociencia* 36: 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):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.
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, San José de Costa Rica.
- Borggaard, O.K. (2006). *Royal Veterinary and Agricultural*. University Thorvaldsensvej-Frederiksberg, Denmark.
- Brewer, R. (1964). *Fabric and mineral analysis of soils*. Jhon Wiley & Sons, Inc., New York. 179 -204.
- Brindcey, G. W. (1957). *The X-ray Powder*. Data File, Norelco. Rep. 4. 71 - 72.
- Brunnschweiler, D. (1981). *Glacial and periglacial form systems of the Colombian Quaternary*. *Rev.CIAF*, 6(1-3): 53-56.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., & Tursina, J. (1985). *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, England. p. 152.
- Buol, S.W., Hole, F.D., Mccracken, R.J. (1973). *Soil Génesis and Classification*. The Iowa

State University Press. First edition.

Buol, S.W., Hole, F.D., Mccracken, R.J. (2000). *Génesis y Clasificación de Suelos*. Editorial Trillas. Tercera reimpresión. México. p. 417.

Bürgl, H. (1957). *Bioestratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores*. Bol. Geo.Serv. Geo. Col. 5(2):113-185.

Cady, J.G. (1965). *Petrographic microscope techniques*. In C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger, and F.E. Clark (eds.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. 1st ed. Agron. 9:604 - 631.

Cady, J.G., Wilding, L.P., & Drees, L.R. (1986). *Petrographic microscope techniques*. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties*. 2nd ed. Agron. 9:185–218.

Calhoun, F.G., Carlisle, V.M., & Luna, C. (1972). *Properties and genesis of selected Colombian Andosols*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36:480-485.

Clark, G. (1981). *La prehistoria*. Alianza Editorial, S.A. Madrid España. 35-39.

Comerma, J.A. (1968). *Characteristics and genesis of two soil associations in North-Central Venezuela*. Unpublished PhD Thesis, Department of soils science, North Carolina State University at 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.

**Dahlgren, R.A. Saigusa, M., & Ugolini, F.C. (2004).** *The nature, properties and management of volcanic soils*. *Advances in Agronomy* 82: 113-182.

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.

Dorronsoro, C. (2010, 01 de Febrero). *Mineralogía de Suelos*. En: Departamento de

- Edafología y Química Agrícola (en línea), Universidad de Granada. Recuperado de <http://www.edafologia.net>. <http://edafologia.ugr.es/arenas/fertilid.htm>.
- Duchaufour, Ph. (1978). *Manual de Edafología*. Barcelona Masson. p 476.
- Dueñas, H., & Wijninga, V. (2003). *Edad del Miembro Tequendama de la Formación Tilatá (Altiplano de Bogotá)*. En: Neogeno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y sus Alrededores; Revista Análisis Geográficos No. 26, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá D.C. Colombia.
- Egli, M., Mirabella, A., & Sartori, G. (2008). [\*The role of climate and vegetation in weathering and clay mineral formation in late Quaternary soils of the Swiss and Italian Alps\*](#). *Geoderma* 102(3-4): 307-324.
- Elliott, P., & Drohan, P. (2009). *Clay accumulation and argillic-horizon development as influenced by Aeolian deposition vs. local parent material on quartzite and limestone-derived Alluvial fans*. *Geoderma* 51(3-4): 98-108.
- Eslava, J., Lopez, V., Olaya, G. (1986). *Contribución al conocimiento del régimen térmico y pluviométrico de Colombia*. En: Colombia Geográfica volumen 12 W2.118 p. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Santa fe de Bogotá.
- Etame, J., Gerard, M., Suh, C.M., & Bilong, P. (2009). *Halloysite neoformation during the weathering of nephelinitic rocks under humid tropical conditions*. *Geoderma* 154(1-2): 59-68.
- Faivre, P. (1973). *El concepto de planosol: su aplicación en Colombia*. Texto de una conferencia dictada por: P. Faivre. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección Agrológica. Bogotá, Colombia.
- Faivre, P. (1988). *Lessivage et planosolisation dans les sequences de sols caracteristiques des milieux intransdins de Colombie (Amérique du sud)*. These de Docteur es Sciences présentée á L'Universite de Nancy, Francia.
- Federoff, N., & Courty, M.A. (1987). *Morphology and distribution of textural features in arid and semiarid regions*. In Federoff, Bresson, L.M., Y Courty, M.A. (eds.), *Micromorphologie des Sols, Soil Micromorphology*. AFES, Paris. 213-219.
- Fitzpatrick, E.A. (1984). *Micromorphology of soils*. Chapman and Hall, Londres, Nueva

York. p. 433.

- Fitzpatrick, E.A. (1985). *Suelos, su formación, clasificación y distribución*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. segunda Impresión. México, D.F.
- Fitzpatrick, E.A. (1993). *Soil microscopy and micromorphology*. John Wiley and Sons, New York.
- Fox, C.A., Guertin, R.K., Dickson, E., Sweeney, S., Protz, R., & Mermut, A.R. (1993). *Micromorphology methodology for inorganic soils*. In M.R. Carter (ed.) *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. Boca Raton. 683–709.
- Grahama, R.C., & O'geenb, A.T. (2010). *Soil mineralogy trends in California landscapes*. *Geoderma*, 154(3-4):418-437.
- Greenland, D.J. Hayes, M.H.B. (1981). *The Chemistry of Soil Processes*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley Sons Ltd.
- Guillet, B., Faivre, P., Mariotti, A., & Khobzi, J. (1988). *The  $^{14}\text{C}$  dates and  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios of soil organic matter as a means of studying the post vegetation in intertropical regions: examples from Colombia (South America)*. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 65(1-2):51-58.
- Gunal, H., & Ransom, M.D. (2006). *Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along a precipitation gradient in Kansas*. *Catena* 68(1): 59-69
- Hardy, F. (1970). *Suelos Tropicales*. Herrero Hnos. S.A. México. 334p
- IDEAM. (2011 02 de Abril). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/> Página oficial del IDEAM. Categoría: Clima de Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Estudio de las sustancias húmicas en Andisoles y Mollisoles de Colombia desarrollados bajo ambientes ecológicos diferentes*. Subdirección de Agrología. Sin publicar. Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1995). *Suelos de Colombia*. Bogotá, Colombia. 5 - 219
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1999). *Caracterización geomorfo-pedológica del*

- flanco oeste de la cordillera oriental de los andes colombianos. Sector Páramo de Sumapaz - Valle del Magdalena Departamentos de Cundinamarca y Tolima.*  
Subdirección de Agrología. Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1979). *Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos.* Subdirección de Agrología, Bogotá, Colombia. p.347.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos.* Subdirección de Agrología, Bogotá, Colombia. p.487-538
- 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. (2005). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras.* Bogotá D.C. Colombia. p. 184.
- 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.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - Ingeominas. (2002). *Memoria explicativa Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca.* Bogotá D.C. Colombia.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo.* Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. 103 y 108.
- IUSS Working Group WRB. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014.* International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Jackson, M.L. (1968). *Weathering of primary and secondary minerals in soils.* 9<sup>th</sup> International Congress of Soil Science. Adelaide, S.A., 4:281-292.
- Jungerius, P.D. (1976). *Quaternary landscape development of the Rio Magdalena basin between Neiva and the quaternary of Colombia.* Palaeogeography, Palaeoclimatology,

Palaeoecology 19(2): 89-137

Khobzi, J. (1969). *Geomorfología de la región del Sumapaz*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C. Colombia.

Khobzi, J., & Usselman, P. (1973). *Problemes de géomorphologie en Colombie*. Revue de Geographie Physique et de Geologie Dynamique 15(1-2): 193–206

Kleber, A. (2000). *Compound soil horizons with mixed calcic and argillic properties examples from the northern Great Basin, USA*. Catena, 41: 111-131.

Kubiena, W.L. (1938). *Micropedology*. Collegiate Press, Ames, Iowa. P. 243.

Lado, M., & Ben-Hur, M. (2004). *Soil mineralogy effects on seal formation, runoff and soil loss*. Applied Clay Science 24(3-4): 209-224.

Lindbo, D.L; Stolt, M.H; Vepraskas, M.J. (2010). Redoximorphic Features. In: Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regolihs. Georges Stoops, Vera Marcelino and Florias Mees (Eds) Elsevier.

Luna, C. (1969). *Anotaciones pedológicas sobre algunos Andosoles de Antioquia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia. p.153.

Malagón, D., Pulido, C., & Llinas, R. (1991). *Andisoles*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi Subdirección de Agrología 3: 1, Bogotá. p.118.

Malagón, D., & Pulido, C. Llinas, R., Chamorro, C., & Fernandez, J. (1995). *Los Suelos de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.

Malagón, D., Pulido, C., Llinas, R., Chamorro, C., & Fernández, J. (1996). *Suelos de Colombia, origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología. Bogotá, Colombia.

Malagón, D. (1998). *El recurso suelo en Colombia -Inventario y Problemática-*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(82): 13-52.

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. 109:324-331.

Mejía, L. (1980). *La Mineralogía del Suelo y sus relaciones con la fertilidad*. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (ed.) *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control*. Bogotá, Colombia. p. 29-84.

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: 317-327.

Muñoz, C.A. (2012). *Caracterización mineralógica y geoquímica de la formación lodolitas de Fusagasuga, Cundinamarca y su relación con el abanico de Fusagasugá*. Facultad de Ciencia, Departamento de Geociencias. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. p. 22.

Moustakas, N.K., & Georgoulis, F. (2005). *Soils developed on volcanic materials in the island of Thera, Greece*. *Geoderma* 129(3-4): 125-138

Murphy, C.P. (1986). *Thin section preparation of soils and sediments*. Academic Publishers, Great Britain.

Nanzyo, M. (2002). *Unique Properties of Volcanic Ash soils*. In: Association of International Research Initiatives for Environmental Studies (AIRIES). *Global environmental research. Volcanic ashes and their soils*. 6 (2): 99-112.

Ortega, D.F. (1987). *Sistema de evaluación de la fertilidad del suelo*. *Suelos Ecuatoriales*. XII (2):281-286

Pedro, G. (1982). *The Clay minerals*. En: *Constituents and properties of soils*. M. Bonneau and B. Souchier Editors. V.C. Farmer, Translation Editor, The Macaulay Institute for soil research, Aberdeen. Academic Press Inc, New York. 3: 43-62.

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*. *Austr. J. Soil Res.* 26: 121-144.

Patiño, R.E. (2012). *Caracterización mineralógica y geoquímica del Abanico Diluvial de Fusagasugá, Cundinamarca*. Departamento de Geociencias, Tesis de pregrado.

Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

- Plaster, E. J. (2005). *La Ciencia del Suelo y su Manejo*. Primera Edición. Thomson Editores Spain. Madrid, España. P.151-163.
- Poch, R. M. (2014). *Descripción Micromorfológica de secciones delgadas en el Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC*. Bogotá Colombia. Universidad de Lleida, Lleida, Catalonia, Spain.
- Pulgarin, B, A. (2000). *Depósitos masivos del pleistoceno tardío asociados al colapso del flanco sur del volcán nevado del Huila (Colombia)*. Tesis Maestría en Ciencias (sismología y vulcanología), Universidad Autónoma de México. Ciudad de México.
- Pulido, C. (2006). *Estudio de las sustancias húmicas en Andisoles y Mollisoles de Colombia desarrollados bajo ambientes ecológicos diferentes*. Subdirección de Agrología. Inédito. Subdirección de Agrología, Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Colciencias. Bogotá, Colombia.
- Reeuwijk, L.P. (1994). *Introduction to Physico-Chemical aspects of soil formation*. International Soil Reference and Information Centre – ISRIC. Not for publication. For distribution among participants of ITC courses only. Wageningen, the Netherlands.
- Salazar, S., Gonzalez, L., & Arias, L. (2008). *Litoestratigrafía y Pedoestratigrafía de los Depósitos Recientes en el Altiplano de Santa Rosa de Osos (Asro)*. Boletín Ciencias de la Tierra 23: 21-32
- Sánchez, J.A. (2005). *Caracterización y zonificación edafológica de ecosistemas de alta montaña de los páramos Cuacanos, municipios de Purace, Silvia y Totoró*. Análisis Geográficos Número 33:84. Bogotá, Colombia.
- Sánchez, J.A. (2013). *Los suelos de Colombia*. En: Ciencia del Suelo: Principios Básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo/Herna Burbáno Orjuela, Francisco Silva Mojica (Editores). Segunda edición. Bogotá, Colombia. p.493 y 499.
- Sarmiento, G., Gaviria, S., Hooghiemstra, H., Berrio, J., & Van Der Hammen, T. (2008). *Landscape evolution and origin of Lake Fúquene (Colombia): Tectonics, erosion and sedimentation processes during the Pleistocene*. Elsevier. Geomorphology.

Geomorphology 100(3-4): 563-575

Scheinost, A.C., & Schwertmann, U. (1999). *Color identification of iron oxides and hydroxysulfates: Use and limitations*. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1463-1471.

Scholes, M., Swift, M.J., Sánchez, P.A., Ingram, J.S., & Dalal, R. (1994). *Soil Fertility research in response to the demand for sustainability*. In Management of Tropical Soil Fertility. by Wooster, P.L.; Swift, M.J. de. New York, John Wiley & Sons. 1-80.

Serbin G., Daughtry C.S.T., Hunt E.R. Jr., Reeves J.B. III., Brown D.J. 2009. Effects of soil composition and mineralogy on remote sensing of crop residue cover. Remote Sensing of Environment 113(1): 224 -238

Smith, B.F.L. (1994). *Characterization of poorly ordered minerals by selective chemical methods*. In: Wilson, M.J. (ed.). Clay mineralogy spectroscopic and chemical determinative methods. Chapman and Hall. London, UK. pp. 333-357.

Smithson, F. (1956). *Silica particles in some British soils*. J. Soil Sci. 7:122-129.

Shoji, S., & Takahashi, T. (2002). *Environmental and agricultural significance of volcanic ash soils. In Japan*. Glob Environ Res 6: 113-135.

Schwertmann, U. (1985). *Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments*. In: Stucki, J.W., B.A. Goodman y U. Schwertmann (eds.). Iron in soils and clay minerals. NATO ASI Series C217. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht, The Netherlands. 267-308

Soil Survey Staff. (1999). *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Second edition. Soil survey staff. USA, Natural Resources Conservation Service. Agriculture Handbook N. 436, Washington D.C., USA. p.868.

Soil Survey Staff. (2003). *Keys to Soil Taxonomy*. 9th. Ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington. p. 332.

Soil Survey Staff. (2006). *Keys to Soil Taxonomy*. 10th. Ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington. p.332.

Soil Survey Staff. (2010). *Keys to Soil Taxonomy*. 11th. Ed. United States Department of

Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington. p.332.

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. p.89.

Soil Survey Laboratory Methods Manual. (1996). *Soil Survey Investigations report No. 42*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington. p. 693.

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.

Soil Science Society of America - SSSA. (2005). *Soil Mineralogy*. Officers Useful Links for Soil Mineralogy Books Micromorphology. Student Awards S-DIV.S-9,

Stendahl, J., Snäll, S., Olsson, M.T., & Holmgren, P. (2002). *Influence of soil mineralogy and chemistry on site quality within geological regions in Sweden*. Forest Ecology and Management 170(1-3): 75-88.

Steven, W., Lee, C., & Steven, G. (2012). *Assessing lithologic discontinuities and parent material uniformity within the Texas sandy mantle and implications for archaeological burial and preservation potential in upland settings*. Quaternary Research Journal 78: 60-71.

Stoops, G. (2003). *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.

Takahashi, T., & Shoji, S. (2002). *Distribution and classification of volcanic ash soils*. Glob Environ Res 6(2): 83-98.

Tarbuck, E., J., Lutgens, J., & Frederick, K. (2005). *Ciencias de la Tierra, una introducción a la Geología Física*. Octava Edición. Pearson Prentice Hall. Pearson Educación S.A. Impreso en España.

Taylor, R.M. (1990). *Some observations on the formation and transformation of iron oxides*. In: De Boodt, M.F., M.H.B. Hayes y A. Herbillon (eds.). Soil colloids and their

associations in aggregates. Plenum Press. New York. 85-104.

Twiss, P.C., Suess, E., & Smith, R.M. (1969). *Morphology and classification of grass phytoliths*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:109-114.

Tye, A.M., Kemp, S.J., & Poulton, P.R. (2009). *Responses of soil clay mineralogy in the Rothamsted Classical Experiments in relation to management practice and changing land use*. Geoderma 153(1-2): 136-146.

Van Der Hammen, T. (1957). *Estratigrafía Palinológica de la Sabana de Bogotá*. Serv. Geol. Nal., Bol. Geol. 5(2):187-203.

Van Der Hammen, T., & Van Geel, B. (1974). *Upper quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern cordillera, Colombia)*. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology. 14:9-912.

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.

Van Der Hammen, T. (1995). *Plioceno y Cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores*. Editor Científico. En: Revista Análisis Geográficos No. 24. Subdirección de Geografía, Instituto geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.

Van Der Hammen, T. (2003). Neogeno y cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores (Zona norte y Aspectos Generales). En: Revista Análisis Geográficos No. 26. Subdirección de Geografía, Instituto geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.

Verma, S.D., & Rust, R.H. (1969). *Observations on opal phytoliths in a soil biosequence in southeastern Minnesota*. Soil Sci. Soil Amer. Proc. 33:749-751.

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.

Villota, H. (1998). *Una Nueva aproximación a la Clasificación Fisiográfica del Terreno*.

Revista CIAF 15(1): 83-117.

Wada, K., & Gunjigake, N. (1979). *Active aluminium and iron and phosphate adsorption in andisols*. Soil Sci. 128:331-336.

Wilding L.P., Smeck, N.E., & Hall, G.F. (1983). *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions*. Developments in Soil Science 11 Part A. Preface.

Zapata, R. (2006). *Química de los procesos pedogenéticos*. Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

Zinck, A. (2012). *Geopedología 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): 794-801.

Zehetner, F., & Miller, W.P. (2006). *Soil variations along a climatic gradient in an Andean agro-ecosystem*. Geoderma 137(1-2): 126-134.