

**EVOLUCIÓN CLIMÁTICA REGISTRADA Y ESTRATIGRAFÍA DEL MIEMBRO ÓRGANOS DE LA
FORMACIÓN BUCARAMANGA**

**MARÍA CAMILA LIMA AMARA
JOSUÉ DANIEL MEDINA RAMOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2015

**EVOLUCIÓN CLIMÁTICA REGISTRADA Y ESTRATIGRAFÍA DEL MIEMBRO ÓRGANOS DE LA
FORMACIÓN BUCARAMANGA**

**MARÍA CAMILA LIMA AMARA
COD. 20802823
JOSUÉ DANIEL MEDINA RAMOS
COD. 2090620**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Geólogo**

**Director:
VICTOR MANUEL CABALLERO ORTIZ
Geólogo MSc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS**

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

Llegar a esta etapa simplemente para muchos es utópico pero solamente les digo que se permitan soñar y permitan llenarse de paciencia, y prosperidad para alcanzar sus metas.

Está pequeña parte de vida y experiencia va dedicada principalmente a Dios, que durante tantas noches fue testigo de mis temores, de mis culpas y de mi miedo a triunfar o fracasar en el intento, a mis padres, en especial a mi mamá que fue el motor, eslabón y gran parte de mi motivación para sacar mi carrera adelante, a mis hermanos por sus consejos y apoyo total, a mis sobrinos que han sido mi mayor bendición, a mis primos y familiares que fueron testigos de cada desaliento y finalmente a mis amigos, los que aún siguen en mi vida, los que se han caído y a la vez levantado conmigo, los que simplemente saben por cada cosa que pasé, a todos y cada uno muchas gracias por no apartarse de esta desequilibrada pero emocionalmente fuerte persona.

Ma. CAMILA LIMA AMARA

A Dios, basto impulsor de la dinámica interna y externa de La Tierra, y de todo este Sistema al que le hemos llamado Universo.

A mi Mamá, Luisa María Ramos, quien no se enmarcó en su rol de progenitora sino que fue guía, Madre y Padre al mismo tiempo. Mi ejemplo claro de ignición del amor.

A Natalia, Federico, Sandra, quienes rompieron los esquemas tradicionales de hermandad y fueron incondicionales, patrocinadores, consejeros... Un ágape en ilustración materializada.

A Jorgito, Juan Daniel, María Victoria, quienes me han enseñado que ser tío no es suficiente; También se debe ser amigo, profesor, bombero, acudiente. A ustedes gracias por ser mis hermanos menores.

JosuéM.

AGRADECIMIENTOS

De antemano agradecerle al Profesor Victor Manuel Caballero por su apoyo, paciencia, clases y enseñanzas durante el desarrollo de nuestro proyecto de grado.

A cada de uno de los docentes que de alguna u otra forma influyeron en nuestra formación como geólogo y profesionales integrales.

A todos aquellos que con su compañía honraron nuestra etapa de estudiantes. A quienes aún permanecen y a los que se fueron, muchos éxitos y la mejor de las buenas energías en sus caminos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1 OBJETIVOS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2.1 JUSTIFICACIÓN	12
3 LOCALIZACIÓN	13
4 ANTECEDENTES.....	14
5 METODOLOGÍA	16
5.1 FASE DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	16
5.2 FASE DE CAMPO.....	16
5.3 FASE DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	17
6 MARCO GEOLÓGICO.....	18
6.1 Estratigrafía.....	18
6.2 Tectónica.....	21
7 MARCO TEÓRICO	24
7.1 Definición de conceptos básicos.....	24
7.2 Abanicos aluviales.....	25
7.3 Depósitos fluviales.....	29
7.3.1 Rasgos distintivos de los conglomerados	30
7.3.2 Asociaciones comunes de características descriptivas.....	32
7.4 Controles allogénicos en la sedimentación.	34
7.5 Controles Paleoclimáticos en repeticiones estratigráficas de rocas químicas y siliciclásticas.....	35
7.6 Contextos tectónicos y climáticos de la evolución de un abanico aluvial	37
7.7 Calcretas	38
7.7.1 Tipos de calcretas.	41
7.7.2 Mecanismos de formación de calcretas pedogénicas.....	46
7.8 Ferricretas.....	48

7.9	Paleosuelos	49
8	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	52
8.1	Descripción de Facies.....	52
8.2	Asociaciones de facies	68
9	ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
9.1	Análisis de las Facies	71
9.2	Columna Estratigráfica – Localidad 1.....	73
9.3	Columna Estratigráfica – Localidad 2.....	81
10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	90
10.1	Ambientes de depositación	90
10.2	Paleoclimatología	92
10.3	Ciclicidad paleoclimática del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.	93
11	DISCUSIÓN	96
12	RECOMENDACIONES	99
13	CONCLUSIONES.....	100
	BIBLIOGRAFÍA.....	101
	ANEXOS	7

LISTA DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Tipos morfológicos de horizontes de calcretas	41
Tabla 2. Clasificación y descripción de litofacies en el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga	52
Tablas 3. Asociaciones de facies en el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga	69
Tabla 4. Ambientes de depositación del material sedimentario del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.	90
Tabla 5. Regímenes Paleoclimáticos en el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.	92

LISTA DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Localización geográfica del depósito cuaternario Abanico de Bucaramanga.	13
Figura 2. Mapa geológico de la Terraza de Bucaramanga. Escala 1:25000.	20
Figura 3. Esquema estructural del Departamento de Santander.	23
Figura 4. Esquema generalizado de un abanico aluvial.	25
Figura 5. Flujo de escombros.	26
Figura 6. Flujo de lodos.	27
Figura 7. <i>Sheet Flow</i> .	28
Figura 8. <i>Sieve Deposits</i> .	28
Figura 9. Características descriptivas de los conglomerados	31
Figura 10. Características comunes asociadas a conglomerados.	32
Figura 11. Litofacies y estructuras sedimentarias en depósitos de ríos.	33
Figura 12. Controles allogénicos en la sedimentación y sus relaciones con el flujo de energía, suministro de sedimento, acomodación y tendencias de depositación.	34
Figura 13. Respuestas sedimentarias al cambio del clima.	36
Figura 14. Respuesta a precipitaciones estacionales y no estacionales bajo temperaturas tropicales y subtropicales.	37
Figura 15. Desarrollo de una calcreta.	39
Figura 16. Nivel de calcreta masiva en el área de Las Cruces, Nuevo México.	44
Figura 17. Horizonte de calcreta pisolítica en depósitos cuaternarios de la Bahía de Fisherman, Sur de Australia.	45

- Figura 18.** Calcreta laminar (flecha) sobrepuesta por una capa oolítica-pisolítica asociada a un nivel de raíces calcificadas, suelo del Holoceno, área de La Mora, Tarragona, Noreste de España. **45**
- Figura 19.** Perfil de calcreta masiva sobrepuesto por un nivel pisolítico y brechado con una prominente capa de raíces calcificadas (flecha), área San Miguel Salinas, Torrevieja, Alicante, Sureste de España. **46**
- Figura 20.** Perfil idealizado de una calcreta. **47**
- Figura 21.** Perfil de ferricreta expuesto al sur de Palika, cerca del Río Gambia, Gambia, Occidente de África. **49**
- Figura 22.** Facie clastosoportada con fragmentos líticos tamaño canto de granito, cuarzoareniscas, esquistos y lodolitas rojas (Flecha roja). **53**
- Figura 23.** Detalle de cantos presentando contacto puntual entre ellos. **53**
- Figura 24.** Estratificación ligera (cruda) en Facie Gm. **54**
- Figura 25.** Cantos de esquisto, granito, cuarzoarenisca y limolita roja con desarrollo pronunciado de surcos (Flecha roja). **54**
- Figura 26.** Suelo calcáreo pedogénico. **55**
- Figura 27.** Facie limoarenosa. **56**
- Figura 28.** Detalle de la facie Fr en la cual se evidencia el agrietamiento desarrollado debido a una constante contracción y dilatación de las arcillas en períodos secos y húmedos respectivamente. **56**
- Figura 29.** Moteado varicoloreado de las arcillas en tonalidades rojizas-anaranjadas-verdosas. **57**
- Figura 30.** Detalle del nivel lodoso con varicoloreado grisáceo-anaranjado y veneamiento negro de materia orgánica (raíces fijadas al sustrato). **57**
- Figura 31.** Detalle del varicoloreado grisáceo-anaranjado y veneamiento negro producido por materia orgánica (raíces fijadas al sustrato). **58**

Figura 32. Bulbos de raíces dispuestos al azar entre el contacto del nivel arcilloso con el arenoso.	59
Figura 33. Bulbos de raíces en el contacto arcilloso con el arenoso, infiriendo así la existencia de una zona con una vegetación considerable.	59
Figura 34. Costra lodosa no carbonatada al tope del nivel limoarenoso.	60
Figura 35. Costra lodosa orgánica (paleosuelo) al tope del nivel limoarenoso.	60
Figura 36. Costra lodosa no carbonatada al tope de la Facie Fr.	61
Figura 37. Rastro de materia orgánica –raíz fijada al sustrato- en la facie arenosa. Se observa la preponderancia rojiza en el cuerpo de roca.	62
Figura 38. Nivel arenoso con preponderancia en el moteado rojizo, indicando período de aridez.	62
Figura 39. Estratificación plano paralela de las arenas, Facie Sh.	63
Figura 40. Canal de gravas (Gm) entre arcillas (polígono rojo) que exhiben estratificación planoparalela (Sh) (líneas punteadas).	63
Figura 41. Facie gravosa arenosoportado.	64
Figura 42. Contacto erosivo entre la Facie Arenosa (Sh) y la Facie de Arenas Matriz soportadas (Gms).	64
Figura 43. Imbricaciones de los clastos en la Facie Gms.	65
Figura 44. Nivel gravosoportado de bloques de esquisto, granito, cuarzoarenisca y lodolitas rojas manteniendo un contacto tangencial entre ellos.	66
Figura 45. Detalle del Nivel gravosoportado, se observan los bloques subredondeados y subesféricos de esquisto, granito, cuarzoarenisca y lodolitas rojas manteniendo un contacto tangencial entre ellos.	66
Figura 46. Ferricreta.	67

Figura 47. Detalle de la ferricreta sobre la Facie Gms.	67
Figura 48. Ferricreta infrayaciendo la Facie gravosa Gms.	68
Figura 49. Ubicación geográfica de la Localidad 1.	73
Figura 50. Vista generalizada de la Localidad 1.	74
Figura 51. Columna estratigráfica de la Localidad 1	75
Figura 52. Facie Gms de la Localidad 1.	76
Figura 53. Detalle de la Facie Gms.	76
Figura 54. Nivel de arcillas expansivas con alto desarrollo de surco (Flecha roja).	77
Figura 55. Detalle del agrietamiento típico de las arcillas.	77
Figura 56. Detalle del varicoloreado de las arcillas.	77
Figura 57. Canal de gravas y guijas dentro del nivel arcilloso (Flecha azul).	78
Figura 58. Canal arenolodoso penetrando las arcillas (Delineado en rojo).	78
Figura 59. Nivel arenolodoso Suprayaciendo el paquete de arcillas.	78
Figura 60. Estratificación planoparalela de las arenas.	80
Figura 61. Detalle de la estratificación plano-paralela de las arenas.	80
Figura 62. Ubicación geográfica de la Localidad 2	81
Figura 63. Vista Generalizada de la Localidad 2.	82
Figura 64. Facie de gravas clastosoportadas.	82
Figura 65. Detalle de cantos de arenisca de la Facie Gm.	83
Figura 66. Nivel limoarenoso, se aprecia el agrietamiento producido por agentes humectantes.	83

Figura 67. Agrietamiento desarrollado debido a una constante contracción y dilatación de las arcillas en períodos secos y húmedos respectivamente.	84
Figura 68. Moteado varicoloreado en tonalidades rojizas-anaranjadas-verdosas.	84
Figura 69. Detalle del nivel lodoso con varicoloreado grisáceo-anaranjado y veneamiento negro de materia orgánica (raíces fijadas al sustrato).	85
Figura 70. Bulbos de raíces dispuestos al azar entre el contacto del nivel arcilloso con el arenoso.	86
Figura 71. Costra lodosa no carbonatada al tope del nivel limoarenoso.	86
Figura 72. Rastro de materia orgánica –raíz fijada al sustrato- en la facie arenosa. Se observa la preponderancia rojiza en el cuerpo de roca.	87
Figura 73. Facie Gms	88
Figura 74. Facie arenosa Sh suprayaciendo la Facie Gms (Flecha roja).	88
Figura 75. Columna estratigráfica de la Localidad	89

LISTA DE ANEXOS

1. Columna estratigráfica generalizada del Miembro órganos de la Formación Bucaramanga.
2. Sección estratigráfica del Miembro Órganos: Agroindustria
Ubicación E 1101810
N 1275319
h 747
3. Sección estratigráfica del Miembro Órganos: Calcretas, NOR-ESTE Cra 16
E 1101124
N 1274366
h 743
4. Sección estratigráfica del Miembro Órganos: Ferricreta
E 1104128
N 1273325
h 732

RESUMEN

TÍTULO: Evolución climática registrada y estratigrafía del Miembro órganos de la Formación Bucaramanga.*

AUTORES: LIMA, María Camila; MEDINA, Josué Daniel.**

PALABRAS CLAVES: Paleoclimatología, Formación Bucaramanga, Miembro Órganos, litofacies, Paleosuelos.

DESCRIPCIÓN:

Los procesos sedimentarios y los depósitos generados en una cuenca están estrechamente controlados por cambios en el nivel base, actividad tectónica y las condiciones climáticas que prevalecieron en el sistema de depositación. Hasta ahora el énfasis en la aplicación de la sedimentología es en interpretar las condiciones tectónicas y eustáticas prevalecientes durante la depositación. Se propone enfocar el estudio de la sedimentología hacia la interpretación de los controles climáticos, Éste último factor cumple un papel predominante al momento de la depositación del material ya que bajo el régimen climático que predomine se define la composición química de los depósitos como paleosuelos lixiviados, costras de caliche, paleosuelos ferruginosos, calizas, dolomitas, evaporitas, o el carácter clástico del depósito

En la presente tesis se investigó y se definió el ambiente de depositación del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga para posteriormente establecer los regímenes climáticos predominantes al momento de su depositación.

De acuerdo con los resultados encontrados en esta investigación, de litología, en cuanto a composición, textura, estructura y materia orgánica encontrada, fue posible la identificación de 7 litofacies y 7 ciclos paleoclimáticos sobresalientes y básicas, estas se presentan de manera repetitiva, interpretándose que son asociaciones de facies cíclicas que son posibles encontrar dentro de la unidad sedimentaria.

* Proyecto de Grado

** Facultad: Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: M. Sc. Víctor Manuel Caballero Ortíz.

ABSTRACT

TITLE: Registered climatic evolution and stratigraphy of the Organos Member, Bucaramanga Formation.*

AUTHORS: LIMA, Maria Camila; MEDINA, Josué Daniel.**

KEYWORDS: Paleoclimatology, Bucaramanga Formation, Organos Member, Lithofacies, Paleosoils.

DESCRIPTION

Sedimentary processes and deposits generated on a basin are tightly controlled by changes in the base level, tectonic activity and weather conditions that prevailed in the deposition system. Nowadays the emphasis on the application of sedimentology is to interpret the eustatic and tectonic conditions during deposition. Intends to approach the study of the sedimentology to the interpretation of climate controls, this latter factor plays a dominant role at the time of deposition of the material because under the climate regime predominant chemical composition of the deposits is defined as paleosols leachate, caliche crusts, ferruginous paleosols, limestones, dolomites, evaporites, or clastic reservoir character

In this thesis was investigated and defined the depositional environment of Órganos Member, Bucaramanga Formation and subsequently establish the prevailing climatic regimes during deposition time.

According to the results found in this investigation, lithology, texture, structure and organic matter found, it was possible the identification of 7 lithofacies and 7 paleoclimatic cycles outstanding and basic, these are presented in a repetitive manner, interpreting that They are cyclic facies associations that are possible to find within the sedimentary unit.

* Work Grade.

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director M. Sc. Victor Manuel Caballero Ortiz.

INTRODUCCIÓN

La Formación Bucaramanga es un depósito sedimentario de edad Cuaternaria cuya morfología es característica a un abanico aluvial erosionado asociado en gran manera al río Suratá, acumulado sobre el graben producto de la actividad tectónica de la Falla de Bucaramanga – Santa Marta y la Falla del Suárez. Sobre la Formación Bucaramanga se desarrolla un drenaje dendrítico subparalelo cuyas quebradas afluentes son tributarias principalmente del Río de Oro.

Basándose en la morfología del abanico, la granulometría, los agentes de transporte inferidos y la petrología de los clastos, se evidencia que la unidad fue acumulada en un ambiente típicamente fluvial dentro del cual hay alternancias de origen aluvial tales como los conos de deyección, flujos de escombros, canal y lagunar¹.

Trabajos recientes y de diversos autores proponen que la Formación Bucaramanga está conformada por cinco miembros, de base a techo identificados como: Calcáreo, Órganos, Finos, Gravoso y Limos Rojos; Hubach (1952) y Niño y Vargas (1992). Debido a que estratigráficamente no se han podido definir claramente los límites superior e inferior del miembro Calcáreo y no se registra una continuidad lateral evidente del mismo, en el presente trabajo se toma al miembro Calcáreo como el primer ciclo paleoclimático dentro del miembro Órganos.

El proyecto de grado se realiza bajo la modalidad de Trabajo de Investigación con el propósito de definir ciclos paleoclimáticos para el miembro Órganos, proporcionando así información hasta ahora inexistente de los regímenes climáticos predominantes al momento de la depositación del mismo.

¹ INGEOMINAS. Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. Bogotá. INGEOMINAS, 2001. p. 19.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Definir el ambiente de depositación del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga y establecer los regímenes climáticos predominantes al momento de su depositación.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamiento y descripción sedimentológica detallada del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.
- Identificar las facies y sucesiones de facies que permitan interpretar los ambientes de depositación del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.
- Identificar unidades litológicas en el depósito cuya composición química pueda indicar control climático (paleosuelos, depósitos de turba, carbón, costras).
- Describir los ciclos paleoclimáticos registrados en el miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las diversas características litológicas encontradas en el miembro Órganos de la Formación Bucaramanga suponen varios ciclos paleoclimáticos registrados, razón por la cual es de interés del presente Proyecto de Grado describir las condiciones de depositación del sedimento que hace parte del miembro mencionado anteriormente y definir sus regímenes climáticos.

2.1 JUSTIFICACIÓN

Los procesos sedimentarios y el material depositado en una cuenca están estrechamente controlados por cambios en el nivel base, actividad tectónica y por las condiciones climáticas que prevalecieron en el sistema de depositación. Hasta ahora el énfasis en la aplicación de la sedimentología es el de interpretar las condiciones tectónicas y eustáticas dentro del sistema de depositación, se propone enfocar el estudio de la sedimentología hacia la interpretación de los controles climáticos, ya que este último factor cumple un papel predominante al momento de la depositación del material, puesto que según el régimen climático define la composición química de los depósitos tales como: paleosuelos lixiviados, costras de caliche, paleosuelos ferruginosos, calizas, dolomitas, evaporitas, turba o el carácter clástico del depósito.

Se espera con el presente proyecto proponer un modelo evolutivo del clima para el período de depositación del miembro Órganos perteneciente a la Formación Bucaramanga.

3 LOCALIZACIÓN

La Formación Bucaramanga geográficamente se encuentra al oriente de Colombia, ubicada en todo el centro de las planchas 109-IV-C, 109-IV-D, 120-II-A Y 120-II-B, a escala 1:100000, según cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

El área de estudio está comprendida entre las coordenadas N: 1'273.000 a N: 1'280.000 y E: 1'100.000 a E: 1'107.000

Figura 1. Localización geográfica del depósito cuaternario Abanico de Bucaramanga



.Fuente: Tomada y modificada de Google Earth.

4 ANTECEDENTES

La Formación Bucaramanga es un importante depósito sedimentario de edad Cuaternaria. Variados autores proponen que morfológicamente corresponde a un abanico aluvial erosionado, posiblemente asociado en su mayor parte al río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico, sobre el cual se encuentra ubicado el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y Occidente con el cerro de Palonegro y el río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2° y 7 ° y una extensión aproximada de 60 a 80 kilómetros cuadrados².

En su trabajo, De Porta (1958) dividió a los depósitos pertenecientes a la Terraza de Bucaramanga en tres segmentos: a) Un primer nivel con algo más de 150 metros de espesor , conformado principalmente por gravas con lentes arenosos intercalados; b) un segundo nivel con un espesor variable entre los 10 y 18 metros, compuesto por material arcilloso; c) finalmente un nivel de 8 a 15 metros de espesor en el tope dela secuencia constituido por fragmentos angulares gruesos y finos arenosos dispuestos al azar.

Julivert (1963) definió la Terraza de Bucaramanga como el depósito cuaternario más importante que existe en la ciudad homónima a la misma. La terraza de Bucaramanga, se trata de una gran terraza derivada de la excavación de un espeso y amplio relleno fluvial que ocupaba el área comprendida entre la plataforma de Lebrija al W y NW, el macizo de Santander al NE y la Mesa de Ruitoque al SE. El área así delimitada tiene una forma de tipo romboidal, con una prolongación hacia el S, por la región de Chocó; su extensión es de unos 130 Km².

Esta extensa masa de aluviones se encuentra en la actualidad fragmentada disecada. El río de Oro, que es el curso más importante, discurre a la falla que forma el límite con la plataforma de Lebrija, y muy próximo a ella (por consiguiente la terraza se desarrolla en su totalidad al E del río de Oro). Así pues, de E a W se pueden distinguir tres franjas paralelas; la primera entre el Macizo de Santander y la plataforma de Lebrija, está constituida por la plataforma de la terraza con una anchura de hasta 3 Km; su borde tiene

² Ibid., p. 22.

un trazado fuertemente digitado en el plano debido a la erosión de las quebradas afluentes del río de Oro que procedentes del Macizo de Santander, cruzan toda la terraza; es el mayor retazo de la terraza conservado y de asiento a la ciudad y que recibe el nombre de Meseta de Bucaramanga. La segunda está formada por un talud que desciende hasta el río de Oro, su anchura puede llegar a tener de 3 Km; es una región esencialmente de erosión en bad-lands; la anchura de este talud de la terraza es una consecuencia del gran espesor que tiene el depósito que constituye la terraza (unos 250-300 m). Finalmente, al W del río de Oro hay una estrecha franja donde si bien se conserva algo de material fluvial de la terraza, su morfología está determinada por los depósitos correspondientes al complejo rubificado³.

Niño y Vargas (1992) dividen la Formación Bucaramanga en cinco niveles, de base a techo son: a) Segmento Calcáreo: compuesto por lodos y lodos arenosos compactos, gravas arenosas y arenolodas con fragmentos calcáreos; b) Segmento Órganos: compuesto por gravas matriz-soportadas y grano soportadas lodoarenosas, dispuestas en capas gruesas; c) Segmento Finos de Bucaramanga: compuesta por arenas arcillosas, arcillas arenosas y gravas subangulares a subredondeadas de esfericidad media; d) Segmento Gravoso: predominan las gravas arenolodas subredondeadas y lodoarenosas; por último e) Segmento de Limos Rojos: nivel de arcilla gravoso, caracterizado por grandes bloques angulares de baja esfericidad.

Ingeominas (2001) define la Formación Bucaramanga como un depósito detrítico de edad cuaternaria formada por bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, mezclados en proporciones variables, provenientes en su mayor parte por la acción denudatoria sobre las rocas del Macizo de Santander, cuya diferenciación estratigráfica de base a techo viene dada así: i) Miembro Órganos (Qbo), ii) Miembro Finos (Qbf), iii) Miembro Gravoso (Qbg) y, finalmente, iv) Miembro Limos Rojos (Qblr). Debido a que el miembro Calcáreo definido por Niño y Vargas (1992) no presenta límites estratigráficos claros que permitan separarlo del Órganos, no presenta distribución lateral y se observa en forma de lentes locales en la Quebrada La Picha; se toma al denominado miembro Calcáreo como parte del miembro Órganos⁴.

³ JULIVERT, M. Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de las estructuras. Boletín de geología, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1963.

⁴ INGEOMINAS, Op. cit., p. 19.

5 METODOLOGÍA

5.1 FASE DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En esta etapa se hacen apreciaciones de las fotografías aéreas pertenecientes a Bucaramanga y su Área Metropolitana así como la revisión bibliográfica que involucra la geología de la Terraza de Bucaramanga y la determinación de caracteres paleoclimáticos a partir de los cuerpos rocosos. La información de artículos científicos, libros, monografías, tesis, mapas, se relaciona en el capítulo 14.

5.2 FASE DE CAMPO

Comprende el reconocimiento de la zona, identificación del sitio para el levantamiento de columnas estratigráficas y toma de muestras (descripción detallada del tamaño de grano, calibrado, imbricaciones, disposición de los clastos, estructuras y litología predominante). Las imágenes se encuentran relacionadas en el capítulo 9.

Levantamiento de la columna estratigráfica: Se levanta por bastoneo la columna estratigráfica en la cual se relaciona la información litológica obtenida junto con descripciones del afloramiento.

Fueron levantadas las columnas estratigráficas en los siguientes lugares: Kilómetro 5,5 Anillo Vial Floridablanca – Girón (Petroco S.A.) y Kilómetro 7 Anillo Vial Floridablanca-Girón (Automundial).

5.3 FASE DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

- a) **Descripción macroscópica de las muestras:** Para la descripción de rocas terrígenas se utilizó la clasificación de Folk (1974) y la tabla de tamaño de grano de Wentworth.

- b) **Informe final:** Concatenando las observaciones obtenidas en la fase de campo y los análisis de laboratorio se realiza un documento final en el cual se compilan los resultados obtenidos.

6 MARCO GEOLÓGICO

6.1 Estratigrafía

La Formación Bucaramanga está dividida en cuatro miembros, de base a techo los siguientes:

-Miembro Órganos (Qbo): Definido por Hubach (1952). Aflora en las laderas y escarpes de la parte occidental de la Meseta de Bucaramanga y el Área Metropolitana, en los alrededores del municipio de Girón, anillo vial, en las estribaciones de la parte norte de la mesa de Ruitoque y en los cortes de la carretera que comunica la población de Girón con la ciudad de Bucaramanga. Los mejores afloramientos donde se puede observar casi toda la secuencia se presentan en una extensa área sobre el escarpe occidental del Abanico de Bucaramanga.

Hubach (1952) describe los niveles de aspecto “conglomerático” como cuerpos que conforman depósitos de guijas y gujarros, débilmente consolidados, clastosoportados (60%) y granosoportados (40%), dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de 1 metro de diámetro. Estos se componen en su mayoría de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción de fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neis micáceo de color amarillo a rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Todos los fragmentos tienen formas redondeadas a sub redondeadas, esfericidad baja a media y mala selección. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa, pardo amarillenta, con algunas variaciones a gris amarillento.

Los niveles finos corresponden a arcillas arenosas y arenas arcillosas compactas, de consistencia firme, ligeramente micáceas, con trazas de materia orgánica. Su origen se relaciona con depósitos cíclicos intercanales. El mayor espesor de los niveles limo arenosos se presentan hacia la base, lo que explica periodos más largos de retrabajamiento, bajo un régimen fluvial constante. El predominio de lentes hacia la parte superior y los contactos irregulares podrían indicar periodos de erosión por corrientes intermitentes (Bueno y Solarte, 1994).

El espesor estimado está entre 250 y 300 metros y el ambiente de depositación de este miembro se relaciona con flujos de escombros y flujos torrenciales, e interdigitación de facies de corrientes de canal, correspondiendo a la parte proximal y media del Abanico de Bucaramanga. La edad del Miembro Órganos podría abarcar el Pleistoceno medio⁵.

-Miembro Finos (Qbf): Éste nivel fue reconocido y definido por Hubach (1952). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano paralelos. Es una extensa capa lenticular horizontal, más o menos continua, de unos 15 m de espesor promedio, donde alternan niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos, de colores gris verdosos.

La geometría de sus niveles es tabular a lenticular, con espesores que oscilan entre 5 y 40 cm, de estratificación plana paralela, cruzada y ondulosa.

El ambiente de depositación de este miembro es de depósitos de ambiente aluvial de intercanales poco profundo, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujo de escombros de facies arenosas⁶.

-Miembro Gravoso (Qbg): Definido por Niño y Vargas (1992). Su espesor varía entre 8 y 30 m; presenta niveles gravosos, gravoarenosos y gravolodosos. Los cantos son, en su mayor parte, tamaño grava de diámetro promedio 15 cm y bloques de roca, en menor cantidad, hasta de 0,8 m de diámetro, subangulares a subredondeados, en matriz areno-arcillo-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido; en general el depósito es matriz soportado, aunque localmente se presenta clasto soportado. El contacto inferior con el miembro Finos es neto, continuo y suavemente ondulado y el contacto superior con el miembro Limos rojos es gradacional.

Las guijas están compuestas en su mayor parte por rocas metamórficas-ígneas del Macizo de Santander, y areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas de las Formaciones Girón y Jordán. La matriz, por su parte, es de composición cuarzo-feldespática micácea (cuarzo, plagioclasa, láminas de muscovita), de consistencia media y de baja cohesión⁷.

⁵ Ibid., p. 22

⁶ Ibid., p. 24

⁷ Ibid., p. 25

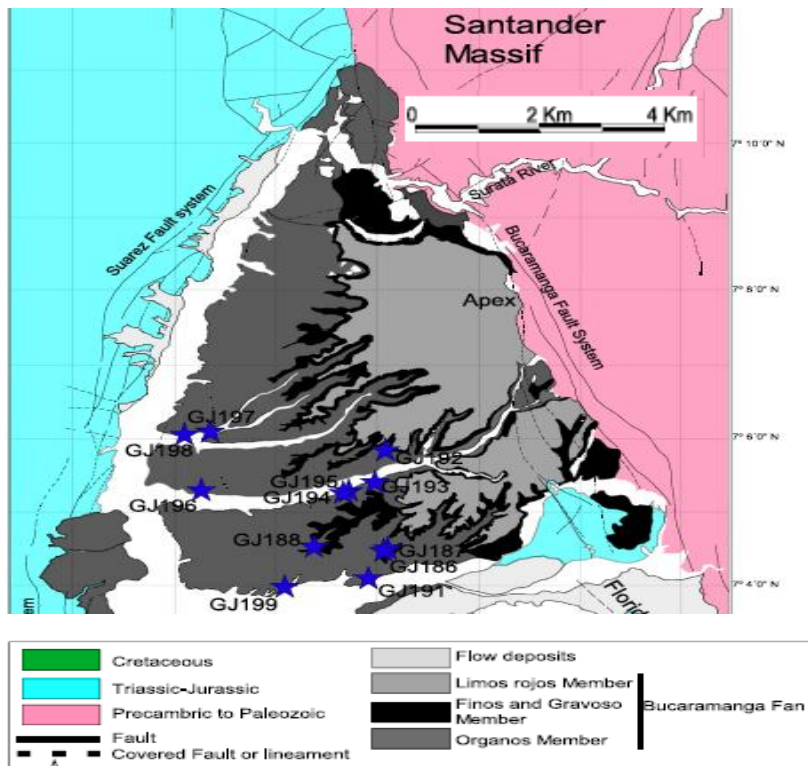
-Miembro Limos Rojos (Qblr): Nivel definido por Julivert (1963). Este miembro se localiza en el sector urbanizado de Bucaramanga, aunque no en forma uniforme y se continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.

Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve semiplano y pendientes entre 2 y 7%; el drenaje es escaso paralelo y superficial.

Está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. Se observó la presencia esporádica de bloques angulares de arenisca asociados superficialmente a este miembro; estos cantos pueden estar embebidos dentro de limos rojos y se caracterizan por estar meteorizados.

Suprayace al segmento gravoso y su contacto con éste es gradacional. El ambiente de depositación indica un dominio de flujo de lodos combinados con caídas de bloques de la pendiente del macizo⁸.

Figura 2. Mapa geológico de la Terraza de Bucaramanga



Fuente: (Escala 1:25000, modificado de Ingeominas, 2001b.). Tomado de (Jiménez, G., 2015).

⁸ Ibid., p. 26

6.2 Tectónica

La Formación Bucaramanga está altamente influenciada por la dinámica del Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta y el Sistema de Fallas del Suárez.

-Falla de Bucaramanga – Santa Marta: Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas.

Es considerada un sistema de fallas de rumbo (CAMPBELL, 1965; LEON, 1991; VARGAS y NIÑO 1992; CLAVIJO, et al., 1993; CLAVIJO, 1994a), con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz, et al. (1969, 1974) en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, según Julivert (1958, 1961), Ward, et al. (1973), París y Sarria (1988), Royero (1994), que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento.

La Formación Bucaramanga limita al occidente con la Falla de Bucaramanga-Santa Marta, razón por la cual se ha evidenciado un movimiento sinistral lateral de aproximadamente 2.5 Km de distancia desde la boca del Río Suratá hacia el ápice del abanico de la Formación Bucaramanga.

La historia geológica de la Falla Bucaramanga- Santa Marta es bastante compleja y en cuanto a la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al Neis de Bucaramanga; es decir, se encuentra cortado por esta falla en los sectores entre Río de Oro (Cesar) y El Carmen (Norte de Santander) dentro de la Plancha 76, Ocaña (DACONTE y SALINAS, 1980). Boinet, et al. (1989) considera que durante el Cretácico inferior hasta el Paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla; además los mismos autores, señalan que la importancia de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento de rumbo sinistral, el cual ocurrió a partir del Mioceno superior, simultáneamente con la Orogenia Andina.

En el territorio del Departamento de Santander se han encontrado evidencias de actividad neotectónica (lineamiento, facetas triangulares, lomos de ganchos, drenajes adaptados, laguna de falla, lomo de obturación) de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, especialmente

en la Meseta de Bucaramanga (donde afecta los niveles inferiores de la secuencia estratigráfica) de edad Plioceno-Pleistoceno, según Julivert (1963), París y Sarria (1988), León (1992), Vargas y Niño (1992), Reyes y Barbosa (1993).

-Falla del Suárez: Esta falla se extiende por una longitud de unos 120 km desde Barbosa al sur hasta la Falla de Bucaramanga-Santa Marta 5 km al norte de la capital santandereana; su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y Río de Oro. Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante. París y Sarria (1988) calculan una velocidad de desplazamiento vertical de 0,1 mm/año; además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral. El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2.300 m (WARD, et al., 1973).

La Formación Bucaramanga está limitada al occidente por la Falla del Suárez la cual tiene un desplazamiento sinistral y actividad cuaternaria (París et al., 2000; Ingeominas, 2001) que termina hacia el norte de la ciudad contra la Falla de Bucaramanga-Santa Marta.

La Falla del Suárez yuxtapone estratos del Jurásico y Cretácico contra la Formación Bucaramanga. Localmente, la Formación Bucaramanga está plegada con capas verticales a sobrepuestas por el efecto de la Falla del Suárez.

La Falla del Suárez, al occidente del pueblo de Girón afecta capas de la Formación Girón, las cuales se pliegan por arrastre, alcanzando posiciones verticales y en algunos casos invertidas.

En cercanías de la falla se observa un fuerte fracturamiento y un alto grado de meteorización de las rocas hasta el punto de llegarse a confundir con depósitos cuaternarios (JULIVERT, 1963). Esta falla a lo largo de su trayecto afecta rocas jurásicas y cretácicas, principalmente de las formaciones Jordán, Girón, Los Santos (Tambor), Rosa Blanca, Paja y cerca de su terminación en la Falla Bucaramanga-Santa Marta, afecta rocas del Paleozoico como son las formaciones Floresta y Diamante. Existen evidencias de campo que indican actividad tectónica reciente para esta falla (JULIVERT, 1963; WARD, et al., 1973; PARIS y SARRIA, 1988).

-Sistema de Fallas Transversales: En la confluencia de los ríos de Oro y Suratá se presenta una falla afectada por el movimiento sinistral de la Falla del Suárez, tiene dirección

7 MARCO TEÓRICO

7.1 Definición de conceptos básicos

-Abanicos aluviales: Cuerpo sedimentario en forma cónica que se extiende justo al frente de los macizos montañosos debido a la expansión del flujo o a la disminución de la pendiente topográfica.

-Acomodación del sedimento: Cantidad de espacio que está disponible para ser llenado con sedimento, se mide por la distancia entre el nivel base y la superficie deposicional (Jervey, 1988).

-Asociación de facies: Grupos de facies genéticamente relacionadas con otras las cuales tienen un significado ambiental (Collinson, 1969). El entendimiento de las asociaciones de facies es un elemento crítico para la reconstrucción de ambientes paleodeposicionales.

-Ciclotemas: Sucesiones estratigráficas repetitivas de ambientes marinos o continentales que son indicadoras de regímenes deposicionales cíclicos.

-Controles allogénicos: Factores alocíclicos (tectónica, eustasia, clima) que determinan el flujo de energía del ambiente sedimentario pero que regulan el suministro del sedimento de manera externa a la cuenca.

-Controles autigénicos: Procesos que controlan la tendencia de sedimentación desde dentro de la cuenca (avulsión, flujos laminares o turbulentos).

-Facies: Una combinación particular de litología, estructuras y atributos texturales que definen las diferentes características de otros cuerpos de roca (Walker, 1992). Las facies están controladas por procesos sedimentarios que operan en áreas particulares de un ambiente deposicional.

-Nivel base: El nivel que alcanza un río en su desembocadura y constituye la superficie en la cual se crea un equilibrio entre la depositación y la erosión (Posamentier y Allen, 1999; Cross, 1991).

-Pedología: Ciencia que trata sobre el estudio, morfología, génesis y clasificación de los suelos (Bates y Jackson, 1987). La formación de los suelos se refiere a las transformaciones

físicas, químicas y biológicas que afectan los sedimentos y rocas expuestas en condiciones subaéreas (Kraus, 1999).

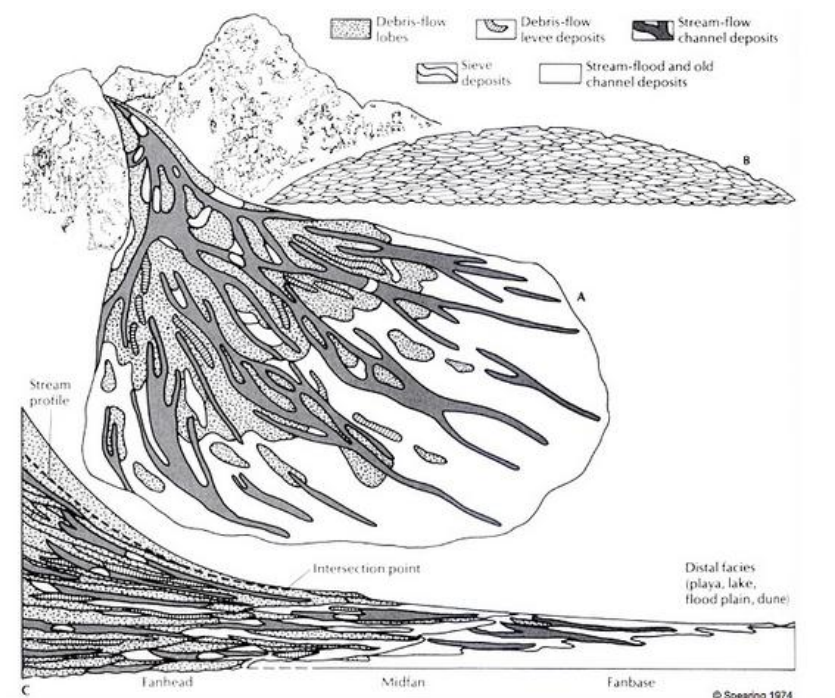
-Secuencia: Una sucesión relativamente conforme de estratos relacionados genéticamente limitados por inconformidades o sus conformidades relativas (Mitchum, 1977).

-Sistemas deposicionales: Ensamblajes tridimensionales de litofacies, genéticamente relacionadas por activos (modernos) o inferidos (antiguos) procesos y ambientes (Fisher y McGowan, 1967, en Van Wagoner, 1995).

7.2 Abanicos aluviales

Los abanicos aluviales son cuerpos sedimentarios constituidos por clastos de tamaño de grano grueso, tienen por lo general pendientes que van desde los 16° hasta 1.5° de inclinación, disminuyendo el gradiente progresivamente a medida que se va acercando a la cuenca.

Figura 4. Esquema generalizado de un abanico aluvial.



Fuente: Tomado de <http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/09.html>.

Los terrenos donde el sedimento grueso está más cercano o proximal al área fuente y cuyo agente de transporte principal es el agua constituye el ambiente típico de los abanicos aluviales. Dichos depósitos tienen forma de cono invertido, donde el gradiente más fuerte pertenece a los distributarios que están cortando un cañón (o protocañón) y se va suavizando a manera que va llegando al nivel base; cuando los distributarios han alcanzado el nivel base pierden capacidad (carga total de sedimento transportado por unidad de tiempo) y competencia (tamaño más grande de grano que es transportado por el drenaje).

Los abanicos aluviales siempre se desarrollan cerca del frente montañoso, muy cerca del área fuente de sedimento, lo que usualmente refleja un levantamiento tectónico reciente. Los abanicos aluviales sirven como indicadores de qué porciones de macizo adyacente quedó expuesto durante determinado tiempo dentro del registro geológico.

Los abanicos aluviales se encuentran muy cercanos a los cinturones montañosos, están generalmente restringidos en área -típicamente no se extienden más de 10 kilómetros del área fuente- y se caracterizan por tener los siguientes tipos de depósito:

-Flujo de escombros: Ocurre cuando el tamaño de grano predominante transportado por el distributario corresponde a cantos y guijas. Dicho transporte ocurre en masa y de manera rápida es depositado dentro de la cuenca como *paraconglomerados* pobremente estratificados.

Los flujos de escombros en planta se observan como lóbulos, mientras que en sección transversal se muestran tabulares y con espesor constante.

Figura 5. Flujo de escombros.



Fuente: Tomado de <http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/09.html>

-Flujo de lodos: El distributario está saturado en material particulado muy fino, tales como arcillas, lodos y están siendo transportados a tasas de velocidad muy altas (cerca de 10Km/h). Forman lóbulos estrechos de sedimentos matrizsoportados.

Figura 6. Flujo de lodos



. Fuente: Tomado de <http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/09.html>

-Sheet Flow: El agua superficial no está confinada en un canal del distributario, y se mueve a través de la pendiente moderada de la superficie. En regiones áridas, dicho transporte se da por efecto de fuertes precipitaciones estacionales.

A pesar de que Los canales trenzados pueden atravesar la superficie del abanico, éstos están generalmente secos. Cuando el flujo ocurre durante las inundaciones, éste rápidamente se acumula por encima de los canales y fluye sobre la superficie del abanico como un *sheet flow*.

Los depósitos *sheet flow* están generalmente estratificados y bien seleccionados, poseen *ripples* y canales¹⁰.

Figura 7. Sheet flow.



Fuente: Tomado de <http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/09.html>

-Sieve Deposits: Obedecen a procesos de flujos de escombros o derrumbes secos. Los espacios dejados por los clastos completamente angulares luego son rellenados por infiltración de otro material más fino¹¹.

Figura 8. Sieve deposit,



Fuente: Lara et al, 2011

¹⁰ Harvey, A., Mather, A., Stokes, M., 2005. Alluvial fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics. Geological Society Special Publication No 252. The Geological Society. London.

¹¹ University of Maryland. Terrestrial sedimentary environments | [en línea] <<http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/09.html>> [citado en 28 de mayo de 2015]

7.3 Depósitos fluviales

Los sedimentos fluviales son depositados por la actividad de los ríos y son altamente diferenciables en muchos aspectos que no pueden ser caracterizados en un modelo de facies sencillo. Buena parte de la variabilidad presentada ocurre debido a los diferentes tipos de ríos que se presentan en la naturaleza -los cuales pueden categorizarse en cuatro tipos discretos: recto, anastomosado, meándrico y trenzado arenoso.

Schumm y Khan (1972) han demostrado que el incremento en la pendiente del valle genera canales que adoptan patrones para que los ríos cambien de recto a meandrico y finalmente trenzados.

Los ríos anastomosados poseen islas aluviales que favorecen la densa vegetación y estabiliza los bancos del cauce; los ríos trenzados se caracterizan por descargas largas y una alta tasa de suministro de sedimento grueso y erosionable, con bancos no cohesivos. Los ríos rectos son caracterizados por tener canales sencillos con bancos estables. Los ríos meandricos se componen de una serie de lazos con áreas de depositación (point bar) dentro de cada lóbulo.

En una escala más pequeña, los depósitos fluviales comúnmente están asociados lateralmente con abanicos aluviales, sedimentos eólicos, lacustres, de pantano, y deltaico.

Los ríos trenzados son lateralmente inestables debido a que la llanura de inundación es más delgada, menos cohesiva y más erosionable que otros ríos. Los ríos trenzados también tienen altos picos de descarga en áreas de pendiente más empinada, la cual incrementa su poder de erosión.

Los ríos meandricos son generalmente más estables que los ríos trenzados debido a que ellos tienen vegetación más densa, llanura de inundación más cohesiva cuyos sedimentos son más difíciles de erosionar, esto se da en áreas de pendiente más baja.

Los depósitos de ríos anastomosados tienen islas semipermanentes dividiendo el flujo y desarrollo de la llanura de inundación y áreas de pantanos. Los canales de sedimentos consisten en gravas de grano muy grueso pero las islas aluviales y llanuras de inundación están compuestas de limos y materiales más finos.

El carácter distintivo del estilo fluvial anastomosado fue establecido por D .G. Smith y N. D. Smith (1 980) y D.G. Smith (1983). Este tipo de ríos por lo general se caracterizan por presentar gradientes bajos y de baja potencia en la corriente. La migración de canal lateral es mínima, y las llanuras de inundación, por tanto, falta de barras de desplazamiento y lagos. Los Canales tienden a aislarse, limitada en la mayoría de los lugares por los depósitos de llanuras de inundación. Como se trata normalmente de grano fino, bancos de canales suelen ser coherente y con caras empinadas. La evolución de canal toma la forma de grieta, y el desarrollo de canales con grietas estables, que pueden reunirse a un canal principal aguas abajo y desviar el flujo del canal desde que se ha ramificado. Estas características de los ríos anastomosados se aplica tanto en climas húmedos y como en áridos. Las llanuras de inundación se caracterizan por lodos que pueden contener depósitos de carbones, calcretas o evaporitas, dependiendo del clima. Canales de grieta se ensancha y típicamente forman cuerpos complejos con capas de arenisca cortadas por numerosas superficies de erosión interna¹².

7.3.1 Rasgos distintivos de los conglomerados

Existe un espectro en la naturaleza entre los conglomerados que son (1) bimodales (clastos, matriz), bien seleccionados y clastosoportados; y (2) polimodales, mal seleccionados y matrizsoportados.

El término estructura se refiere a la disposición en una roca de los diversos componentes, e incluye el empaque y la orientación de las partículas clásticas en rocas sedimentarias. La Orientación bien desarrollada en conglomerados sugiere fuertemente que clastos individuales se han movido libremente con respecto a la otra, y han asumido una orientación impuesta por el mecanismo de flujo. Esta orientación se puede observando la extensión del grano y la sección vertical paralelo de flujo (imbricación).

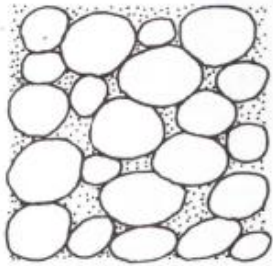
Conglomerados sin una orientación clástica implican procesos de deposición y transporte en el que los clastos son menos libres de moverse uno respecto al otro, y por lo tanto son incapaces de responder individualmente a las tensiones de fluidos¹³.

¹² Miall, Andrew. 1980. Cyclicality and the facies model concept in fluvial deposits. Bulletin of Canadian Petroleum Geology. Vol 28, Pp. 59-80.

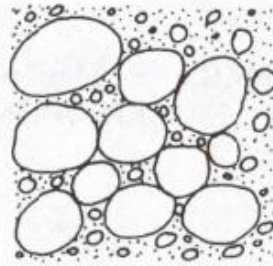
¹³ _____, 2012. Conglomerate, emphasizing fluvial and alluvial fan environments. The society of Economic Paleontologists and Mineralogists.

Figura 9. Características descriptivas de los conglomerados

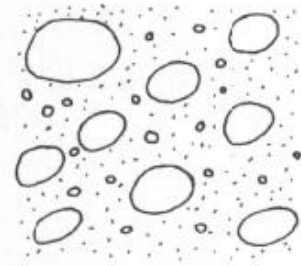
FABRICA



Clastosoportado
Bimodal
Matriz bien seleccionada

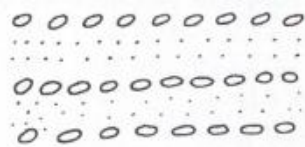


Clastosoportado
Polimodal
Matriz mal seleccionada

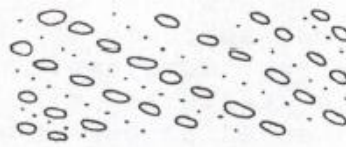


Matrizsoportado
Polimodal

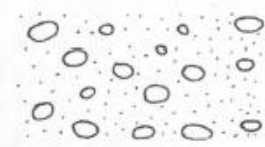
ESTRATIFICACIÓN



Horizontal

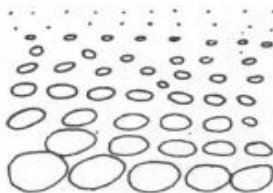


Inclinada

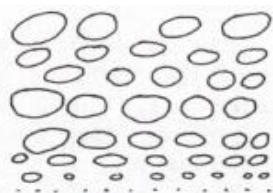


Indiferenciada

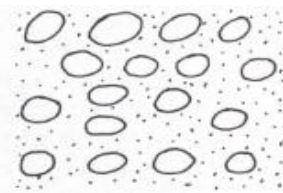
CLASIFICACIÓN



Normal



Inversa



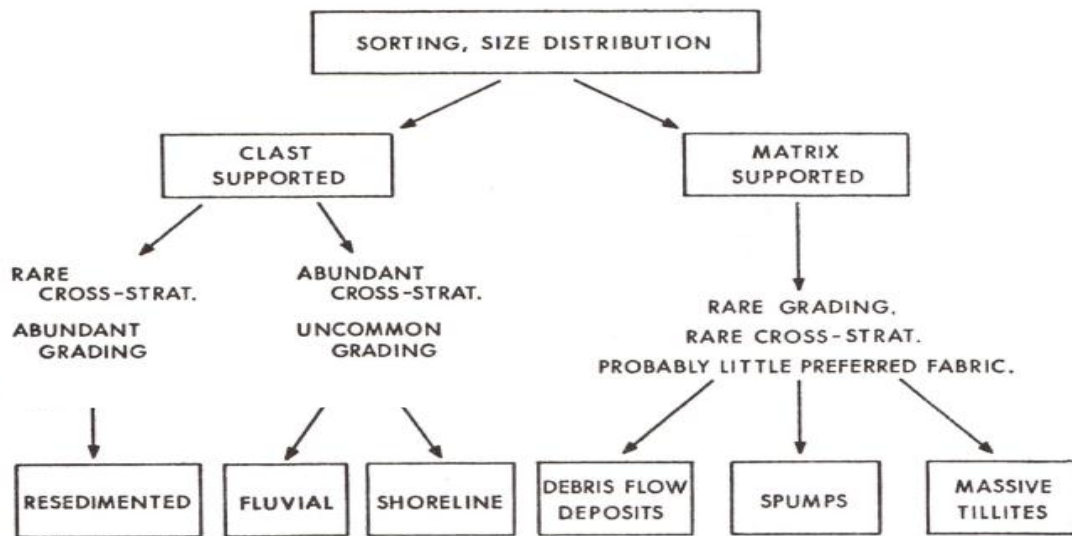
Indiferenciada

Fuente: Harms et al., 1975.

7.3.2 Asociaciones comunes de características descriptivas

Varias combinaciones sugieren diferentes procesos y entornos. Los Conglomerados resedimentados se han discutido en detalle por Walker (1975a, b; 1977) y Krause y Oldershaw (1979); gravas del litoral han sido descritos por Dobkins y Folk (1970) y antiguas playas y de conglomerados marinos marginales han sido discutidos por Clifton (1981).

Figura 10. Características comunes asociadas a conglomerados.



Fuente: Harms et al., 1975.

La mayoría de las gravas fluviales son clastosoportadas, excepcionalmente gradual pero con estratificación cruzada abundantemente. En detalle, varias facies de gravas pueden ser reconocidas - asociadas con facies arenosas que constituyen la base para los estudios descriptivos de grava fluvial. Las facies se propusieron por primera vez por Miall (1977) y modificados por Miall (1978) y Rust (1978). Las facies de grava son relativamente simples, y se subdividen por estructuras sedimentarias primarias, especialmente:

1. estratificación cruzada ordinaria a (t) b (i) con imbricación (Gm),
2. estratificación cruzada de canal (Gt)
3. estratificación cruzada planar (Gp)

4 . sin estructuras sedimentarias, matrizsoportado (Gms)¹⁴

Figura 11. Litofacies y estructuras sedimentarias en depósitos de ríos

Facies Code	Lithofacies	Sedimentary structures	Interpretation
Gms	massive, matrix supported gravel	none	debris flow deposits
Gm	massive or crudely bedded gravel	horizontal bedding, imbrication	longitudinal bars, lag deposits, sieve deposits
Gt	gravel, stratified	trough crossbeds	minor channel fills
Gp	gravel, stratified	planar crossbeds	linguoid bars or deltaic growths from older bar remnants
St	sand, medium to v. coarse, may be pebbly	solitary (theta) or grouped (pi) trough crossbeds	dunes (lower flow regime)
Sp	sand, medium to v. coarse, may be pebbly	solitary (alpha) or grouped (omikron) planar crossbeds	linguoid, transverse bars, sand waves (lower flow regime)
Sr	sand, very fine to coarse	ripple marks of all types	ripples (lower flow regime)
Sh	sand, very fine to very coarse, may be pebbly	horizontal lamination, parting or streaming lineation	planar bed flow (l. and u. flow regime)
Sl	sand, fine	low angle (< 10°) crossbeds	scour fills, crevasse splays, antidunes
Se	erosional scours with intraclasts	crude crossbedding	scour fills
Ss	sand, fine to coarse, may be pebbly	broad, shallow scours including eta cross-stratification	scour fills
Sse, She, Spe	sand	analogous to Ss, Sh, Sp	eolian deposits
Fl	sand, silt, mud	fine lamination, very small ripples	overbank or waning flood deposits
Fsc	silt, mud	laminated to massive	backswamp deposits
Fcf	mud	massive, with freshwater molluscs	backswamp pond deposits
Fm	mud, silt	massive, desiccation cracks	overbank or drape deposits
Fr	silt, mud	rootlets	seatearth
C	coal, carbonaceous mud	plants, mud films	swamp deposits
P	carbonate	pedogenic features	soil

Fuente: Tomado y Modificado de Miall, 1977, Tabla III) (Miall, 1978).

¹⁴ Miall, A., 1996. The geology of fluvial deposits. Primera Edición. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

7.4 Controles alogénicos en la sedimentación.

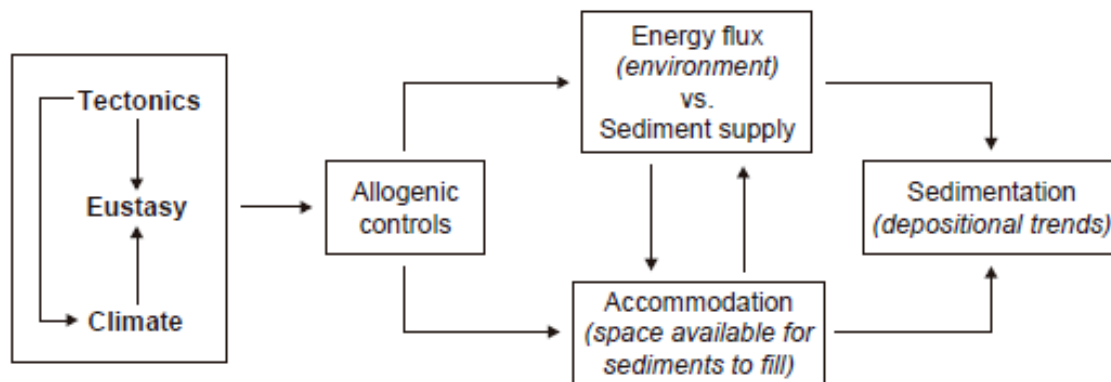
La sedimentación está generalmente controlada por una combinación de procesos autigénico y alogénicos, los cuales determinan la distribución de los elementos deposicionales dentro del sistema, así como los patrones de depositación a gran escala dentro de la cuenca sedimentaria.

Los procesos autigénicos son particularmente importantes en un sistema de escala subdeposicional, y son comúnmente estudiados utilizando técnicas de sedimentología convencional y análisis de facies. De otra parte, Los procesos alogénicos son directamente relevantes dentro de una secuencia estratigráfica como agentes controladores de la arquitectura del relleno de la cuenca pero a gran escala.

Los controles alogénicos básicos en la sedimentación incluyen el clima, la tectónica y la eustasia y sus relaciones con el flujo de energía, suplemento del sedimento, acomodación y tendencias de depositación.

Si bien es cierto que los controles alogénicos son relativamente externos a la cuenca, cabe destacar que no necesariamente deben ser independientes el uno de los otros (Figura 10).

Figura 12. Controles alogénicos en la sedimentación y sus relaciones con el flujo de energía, suministro de sedimento, acomodación y tendencias de depositación.



Fuente: Tomado y Modificado de Catuneanu, 2003.

La tectónica es un control común en cualquier cuenca sedimentaria y sus manifestaciones ocurren de la siguiente manera:

- 1- Geometría de la secuencia sedimentaria debido a la subsidencia diferencial.
- 2- Acumulación de las facies de tamaño de grano más grueso a lo largo del borde de la cuenca en relación al levantamiento de las áreas que sirven como fuente del sedimento.
- 3- Variaciones en las profundidades de máximo enterramiento de la cuenca.
- 4- Cambios en las pendientes topográficas sindeposicionales.
- 5- Cambios en la inclinación topográfica.

El suministro de sedimento es una variable importante en el análisis de la secuencia estratigráfica y se refiere a la cantidad (o flujo) y tipo (tamaño de grano) de sedimento que es suministrado desde las áreas fuente hasta las áreas deposicionales por los diversos agentes de transporte, incluyendo la gravedad, agua y viento.

El suministro del sedimento es principalmente producto del tectonismo y del clima. Un clima más húmedo incrementa la cantidad de suplemento del sedimento, aumentando así el intemperismo y la erosión. La capacidad de los agentes de transporte puede también incrementarse bajo condiciones climáticas más húmedas (descargas más grandes de los ríos) y como resultado del incremento de la pendiente debido a la inclinación tectónica. En adición a los controles ejercidos por el clima (tasas de precipitación, fluctuaciones de la temperatura) y tectonismo del área fuente, la litología del substrato y la cobertura vegetal del área fuente del sedimento también influyen el tamaño de grano del material transportado por los ríos o el viento (Blum, 1990; Einsele, 1992; Miall, 1996)¹⁵.

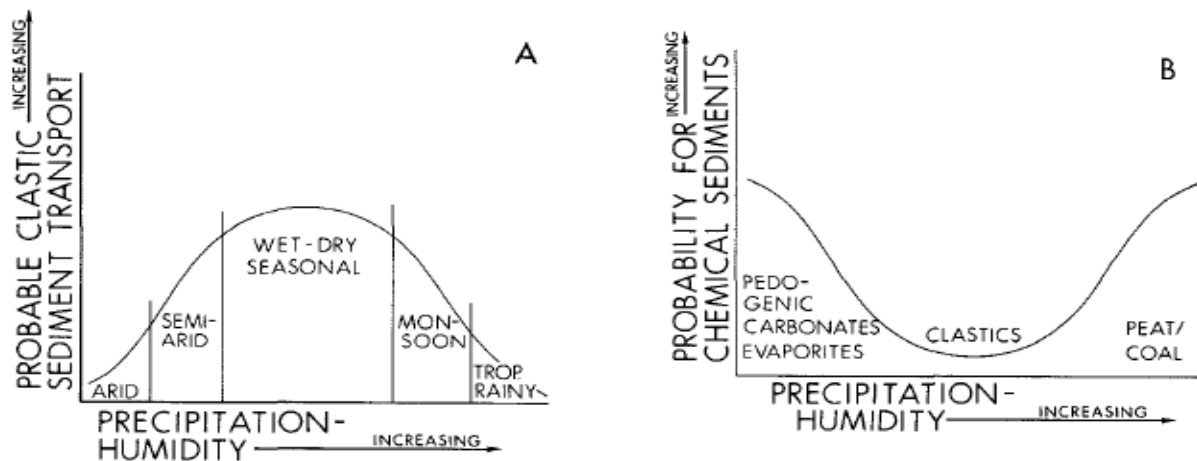
7.5 Controles Paleoclimáticos en repeticiones estratigráficas de rocas químicas y siliciclásticas

El clima es un control primario en el flujo de sedimentos desde fuentes continentales hasta sistemas sedimentarios (Cecil, 1990). En climas cálidos, la entrada de material siliciclástico es mayor bajo condiciones de altas precipitaciones estacionales mientras que las condiciones no estacionales favorecen la formación de rocas químicas; perennemente los climas húmedos llevan a la formación de carbón mientras que climas cálidos producen carbonatos y/o evaporitas.

¹⁵ CATUNEANU, Octavian. Principles of Sequence Stratigraphy. University of Alberta. Edmonton, Alberta, Canadá, 2006. P. 73-76.

Las repeticiones estratigráficas de rocas siliciclásticas y químicas están relacionadas con los ciclos Paleoclimáticos así como con eventos transgresivos-regresivos y tectónicos.

Figura 13. Respuestas sedimentarias al cambio del clima. A) Probabilidad para la entrada de material clástico en respuesta a climas húmedos. B) Condiciones para la formación de sedimentos químicos como respuesta al clima húmedo.



Fuente: Tomada de Blaine (1990).

Las condiciones ideales para la generación de carbón o turba ocurren bajo condiciones de relativa humedad donde la carga de rocas siliciclásticas y sedimentos disueltos es mínimo debido a la lixiviación de los suelos. En contraste las condiciones ideales para la entrada de material siliciclástico en una cuenca sedimentaria aparentemente se dan bajo precipitaciones estacionales. Si la lluvia se reduce aún más durante una temporada seca larga, la respuesta sedimentaria es reducir la erosión y transporte clástico e incrementar la formación de carbonatos pedogénicos y lacustres. Las temporadas extremadamente secas (condiciones de áridas y semiáridas) producen evaporitas y el potencial de clastos transportados por el agua se restringe a eventos de flujos catastrófico¹⁶.

¹⁶ BLAINE CECIL, C. Paleoclimate control on stratigraphic repetition of chemical and siliciclastic rocks. En: U.S Geological Survey, Reston, Virginia 22097 (Junio, 1990); p. 533-536

Figura 14. Respuesta a precipitaciones estacionales y no estacionales bajo temperaturas tropicales y subtropicales.

TABLE 1. RESPONSES TO NONSEASONAL AND SEASONAL RAINFALL UNDER TROPICAL AND SUBTROPICAL TEMPERATURES

Variable	Tropical Rainy	Long wet/short dry	Wet-dry	Semiarid	Arid
Rainfall	High, nonseasonal	Short dry season	Extreme seasonality	Short wet season	Arid
Vegetation	Rain forest	Forests	Grasslands	Steppes	Shrubs
Chemical weathering products and soils	Intense High-Al clays, quartz histosols, latosols	Intense to moderate; latosols, histosols	Moderate to restricted; vertisols, histosols?	Minimal; vertisols	Very low; aridisols
Annual erosion	Highly restricted	Restricted to moderate	Intense	Moderate to restricted	Restricted
Bed load	Very low	Low to moderate	Very high	Moderate	Very low
Suspended load	Very low	Low to moderate	Very high	Moderate	Very low
Dissolved load	Very low	Low to moderate	Moderate	High	Low
Continental sedimentary Response					
Siliciclastic input	Highly restricted	Restricted	Greatest	Moderate	Highly restricted
Chemical	Domed-peat deposits	Planar peat	Planar peat?	Carbonates	Evaporites

Note: Rainfall patterns and responses are gradational and highly variable.

Fuente: Tomada de Blaine (1990).

7.6 Contextos tectónicos y climáticos de la evolución de un abanico aluvial

En las áreas donde el desarrollo de los abanicos aluviales se ha llevado a cabo en un contexto de tectónica activa y un cambio climático importante, es más complejo definir el rol de cada agente en el desarrollo del abanico (Leeder *et al*, 1988; Dorn, 1994; Ritter *et al*, 1995; Harvey *et al*, 1999). Tales dificultades reflejan i) Ausencia de una historia tectónica y climática bien establecida (White *et al*, 1996; Pope, 2000); y ii) incertidumbre sobre las historias de depositación y erosivas de los abanicos aluviales debido a lo restringido del marco geológico (Harvey, 1990; White y Walden, 1994; Pope y Millington, 2000; Harvey *et al*, 2003).

La actividad tectónica en el levantamiento de los cuerpos montañosos crea y mantiene el relieve (Calvache *et al*, 1997) y parcialmente influencia a largo plazo la tasa de transferencia de sedimento al abanico aluvial. El levantamiento también produce los efectos de una gradual -pero continua en el tiempo- caída del nivel base de la erosión que,

dependiendo de la disponibilidad del sedimento y de la potencia de la corriente pueden potencialmente provocar una mayor incisión en el abanico (Harvey, 2002).

El fallamiento normal puede controlar la ubicación de abanicos individuales dentro del sistema influenciando la ubicación de los distributarios principales de la meseta (Blair y McPherson, 1994). En comparación, el fallamiento generado en el frente montañoso genera incisiones locales, especialmente en el ápice del abanico o en sus áreas más próximas (Beaty, 1962; Harvey, 2002), o modificar por completo el gradiente de las superficies proximales (Hooke, 1967; Harvey, 1990). En los casos más extremos, el fallamiento no solamente desplaza verticalmente las superficies de los abanicos, sino que también puede distorsionar o deformar el espesor de las secuencias depositadas (Leeder *et al*, 1988; Gerson *et al*, 1993).

El clima controla el sedimento y el suministro de agua dentro de los sistemas de drenaje de las tierras más altas, lo cual tiene implicaciones para la descarga en la tasa de arrastre de sedimento (Langbein y Schumm, 1958)¹⁷.

7.7 Calcretas

El término *calcretas* está dado a la acumulación terrestre cerca de la superficie predominantemente de carbonato de calcio, la cual se presenta en variadas formas, desde polvo hasta nodular, laminar y masivo. Esto se da como resultado del desplazamiento y reemplazamiento de carbonato de calcio dentro de los perfiles del suelo, sedimentos y cuerpos de roca, en áreas donde las aguas subterráneas someras están saturadas respecto al carbonato de calcio (Wright and Tucker, 1991; Goudie, 1973; Watts, 1980). La depositación del Carbonato de Calcio se lleva a cabo ya sea en suelos, niveles acuíferos por debajo del suelo, en la parte más alta de la zona capilar o incluso por debajo del nivel piezométrico (Bedeleian, 20014).

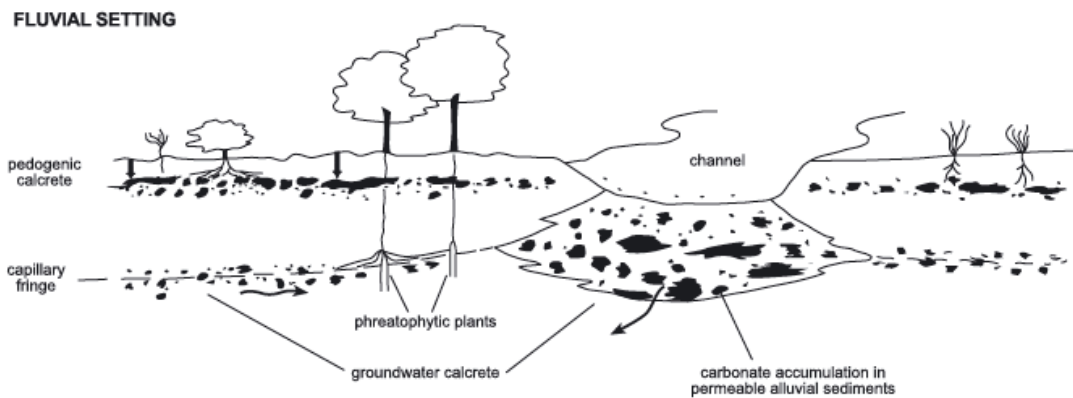
El término es sinónimo de *caliche*, el cual es usado de manera más amplia en Norteamérica.

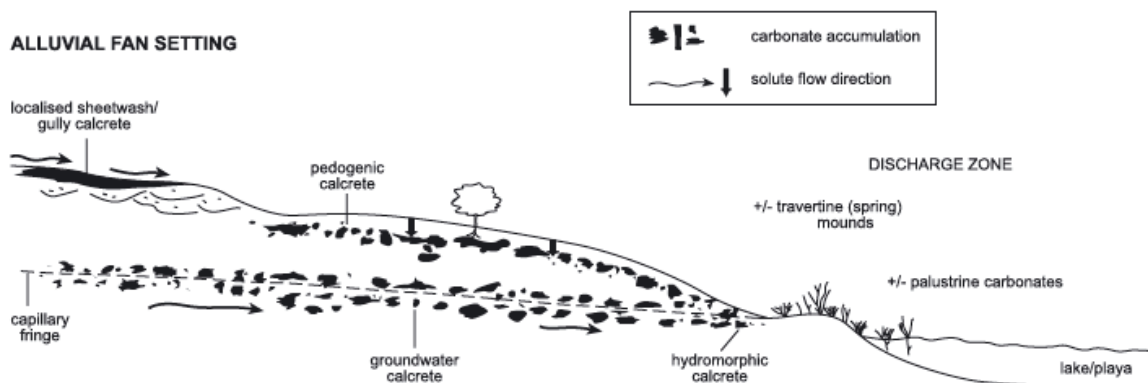
¹⁷ POPE, Richard; WILKINSON, Keith. Reconciling the roles of climate and tectonics in Late Quaternary fan development on the Spartan piedmont, Greece: Tectonic and climatic contexts of fan evolution. En: HARVEY, A. M *et al*. Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics. London, 2005. p. 133-134

Cuando el carbonato de calcio es introducido en una roca no carbonatada, su origen autigénico es claro, pero las calcretas también se pueden desarrollar en rocas y sedimentos carbonatados, incluyendo aquellos que se forman en los márgenes de los lagos, humedales estacionales y zonas de descarga de aguas subterráneas, las cuales crean un espectro de alta complejidad y relación (Tandon and Andrews, 2001; Alonso-Zarza, 2003).

Existe un común y erróneo concepto que las calcretas son completamente pedogénicas en su origen y discutiblemente el término puede estar ligado a tales ocurrencias, pero en algunas regiones áridas y semiáridas aparecen precipitaciones extensivas en la zona freática más somera, produciendo grandes cuerpos de carbonato autigénico con muchas características en común con las calcretas pedogénicas.

Figura 15. Desarrollo de una calcreta. En ambientes fluviales las calcretas pedogénicas pueden desarrollarse en terrazas y llanuras de inundación, mientras que las calcretas subterráneas se pueden formar en los depósitos de canal o alrededor de la franja capilar y sobre la zona freática donde haya mayor permeabilidad que en la llanura de inundación. En los abanicos aluviales, las calcretas se forman sobre el abanico mismo, con calcreta hidromórficas cerca de las zonas de descarga.





Fuente: Tomada de Wright (1990).

Yaalon (1988) ha estimado que los suelos cálcicos o con horizontes petrocálcicos cubren 20×10^6 km², cerca del 13% de la superficie terrestre. En el registro estratigráfico, las calcretas pedogénicas son comunes en muchas sucesiones de tierras secas (dryland) con formaciones individuales conteniendo decenas o centenas de paleosuelos (calcretas).

Los suelos cálcicos se desarrollan en suelos donde hay un déficit de humectación, de modo tal que el carbonato producido en las estaciones más secas no es lixiviado durante una estación más húmeda. La mayoría de las calcretas en la actualidad se forman en climas templados a cálidos (temperatura promedio anual de 16° a 20°C) y mínimas precipitaciones estacionales (100-500 mm; Goudie, 1983). El límite superior más probable Ocupa el rango de los 600-1000 mm (Mack and Janes, 1994). Royer (1999) ha sugerido luego de una base de datos de 1481 estudios, que los suelos carbonatados se correlacionan con una precipitación promedio anual inferior a los 760 mm.

Las calcretas pedogénicas asociadas con terrazas aluviales están relativamente bien documentadas y pueden exhibir patrones de distribución reflejando el clima o cambios relativos en el nivel base. La variabilidad espacial del desarrollo de calcretas pedogénicas en una terraza aluvial finalmente refleja las variaciones en el tiempo de residencia del *solum* en la zona de acumulación de los carbonatos y el tamaño de las partículas del sedimento.

Las aguas subterráneas y las calcretas pedogénicas comparten muchas similitudes en cuantos a los tipos de morfología que exhiben, pero los horizontes pisolíticos y prismáticos aparentemente están ausentes. Las plantas freatofíticas, capaces de alcanzar muchos

metros e incluso decenas de metros bajo la superficie terrestre, pueden producir horizontes rizocrecionarios e incluso horizontes de sólo raíces en los perfiles (Semeniuk and Meagher, 1981). Las calcretas pisolíticas generalmente aparecen sobre las calcretas laminares pero pueden formar horizontes sobre un metro de espesor en la base de las pendientes, donde los pisoides han crecido durante los movimientos pendiente abajo. El equivalente oolítico (inferior a los 2 mm de diámetro) también tiene asociación prominente con las raíces¹⁸.

7.7.1 Tipos de calcretas.

Tabla 1. Tipos morfológicos de horizontes de calcretas.

TIPO DE CALCRETA	CARACTERÍSTICAS
Suelo calcáreo	Suelo Pobremente cementado o no cementado con pequeñas acumulaciones de carbonato como láminas o granos, manchas de carbonato en polvo incluyendo calcita acicular, carbonato rellenando fracturas o pequeños nódulos.
Suelo calcificado	Suelo Friable a firmemente cementado con nódulos dispersos. 10-50% de carbonato.
Calcáreo o en polvo	Polvo suelto fino de carbonato de calcio como cuerpo continuo con poco o ningún desarrollo de nódulos, que consiste en micrita o microsparita con granos alternos de silicatos, raíces, peloides y características de hongos. Comúnmente es una zona de transición entre el suelo calcáreo y un horizonte nodular.
Pedotubular o Rizocrecionario	Todo o casi todo el carbonato secundario aparece como encrustaciones de raíces o calcificaciones, o como madrigueras, teniendo un predominante desarrollo de estructuras verticales.

¹⁸ WRIGHT, Paul. Calcrete. En: NASH, David; McLAREN, Sue. Geochemical Sediments and Landscapes. Chapter 2. Singapore, 2007. p. 10-37

Nodular	<p>Término sinónimo de <i>glaebular</i> y se refiere a concreciones duras o suaves de carbonato, o como material cementado. Las márgenes pueden ser gradacionales a finas, e internamente los nódulos pueden ser uniformes, mostrando laminación concéntrica o venas de septarias.</p> <p>Los nódulos pueden presentarse de manera esférica a elongada.</p> <p>Los nódulos típicamente consisten de micrita o –menos común- de microesparita. Las calcretas nodulares se desarrollan principalmente en rocas siliciclásticas.</p>
Panal	<p>Fusión parcial de nódulos con áreas más suaves intersticiales produciendo una arquitectura tipo panal.</p>
Moteado	<p>Equivalente a características de las calcretas tipo nodulares donde el sedimento huésped es carbonato.</p> <p>Consiste de moteados irregulares de carbonato micrítico que ha cementado y remplazado los granos originales de la roca huésped.</p>
Masivo	<p>Consiste de una capa petrocálcica, la cual esta laminada y típicamente se observa gradacional de base a techo dentro de una calcreta calcárea o nodular.</p> <p>Puede presentarse con geometría prismática. Tales capas pueden alcanzar espesores por encima de un metro en calcretas pedogénicas y muchos metros más en aguas subterráneas.</p>
Placas	<p>Consiste en láminas de pocos centímetros de espesor, hasta decenas de centímetros de diámetro, generalmente encontradas sobre capas calcáreas o masivas.</p> <p>Las capas pueden ser tabulares u onduladas.</p> <p>Algunas corresponden a fragmentos calcificados de raíces.</p>

	Se distingue de las calcretas laminares brechadas por la falta de fuertes laminaciones.
Laminar	<p>Consiste en hojas de carbonato laminado, en las cuales las láminas son de algunos milímetros de espesor. El término es sinónimo de 'costra calcárea' y en algunas ocasiones se observa con tonalidades oscuras.</p> <p>Comúnmente están por encima de los niveles masivos y pueden aparecer también junto con capas calcáreas o dentro del suelo o sedimento huésped. Dichas láminas pueden estar interestratificadas con calcretas pisolíticas de unos cuantos centímetros de espesor.</p> <p>La mayoría de las láminas tienen tan solo unos centímetros de espesor aunque algunas pueden llegar a paquetes de hasta dos metros.</p> <p>Este tipo de calcreta es fuertemente poligenética por naturaleza.</p>
Fibrosa	<p>Estrechamente relacionada con calcretas laminares pero no en todas las ocasiones se distinguen bien laminadas.</p> <p>Éstas son hojas de carbonato, usualmente de pocos centímetros de espesor, de forma subvertical a subhorizontal, que penetran dentro de la roca huésped roca en carbonato y se familiariza con las raíces de las plantas.</p> <p>Dichas láminas pueden aparecer de manera sencilla o en niveles múltiples y con orientación variada, extendiéndose por metros y pueden superponerse una sobre otra.</p>
Pisolítica	Granos de algunos centímetros o milímetros en capas de algunos centímetros de espesor pero que pueden alcanzar espesores más sobresalientes

	<p>hacia la base de las pendientes. Pueden desarrollarse en diversos tipos de litologías pero son más comunes en niveles granulares. Las láminas generalmente son de micrita con gradación inversa. Comúnmente se desarrollan sobre las calcretas laminares.</p>
Brechada o conglomerática	<p>Niveles masivos interrumpidos y fracturados debido a procesos mecánicos de las raíces y de los árboles.</p>

Fuente: Tomado de Notterberg, 1967, 1980; Goudie, 1983; Esteban and Kappla, 1983; Wright, 1994; Alonso-Zarza, 2003.

Figura 16. Nivel de calcreta masiva en el área de Las Cruces, Nuevo México.



Fuente: Tomado de Nash and Mc Laren, 2007.

Figura 17. Horizonte de calcreta pisolítica en depósitos cuaternarios de la Bahía de Fisherman, Sur de Australia.



Fuente: Tomado de Nash and Mc Laren, 2007

Figura 18. Calcreta laminar (flecha) sobrepuesta por una capa oolítica-pisolítica asociada a un nivel de raíces calcificadas, suelo del Holoceno, área de La Mora, Tarragona, Noreste de España



Fuente: Calvete y Julia, 1983. Tomado de Nash and Mc Laren, 2007).

Figura 19. Perfil de calcreta masiva sobrepuesto por un nivel pisolítico y brechado con una prominente capa de raíces calcificadas (flecha), área San Miguel Salinas, Torrevieja, Alicante, Sureste de España



.Fuente: Nash and Mc Laren, 2007.

7.7.2 Mecanismos de formación de calcretas pedogénicas

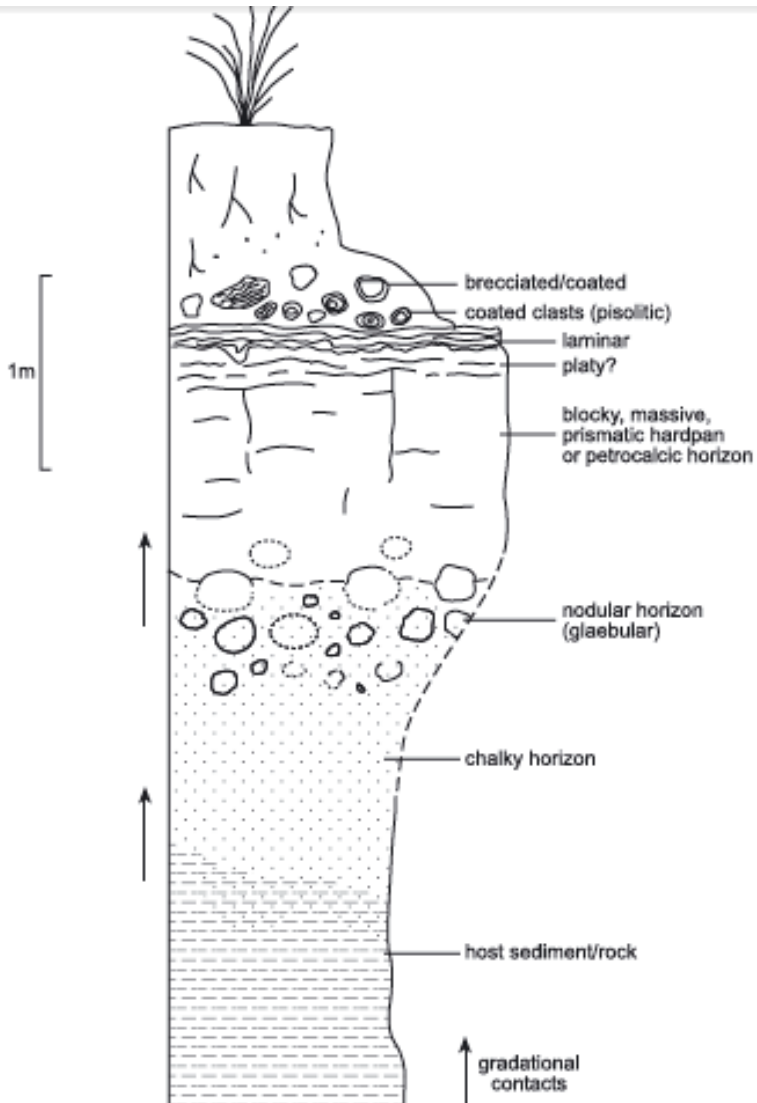
El hecho de que el enriquecimiento de carbonatos en los suelos esté tan extendido, incluso en suelos no desarrollados sobre materiales parentales de carbonato, es una prueba clara de que hay fuentes para el carbonato. El peso de la evidencia es que las calcretas pedogénicas son el producto de concentraciones iluviales de carbonato de calcio (el modelo *'per descensum'* de Goudie, 1983), donde el carbonato es transportado principalmente en una solución (o posiblemente de forma coloidal, Baghernajed y Dalrymple, 1993) desde las capas superiores del suelo hasta los niveles más inferiores.

Las fuentes de carbonatos son variadas (Goudie, 1973, 1983), y además cualquier fuente litogénica local, incluyendo lluvias, aguas de escorrentía, polvo e inclusive fauna y flora calcárea (Cailleau et al, 2004; Garvie, 2004). La principal fuente pedogénica en áreas áridas y semiáridas debe ser la atmósfera, en forma de polvo y lluvia (Monger y Gallegos, 2000). En el área de Las Cruces en Nuevo México, el promedio de entrada reciente de Ca expresado como CaCO_3 es de $1.9 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, de esto, solamente 0.3 está directamente como CaCO_3 en polvo, 0.1 como Ca^{+2} soluble en polvo y 1,5 de Ca^{+2} expresado como CaCO_3 en lluvias (Monger y Gallegos, 2000). La fijación de Ca^{+2} en el suelo debe ser complementada e influenciada por la vegetación, directa e indirectamente, Garvie (2004) ha estimado que en áreas del suroccidente de los Estados Unidos con una alta densidad

del cactus *saguaro*, hasta el $2,4 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ de calcita está indirectamente producido por el deterioro del cactus.

La precipitación del carbonato está desencadenada por un número de procesos (Wright y Tucker, 1991), incluyendo evaporación, evapotranspiración, y desgasificación, pero también los procesos biológicos juegan un rol fundamental¹⁹.

Figura 20. Perfil idealizado de una calcreta.



Fuente: Tomado de Alonso-Zarza et al (1998).

¹⁹ Ibid., p. 10-37

7.8 Ferricretas

El término ferricreta fue usado para describir conglomerados que fueron cementados por óxidos de hierro (Lamplugh, 1902) y para describir áreas de la superficie terrestre ricas en óxidos de hierro que se formaron por el emplazamiento de matriz argílica o argílica arenosa por oxihidróxidos de hierro (Maso, et al., 1959; Nahon, 1991).

Las Ferricretas o ferrocetas son un horizonte en la superficie terrestre hechas por la cementación de óxidos de hierro y siempre forman una dura costra con un espesor que está entre los 2 y los 20 centímetros que puede extenderse lateralmente por pocos metros e inclusive llegar a cubrir cientos de kilómetros cuadrados. Las ferrocetas se desarrollan bajo condiciones típicas de climas tropicales y subtropicales sobre rocas terrígenas con poco contenido inherente de hierro debido a la cementación de hierro alóctono.

Las Ferricretas no logran su alto contenido de hierro mediante el enriquecimiento residual, sino más bien a través de la entrada y acumulación absoluta de hierro alóctono en una roca huésped o perfil erosivo existente, es este patrón de enriquecimiento y el cambio físico asociado se le denomina como *alteración de perfil*. Elementos tales como el hierro, aluminio y algunos elementos traza pueden ser introducidos o redistribuidos debido a la evolución en la meteorización del perfil ya sea en solución o en forma de quelatos metálicos (iones unidos a compuestos orgánicos), los cuales pueden ser redepositados a niveles específicos dentro del perfil meteorizado por reacciones asociadas con variaciones en la química del agua, Eh, Ph, y fluctuaciones del nivel freático.

Figura 21. Perfil de ferricreta expuesto al sur de Palika, cerca del Río Gambia, Gambia, Occidente de África.



Fuente: Tomado de Widdowson, 2003.

Los perfiles de alteración de las ferrocretas incorporan materiales no alóctonos de las áreas cercanas a la formación de la costra. En ferrocretas derivadas mecánicamente, los materiales transportados pueden ser identificados rápidamente como clastos derivados de terrenos adyacentes o de generaciones más jóvenes de ferrocretas o lateritas. El término ferricreta también podría ser extendido a aquellos materiales cuyos constituyentes han sido sustancialmente aumentados por las precipitaciones o por la captura de elementos y compuestos de fluidos alóctonos²⁰.

7.9 Paleosuelos

Un suelo fósil o paleosuelo, como otros tipos de fósiles, corresponde a los restos de un suelo antiguo. Este puede haber sido enterrado por depósitos posteriores, o bien estado expuesto durante un amplio intervalo de tiempo sin ningún tipo de actividad pedogenética (Retallack, 2001). Generalmente los paleosuelos son suelos que se encuentran en desequilibrio con los factores formadores de suelo actuales, es decir son suelos desarrollados bajo condiciones diferentes a las del presente. Los suelos se forman debido a modificaciones físicas, químicas y biológicas de los materiales (sedimentos y

²⁰ Widdowson, M., 2003. Ferricrete. En Goudie, A. S., Encyclopedia of Geomorfology. Routledge. Vol 1. Pp. 365-367.

rocas) de la superficie terrestre. La formación de un suelo depende siempre de cinco factores denominados “factores formadores de suelo”, los cuales son:

-Material parental: El material mineral meteorizado a partir del cual se desarrolla un suelo se denomina *roca madre*. La naturaleza de la roca madre influye en el suelo de dos maneras. En primer lugar, el tipo de roca madre afectará a la velocidad de meteorización y, por ende, a la velocidad de formación del suelo. En segundo lugar, la composición química de la roca madre afectará la fertilidad del suelo. Esto influye en el carácter de la vegetación natural que el suelo puede sustentar. Antes se creía que el material parental era el factor principal que producía las diferencias entre los distintos tipos de suelo. Pero en realidad, es sabido que se pueden producir suelos similares a partir de rocas madres diferentes y que diferentes tipos de suelo se originan a partir de una misma roca madre.

-Clima: El clima se considera el factor más influyente en la formación del suelo. La temperatura y las precipitaciones son los elementos que ejercen el efecto más fuerte sobre la formación del suelo. Las variaciones de temperatura y de precipitaciones determinan si predominará la meteorización química o la mecánica y también influyen en gran medida en la velocidad y profundidad de la meteorización. Un clima cálido y húmedo puede producir una potente capa de suelo meteorizado químicamente; a su vez, un clima frío y seco produce una fina capa de derrubios meteorizados físicamente. Por su parte, la cantidad de precipitaciones influye sobre el grado de lixiviación de los diversos materiales del suelo, afectando con ello a su fertilidad. Por último, las condiciones climáticas a su vez condicionan el tipo de vida animal y vegetal presente en el suelo.

-Topografía: La pendiente del terreno puede variar en gran medida en cortas distancias. Esas variaciones, a su vez, pueden inducir al desarrollo de suelos localizados de acuerdo al tipo de pendiente. En pendientes pronunciadas, los suelos poseen poco desarrollo, debido a que la infiltración de agua es muy poca. Como consecuencia, el contenido de humedad del suelo puede no ser suficiente para el crecimiento de las plantas. En contraste, los suelos desarrollados en las tierras bajas tienen un carácter muy diferente. Estos suelen ser suelos espesos y oscuros. El color oscuro se debe a la gran cantidad de materia orgánica que se acumula, ya que las condiciones saturadas retrasan la descomposición vegetal. El terreno óptimo para el desarrollo de un suelo es una superficie plana a ligeramente ondulada en zonas altas, ya que se encuentran buenas condiciones de drenaje, erosión mínima e infiltración suficiente de agua en el suelo.

-Organismos: Las plantas y los animales desempeñan un papel vital en la formación del suelo. Los tipos y la abundancia de organismos presentes tienen una fuerte influencia sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo. Las plantas y los animales proporcionan materia orgánica al suelo. Ciertos suelos anegados están compuestos casi exclusivamente de materia orgánica, mientras que los suelos de desierto pueden contener cantidades de tan sólo 1%. La fuente principal de materia orgánica del suelo es la vegetal, aunque también contribuyen los animales y un número infinito de microorganismos. Por consiguiente, la fertilidad del suelo está relacionada en parte con la cantidad de materia orgánica presente. El producto final de la materia orgánica se denomina *humus*, un material que ya no se parece a las plantas ni a los animales a partir de los cuales se formó.

-Tiempo: La naturaleza del suelo se ve muy influida por la duración de los procesos que han estado actuando. Si se ha producido edafogénesis durante un tiempo comparativamente corto, el carácter de la roca madre determina en gran medida las características del suelo. A medida que avanzan los procesos edáficos, la influencia de la roca madre sobre el suelo se ve eclipsada por los otros factores formadores de suelo, en especial el clima. No puede enumerarse la magnitud de tiempo necesaria para que evolucionen los diversos tipos de suelos, porque los procesos de formación de suelo actúan a velocidades variables bajo circunstancias diferentes. Sin embargo, a modo de regla, cuanto más tiempo ha estado formándose un suelo, mayor es su espesor y menos se parece al material parental²¹.

²¹ Retallack, 2001.

8 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

8.1 Descripción de Facies

Durante el levantamiento de las columnas estratigráficas se identificaron 7 facies, basándose en la descripción textural, composicional, estructuras sedimentarias y registro de materia orgánica. (Anexo 1).

Las litofacies se presentan de manera alternada y repetitiva en todo el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, conformando asociaciones de facies cíclicas dentro de la unidad sedimentaria estudiada.

Tabla 2. Clasificación y descripción de litofacies en el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.

FACIE	DESCRIPCIÓN
Gm	Gravas clastosoportadas dispuestos de manera caótica con una estratificación ligera.
P	Carbonato pedogénico sin concreciones ni nódulos.
Fr	Arcillas con agrietamiento y varicoloreados en el moteado, presencia de raíces y bulbos.
Sh	Arenas masivas con presencia aleatoria de guijarros. Presencia de raíces y varicoloreado.
Gms	Gravas redondeadas matrizportadas. En algunos sectores gradación normal.
Gcm	Cantos en matriz gravosoportada, contacto tangencial.
Pf	Ferricreta.

Fuente: Tomado y Modificado de Miall (1978) y Miall (1996).

-Facies Gm: Descripción: Nivel clastosoportado de fragmentos líticos tamaño canto de areniscas, granitos, esquistos y lodolitas rojas de un diámetro mínimo de 1.2 centímetros y un diámetro máximo que oscila entre los 20cm y 30 centímetros, distribuidos caóticamente, sin imbricaciones, con una estratificación cruda, redondeados y subesféricos

Los cantos presentan contacto tangencial entre ellos y es nula la presencia de raíces fantasma o rastros de materia orgánica.

Figura 22. Facie clastosoportada con fragmentos líticos tamaño canto de granito, cuarzoareniscas, esquistos y lodolitas rojas (Flecha roja).



Figura 23. Cantos presentando contacto puntual entre ellos.



Figura 24. Estratificación ligera (cruda) en Facie Gm.



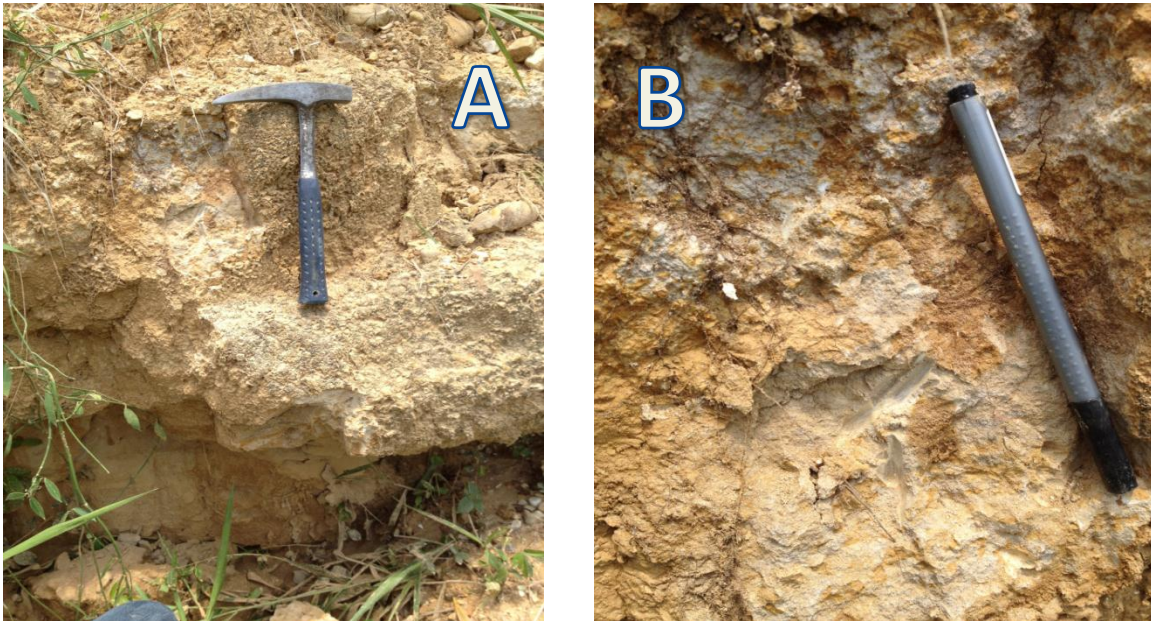
Figura 25. Cantos de esquisto, granito, cuarzoarenisca y limolita roja con desarrollo pronunciado de surcos (Flecha roja).



-Facie P. Descripción: Nivel masivo pobremente cementado de carbonato pedogénico con aproximadamente 1.1 metros de espesor, nula presencia de registro fósil, sin

concreciones ni nódulos, cuya coloración va de blanco crema a variaciones del anaranjado. Dentro del nivel de la calcreta no se observan rastros de calcita acicular, fibrosa o rellenando espacios.

Figura 26. Suelo calcáreo pedogénico. A) Calcreta dentro del segmento gravoso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, B) variaciones de blanco crema a anaranjado en la calcreta, no se aprecian rastros de raíces fijadas al sustrato.



-Facies Fr. Descripción: Nivel limoarenoso con un distinguible agrietamiento, característica que se da debido a la estructura tetraédrica de los filosilicatos cuya morfología presenta una elevada área superficial y una gran superficie activa permitiendo la interacción con diversos compuestos, ante los cuales las arcillas se comportan dilatándose en presencia saturada de líquido y contrayéndose ante la ausencia del fluido (Figura 28).

La roca fresca tiene un moteado varicoloreado en tonos rojizos-verdosos-naranjas (Figura 29) y presenta un sutil veneamiento negro, correspondiente a raíces fijadas en el sustrato (Figura 30).

Figura 27. Facie limoarenosa.

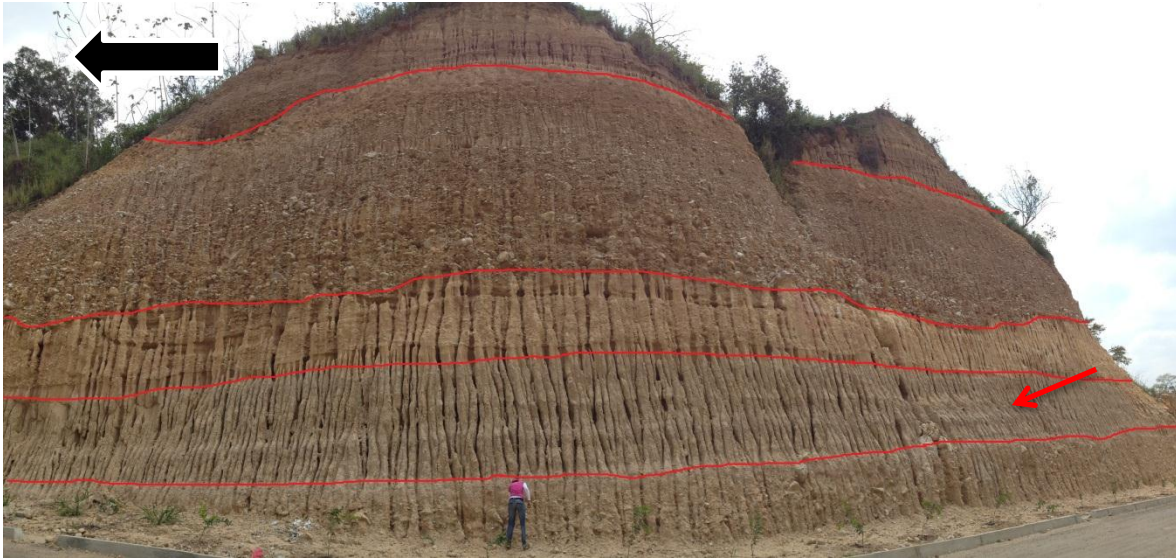


Figura 28. Facie Fr en el cual se evidencia el agrietamiento desarrollado debido a una constante contracción y dilatación de las arcillas en períodos secos y húmedos respectivamente.



Figura 29. Moteado varicoloreado de las arcillas en tonalidades rojizas-anaranjadas-verdosas.



Figura 30. Nivel lodoso con varicoloreado grisáceo-anaranjado y veneamiento negro de materia orgánica (raíces fijadas al sustrato).



Figura 31. Varicoloreado grisáceo-anaranjado y veneamiento negro producido por materia orgánica (raíces fijadas al sustrato),



Hacia el tope de las arcillas se presentan de manera aleatoria diversos clastos que ponen en contacto el nivel arcilloso con el arenoso. El inicio del ciclo arenoso presenta las mismas tonalidades del varicoloreado.

Dentro del contacto arcillas-arenas existe una característica bastante significativa y es la presencia de materiales orgánicos bulbosos (flora) de manera abundante; dichos bulbos no superan los 3 mm de diámetro y se encuentran distribuidos al azar dentro de una matriz lodosa varicoloreada en tonalidades verdosas-grisáceas.

Figura 32. Bulbos de raíces dispuestos al azar entre el contacto del nivel arcilloso con el arenoso.



Figura 33. Bulbos de raíces en el contacto arcilloso con el arenoso, infiriendo así la existencia de una zona con una vegetación considerable.



Hacia el tope de las arcillas que sostienen los bulbos se desarrolla una costra lodosa negra de pocos milímetros de espesor, no carbonatada, que se extiende lateralmente hasta perder continuidad aparentemente por efectos erosivos.

Figura 34. Costra lodosa no carbonatada al tope del nivel limoarenoso.

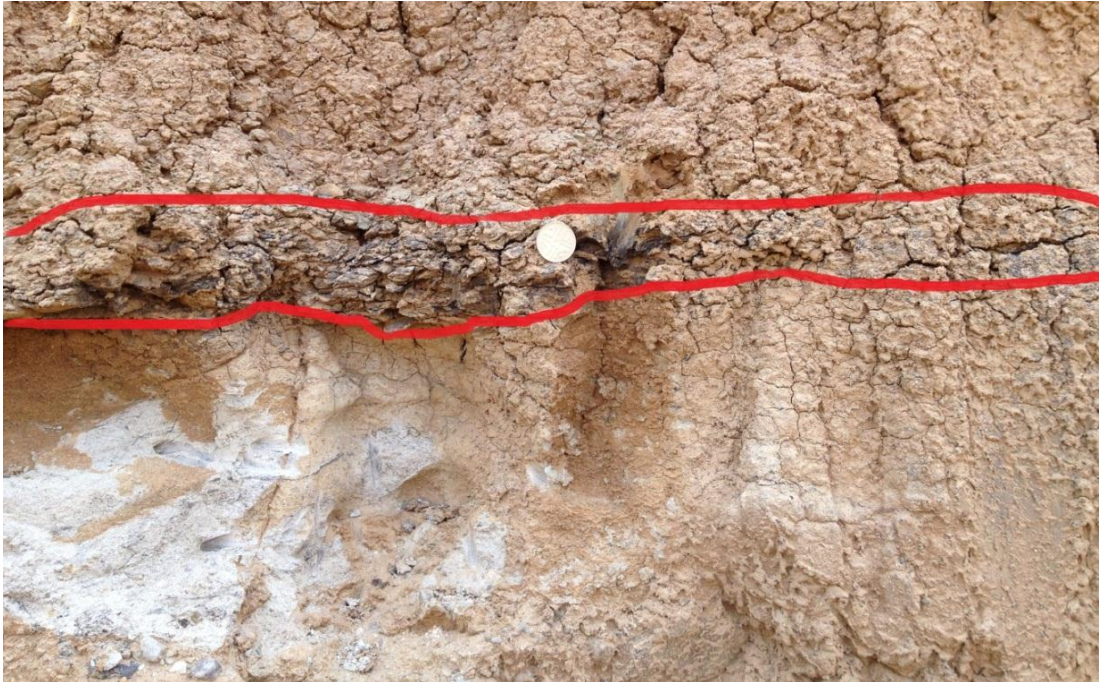


Figura 35. Costra lodosa orgánica (paleosuelo) al tope del nivel limoarenoso.



Figura 36. Costra lodosa no carbonatada al tope de la Facie Fr.



-Facies Sh. Descripción: Sobre la costra negra que marca el fin de la facie arenolimososa y en contacto erosivo se desarrolla un nivel arenoso en el cual de manera aleatoria hay presencia de guijarros sin imbricaciones, arenosoportados, con varicoloreado rojo-verdoso-grisáceo (predomina la coloración rojiza) y presencia de materia orgánica (rastros de raíces fijadas al sustrato).

Los guijarros no presentan contacto tangencial entre ellos y se disponen de manera caótica dentro de las arenas.

Figura 37. Rastro de materia orgánica –raíz fijada al sustrato- en la facie arenosa. Se observa la preponderancia rojiza en el cuerpo de roca.



Figura 38. Nivel arenoso con preponderancia en el moteado rojizo, indicando período de aridez.

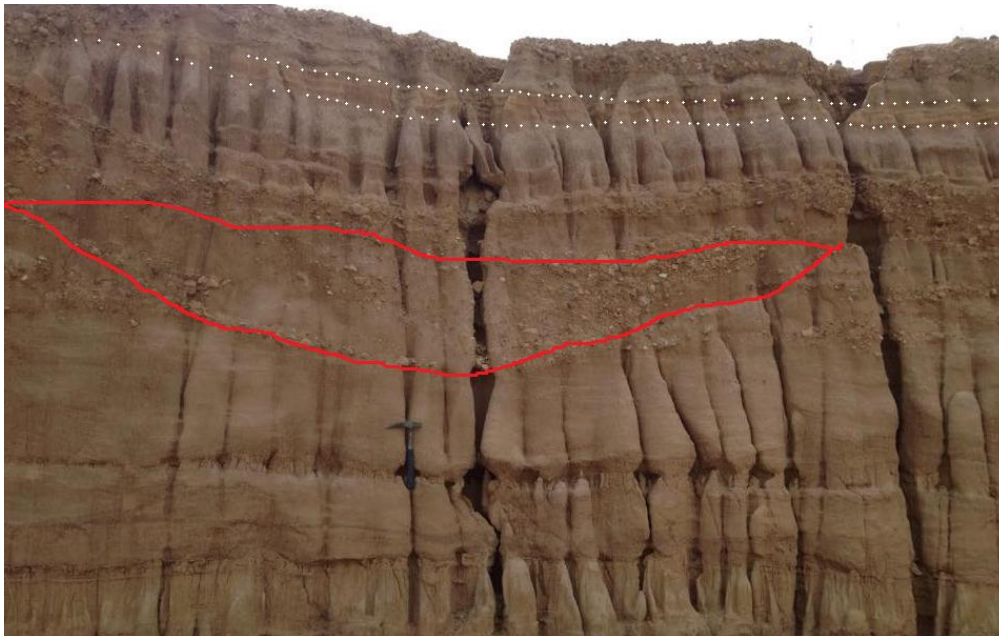


En áreas donde la meteorización no ha borrado características singenéticas, se observa con claridad la estratificación planoparalela y canales de gravas penetrando la las arenas.

Figura 39. Estratificación plano paralela de las arenas, Facie Sh.



Figura 40. Canal de gravas (Gm) entre arcillas (polígono rojo) que exhiben estratificación planoparalela (Sh) (líneas punteadas).



-Facies Gms. Descripción: Sobre las arenas y en contacto erosivo se encuentra un nivel de gravas arenosoportadas dispuestas caóticamente, cuya gradación es normal, con ligeros rastros de imbricaciones, con fragmentos líticos correspondientes a esquistos, cuarzoareniscas, limolitas rojas y cuarzo lechoso los cuales no presentan contacto tangencial entre ellos.

En esta facie son distinguibles los bloques con un diámetro aproximado de 40 centímetros, redondeados y subesféricos.

Figura 41. Facie gravosa arenosoportado.

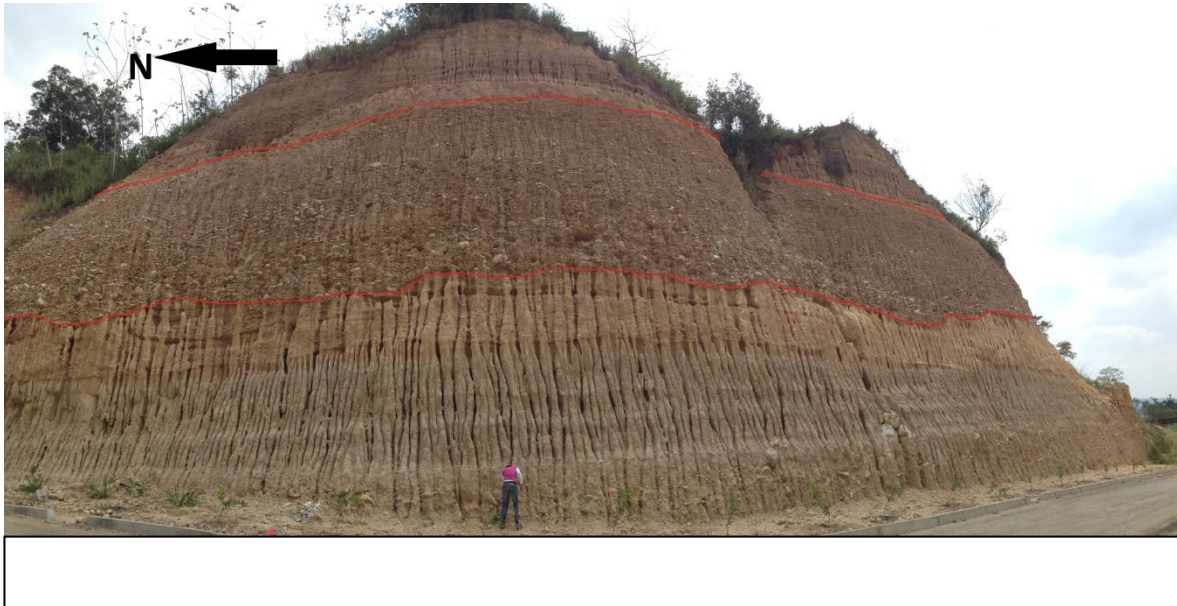


Figura 42. Contacto erosivo entre la Facie Arenosa (Sh) y la Facie de Arenas Matriz soportadas (Gms).



Figura 43. Imbricaciones de los clastos en la Facie Gms.



-Facie Gcm. Descripción: Sobre el ciclo gravoso lodosoportado y en contacto erosivo, se dispone un nivel gravosoportado con cantos de hasta 40 centímetros de diámetro que corresponden a esquistos, cuarzoareniscas, limolitas rojas y granitos, manteniendo contacto tangencial entre ellos, subredondeados, subesféricos, sin imbricaciones, dispuestos al azar y de manera caótica. La poca matriz que se tiene corresponde a lodos con coloración parda-rojiza.

No hay desarrollo de estructuras sedimentarias ni presencia de raíces fijadas al sustrato.

Figura 44. Nivel gravosoportado de bloques de esquisto, granito, cuarzoarenisca y lodolitas rojas manteniendo un contacto tangencial entre ellos.



Figura 45. Nivel gravosoportado, se observan los bloques subredondeados y subesféricos de esquisto, granito, cuarzoarenisca y lodolitas rojas manteniendo un contacto tangencial entre ellos.



-Facies Pf: Nivel masivo ferruginoso muy bien cementado con coloración anaranjado oscuro – ocre, sin concreciones, laminaciones ni nódulos, de aproximadamente 10

centímetros de espesor, en el cual no hay evidencia de materia orgánica ni impresiones de *raindrop*.

Figura 46. Ferricreta



Figura 47. Detalle de la ferricreta sobre la Facie Gms



Figura 48. Ferricreta infrayaciendo la Facie gravosa Gms



8.2 Asociaciones de facies

Para realizar las asociaciones de facies se tienen en cuenta las descripciones detalladas de cada Litofacie: litología, estructuras sedimentarias, presencia de materia orgánica, paleosuelos, geometría y arquitectura del nivel y finalmente el ambiente de depositación.

Cada Litofacie se asocia dentro de una facie de mayor orden jerárquico y se identifica nominalmente por su granulometría predominante.

Tabla 3. Asociaciones de facies en el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.

ASOCIACIÓN DE FACIE	LITOLOGÍA	MATERIA ORGÁNICA	GEOMETRÍA Y ARQUITECTURA
Gravas clastosoportadas -Gm	Gravas ligeramente imbricadas, subredondeadas y subesféricas de rocas cristalinas, cuarzoarenitas y lodolitas rojas.	No hay presencia de materia orgánica.	Distribución caótica con una pobre estratificación horizontal en un nivel masivo.
Carbonato pedogénico -P	Calcreta de coloración blanco-crema con violenta reacción al HCl.	No hay presencia de materia orgánica.	Masiva y tabular.
Arcillas masivas -Fr	Arcillas varicoloredas con desarrollo de surcos, presencia esporádica de cantos y guijarros. En algunos sectores se muestra el agrietamiento (contracción-dilatación) típico de las arcillas expansivas.	Presencia de raíces y bulbos negros fijados al sustrato.	Arcillas masivas con desarrollo de surcos.
Arenas con una cruda estratificación laminar -Sh	Arenas varicoloredas de grano fino a medio.	Presencia de raíces y bulbos negros fijados al sustrato.	Masivo y estratificación laminar. Algunos guijarros se encuentran al azar y sin contacto tangencial.
Gravas matriz-soportadas -Gms	Gravas arenosoportadas dispuestas de manera caótica, gradación normal y ligeros rastros de	No hay presencia de materia orgánica.	Distribución caótica en nivel tabular, clastos sin contacto tangencial entre ellos.

	imbricaciones.		
Gravosoportado -Gcm	Cantos dispuestos al azar, con contacto tangencial entre ellos y muy poca matriz.	No hay presencia de materia orgánica.	Distribución caótica en nivel tabular.
Ferricreta -Pf	Calcreta ferruginosa de coloración anaranjado- ocre-	No hay presencia de materia orgánica.	Masivo de poco espesor. No hay presencia de concreciones ni nódulos ferruginosos.

9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1 Análisis de las Facies

-Facies Gm. Interpretación: El hecho que existan fragmentos líticos tamaño guijarros y cantos presentando una ligera estratificación, sin imbricaciones, subredondeados y subesféricos, explica un eventual transporte por tracción Producto de lluvias estacionales.

-Facies P. Interpretación: Las calcretas o suelos calcáreos pedogénicos sirven para establecer condiciones paleoclimáticas asociadas a patrones de aridez; sumado a esto, La nula presencia de características botánicas (raíces) indican que durante la depositación del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga existió un intervalo de tiempo de completa aridez, en el cual las precipitaciones fueron nulas -y el nivel freático se encontraba muy por debajo a las condiciones actuales- conllevando a la no depositación de material dentro de la cuenca y al desarrollo de un suelo calcáreo.

-Facies Fr. Interpretación: Las diversas características encontradas tienen diversas connotaciones:

1. El agrietamiento en las arcillas se produce como respuesta a la dilatación y contracción que las mismas sufren en tiempos húmedos y secos, respectivamente. El varicoloreado en tonalidades verdosas-anaranjadas-grisáceas son señal de fluctuaciones constantes del nivel freático, por lo tanto, se infiere una época de lluvias estacionales no torrenciales en las cuales la tabla de agua en ocasiones se encontraba por encima del material particulado y en otros momentos se encontraba por debajo de las arcillas depositadas.
2. La presencia de bulbos, raíces y restos de materia orgánica indican un período de bastante humedad en el cual hubo desarrollo de vegetación en un régimen de lluvias estacionales no torrenciales, por lo tanto, fue un período en el cual no hubo flujos de lodo ni flujos de escombros.
3. El desarrollo de la costra negra no carbonatada (paleosuelo) al tope del nivel arcilloso, representa el fin de lo que pudo ser un ciclo donde el nivel freático estuvo por encima del sustrato en forma calmada, permitiendo la depositación por suspensión de las arcillas y el desarrollo de flora, por lo tanto, fue un período de lluvias estacionales no torrenciales sin eventos que involucraran el transporte

de grandes volúmenes de material como lo son los flujos de lodo y los flujos de escombros.

-Facies Sh. Interpretación: El varicoloreado de las arenas indica fluctuaciones en el nivel freático, es decir, el material clástico se depositó durante una temporada en la cual las lluvias estacionales habían menguado, disminuyendo la capacidad de carga y transporte de los distributarios, lo que permitió el desarrollo de una vegetación relativamente espesa. Debido a la preponderancia de la tonalidad rojiza en las arenas, se puede llegar a concluir que fue un período seco con algunas precipitaciones moderadas, ambiente característico de un *Flood Plain*.

-Facies Gms. Interpretación: La alta densidad de cantos y guijarros en una matriz arenosa, la imbricación presentada, así como la redondez y subesfericidad de los clastos, indican que el momento de depositación pertenece a un período de fuertes precipitaciones torrenciales estacionales, generando un flujo de escombros, lo que conlleva a una pobre selección del material sedimentario.

-Facies Gcm. Interpretación: El hecho de ser un nivel con tan poco espesor (aproximadamente un metro) con un contenido muy pobre de matriz y clastos subredondeados y subesféricos con diámetro superior a los 40 centímetros, son evidencia de un flujo de escombros producido por un período de lluvias torrenciales no estacionales en el cual el nivel de energía de transporte de los sedimentos aumentó considerablemente así como también la capacidad de carga de los distributarios.

-Facies Pf. Interpretación: La evolución de las ferrocetas se presenta bajo condiciones de climas tropicales y subtropicales, es decir, la costra ferruginosa presente en el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga se desarrolló bajo condiciones climáticas secas con precipitaciones medias estacionales en un período en el cual no hubo depositación de sedimento (hiato geológico).

9.2 Columna Estratigráfica – Localidad 1.

El levantamiento de la columna estratigráfica (Localidad 1) del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga se realizó en el Kilómetro 7 del Anillo Vial que comunica a Floridablanca con el municipio de Girón, a la altura de ‘Automundial’.

Al sitio de estudio corresponden las siguientes coordenadas:

N: 1.102.197

E: 1.272.990

Altura: 743 msnm.

Figura 49. Ubicación geográfica de la Localidad 1.



Fuente: Tomada y modificada de Google Earth.

Figura 50. Vista generalizada de la Localidad 1. Margen derecho del Anillo Vial que comunica a Floridablanca con Girón, a la altura de *Automundial*.

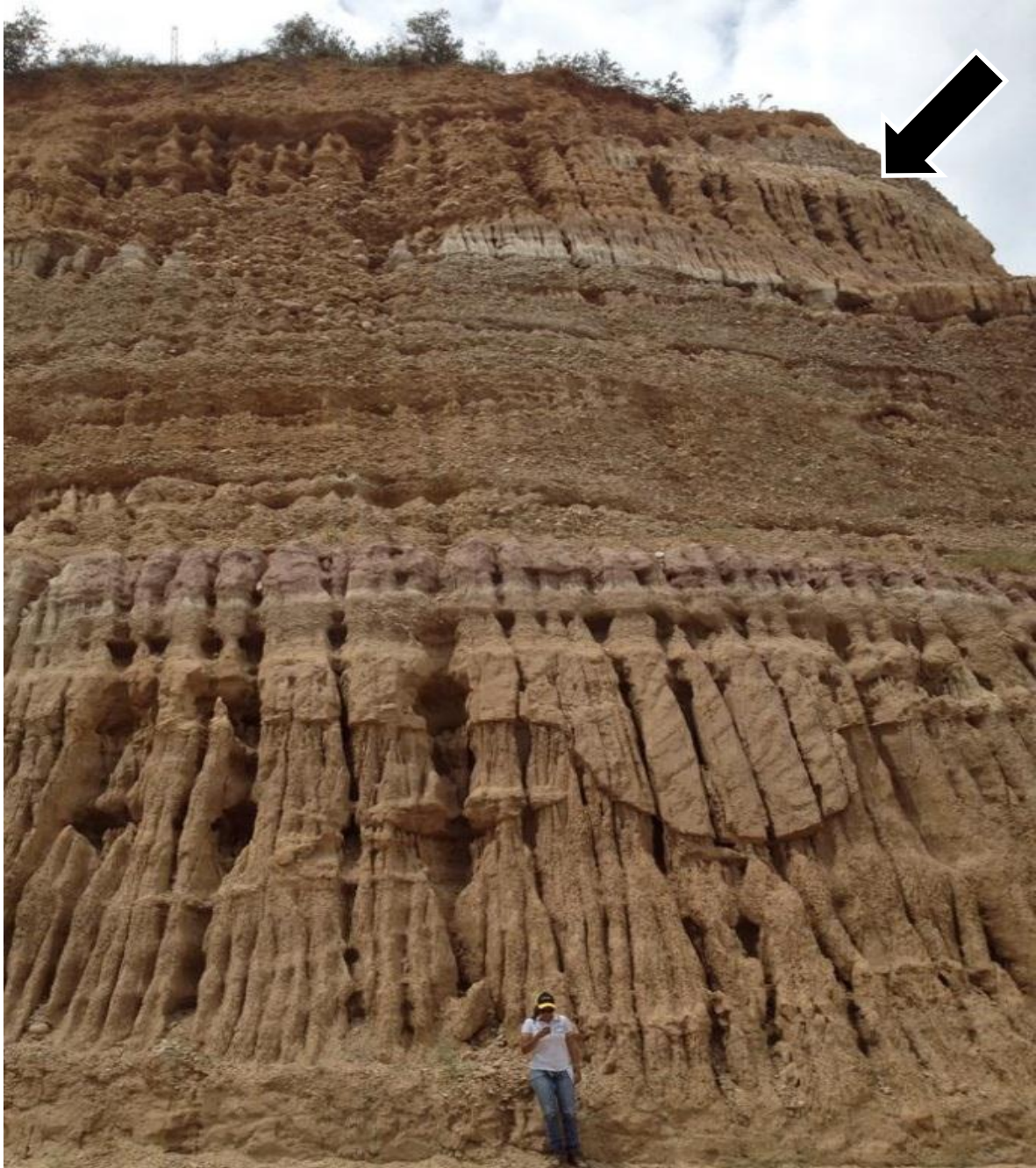


Figura 51. Columna estratigráfica de la Localidad 1



CONVENCIONES

Lithologies	Symbols	Base Boundaries
Conglomerate	Horizontal planar lamination	Gradational
Claystone	Planar cross bedding	Sharp
Sandstone		

EVOLUCIÓN CLIMÁTICA REGISTRADA Y ESTRATIGRAFÍA DEL MIEMBRO ÓRGANOS DE LA FORMACIÓN BUCARAMANGA

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL MIEMBRO ÓRGANOS: AUTOMUNDIAL

UBICACIÓN: E 1102197

N 1272990

n 743

ESCALA 1:50

DIRECTOR: VICTOR CABALLERO ORTIZ

AUTORES: Ma. CAMILA LIMA; JOSUÉ D. MEDINA

Facie Gms: Corresponde a un nivel gravoso de 1,5 metros de espesor pobremente seleccionado de cantos y guijarros subredondeados, subesféricos, distribuidos al azar, de manera caótica, sin contacto tangencial entre ellos y sin imbricaciones dentro de una matriz arenolodosa de coloración parda-rojiza.

Los clastos no presentan alineaciones preferenciales y corresponden a fragmentos líticos de cuarzoarenisca, limolitas rojas, esquisto, granito y guijarros de cuarzo lechoso.

Figura 52. Facie Gms de la Localidad 1.



Figura 53. Detalle de la Facie Gms.



-Facies Fr: Corresponde a un nivel con un espesor aproximado a los 5,20 metros de arcillas varicoloreadas con tonalidades verdosas-grisáceas-anaranjadas donde se resalta claramente el agrietamiento típico de las mismas debido a procesos de contracción y dilatación, así como el prominente desarrollo de surcos.

Figura 54. Nivel de arcillas expansivas con alto desarrollo de surco (Flecha roja).



Figura 55. Detalle del agrietamiento típico de las arcillas.

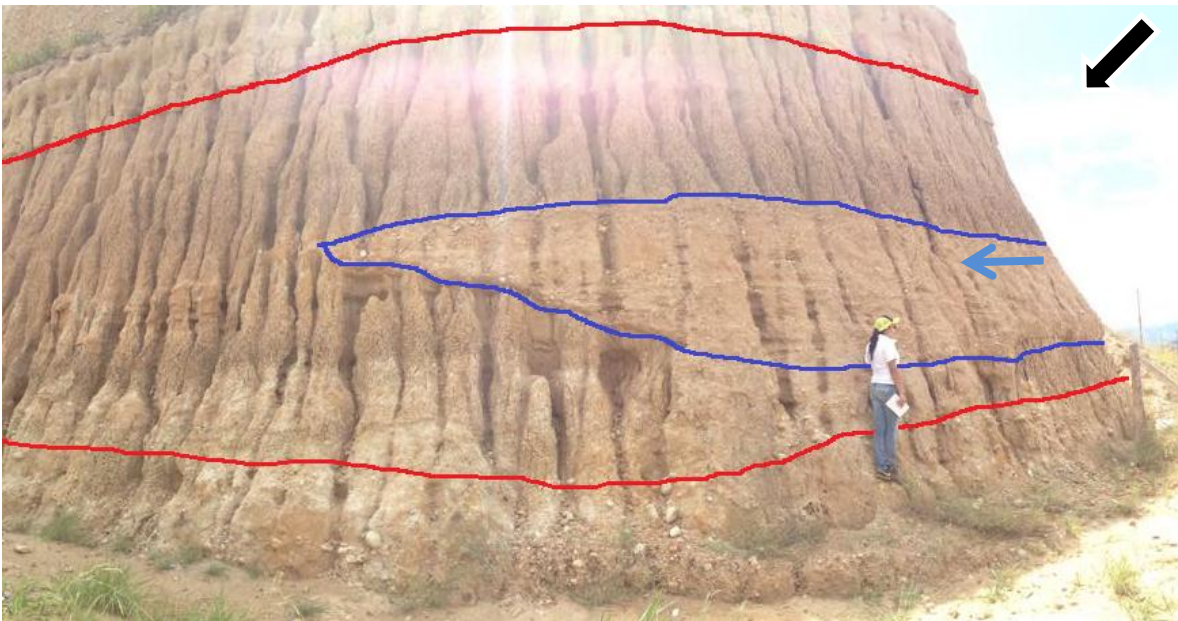


Figura 56. Detalle del varicoloreado de las arcillas.



Dentro del nivel lodoso se distingue notoriamente un canal con un espesor de aproximadamente 2 metros en la parte central y de 50 centímetros en la parte más distal. El canal corresponde a guijas y cantos subredondeados, subesféricos, no imbricados pero alineados en algunos sectores. No existe contacto tangencial entre los clastos. Los cantos de esquisto, granito, cuarzoarenisca, lodolitas rojas y las guijas de cuarzo lechoso se distribuyen de manera granodecreciente dentro de una matriz areno-lodosa, tienen un diámetro mínimo aproximado de 2 centímetros y máximo de 8 centímetros.

Figura 57. Canal de gravas y guijas dentro del nivel arcilloso (Flecha azul).



-Facie Sh. Nivel arenolodoso con aproximadamente 2,5 metros de espesor, sin agrietamiento, con desarrollo incipiente de surcos y nula presencia de cantos o guijarros. En general, las arenas tienen una coloración varicoloreada pero se puede dividir en tres subniveles según la tonalidad predominante:

- Subnivel varicoloreado de arenas pardas (2 metros).
- Subnivel varicoloreado de arenas grisáceas-crema (15 centímetros).
- Subnivel varicoloreado de arenas rojizas (35 centímetros).

Dentro del nivel arenolodoso se observa un canal penetrando las arcillas (Figura 58), que Suprayace una costra negra no calcárea milimétrica de materia orgánica –paleosuelo- (Figura 59).

Figura 58. Canal arenolodoso penetrando las arcillas (Delineado en rojo).

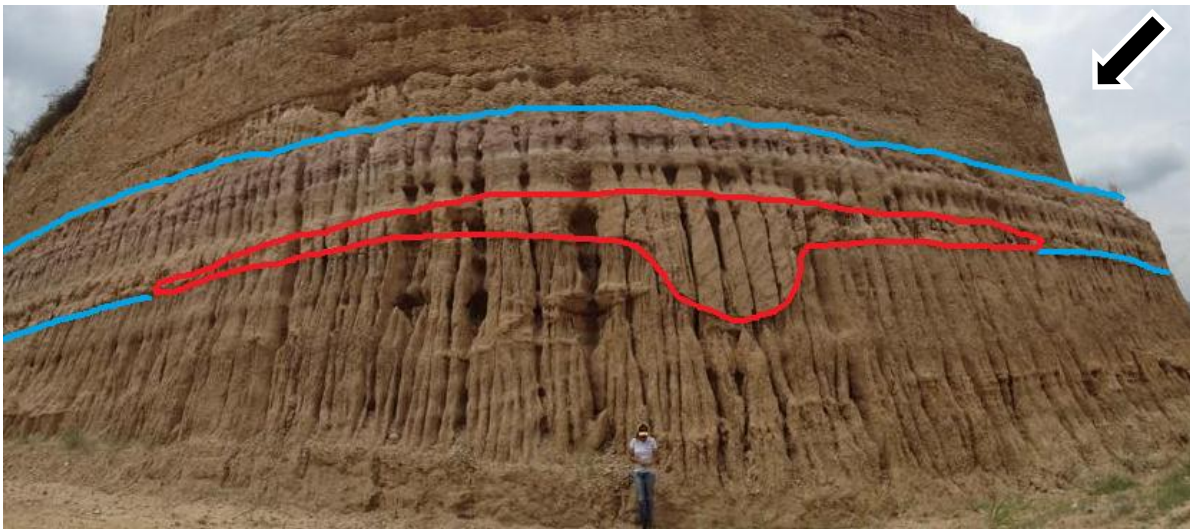


Figura 59. Nivel arenolodoso Suprayaciendo el paquete de arcillas.



Las arenas presentan estratificación planoparalela, aunque en algunos sectores dicha estructura sedimentaria se pierde debido a la acción de agentes meteóricos como aguas de escorrentía, viento, polvo.

Figura 60. Estratificación planoparalela de las arenas. El nivel presenta espesor constante.

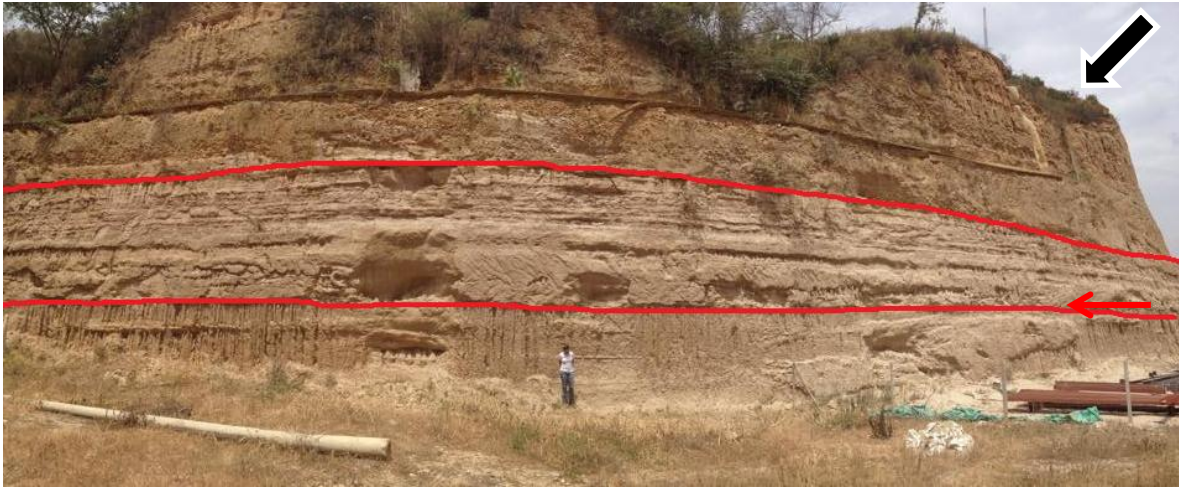


Figura 61. Detalle de la estratificación plano-paralela de las arenas.



9.3 Columna Estratigráfica – Localidad 2

El levantamiento de la columna estratigráfica (Localidad 2) del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga se realizó en el Kilómetro 5.5 del Anillo Vial que comunica a Floridablanca con el municipio de Girón, a la altura de ‘Petroco’.

Al sitio de estudio corresponden las siguientes coordenadas:

N: 1.104.128

E: 1.273.325

Altura: 740 msnm

Figura 62. Ubicación geográfica de la Localidad 2.



Fuente: Tomada y modificada de Google Earth.

Figura 63. Vista Generalizada de la Localidad 2. Margen derecho del Anillo Vial que comunica a Flordablanca con Girón, a la altura de *Petroco*.



-**Facie Gm:** Nivel clastoportado de aproximadamente 3 metros de espesor con fragmentos líticos tamaño canto de areniscas, granitos, esquistos y lodolitas rojas de un diámetro promedio que oscila entre los 20cm y 30 centímetros, distribuidos caóticamente, sin imbricaciones, redondeados y subesféricos; dentro de una matriz de distinguible coloración verdosa.

Los cantos no presentan contacto tangencial entre ellos y es nula la presencia de raíces fantasma o rastros de materia orgánica.

Presenta un incipiente desarrollo de surcos a pesar de observarse bloques de gran tamaño.

Figura 64. Facie de gravas clastoportadas.





Figura 65. Cantos de arenisca de la Facie Gm.

-Facie Fr: Nivel limoarenoso de aproximadamente 3.5 metros de espesor con un distinguible agrietamiento, característica que se da debido a la estructura tetraédrica de los filosilicatos cuya morfología presenta una elevada área superficial y una gran superficie activa permitiendo la interacción con diversos compuestos, ante los cuales las arcillas se comportan dilatándose en presencia saturada de líquido y contrayéndose ante la ausencia del fluido.

La roca fresca tiene un moteado varicoloreado en tonos rojizos-verdosos-naranjas (Figura 67) y presenta un sutil veneamiento negro, correspondiente a raíces fijadas en el sustrato (Figura 68).

Figura 66. Nivel limoarenoso, se aprecia el agrietamiento producido por agentes humectantes.

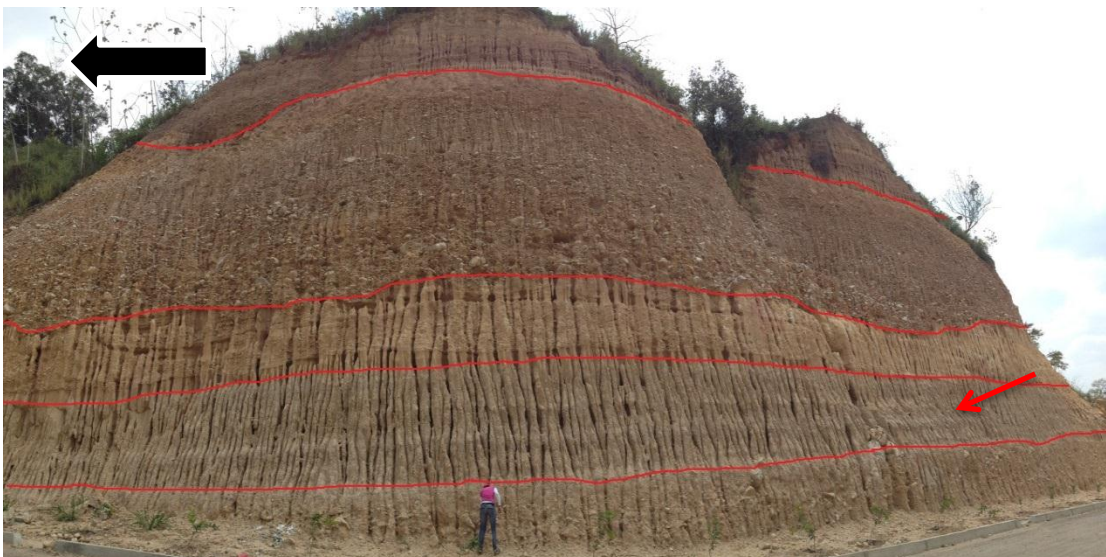


Figura 67. Agrietamiento desarrollado debido a una constante contracción y dilatación de las arcillas en períodos secos y húmedos respectivamente.



Figura 68. Moteado varicoloreado en tonalidades rojizas-anaranjadas-verdosas.



Figura 69. Nivel lodoso con varicoloreado grisáceo-anaranjado y veneamiento negro de materia orgánica (raíces fijadas al sustrato).



Hacia el tope de las arcillas se presentan de manera aleatoria diversos clastos que ponen en contacto el nivel arcilloso con el arenoso. El inicio del ciclo arenoso presenta las mismas tonalidades del varicoloreado.

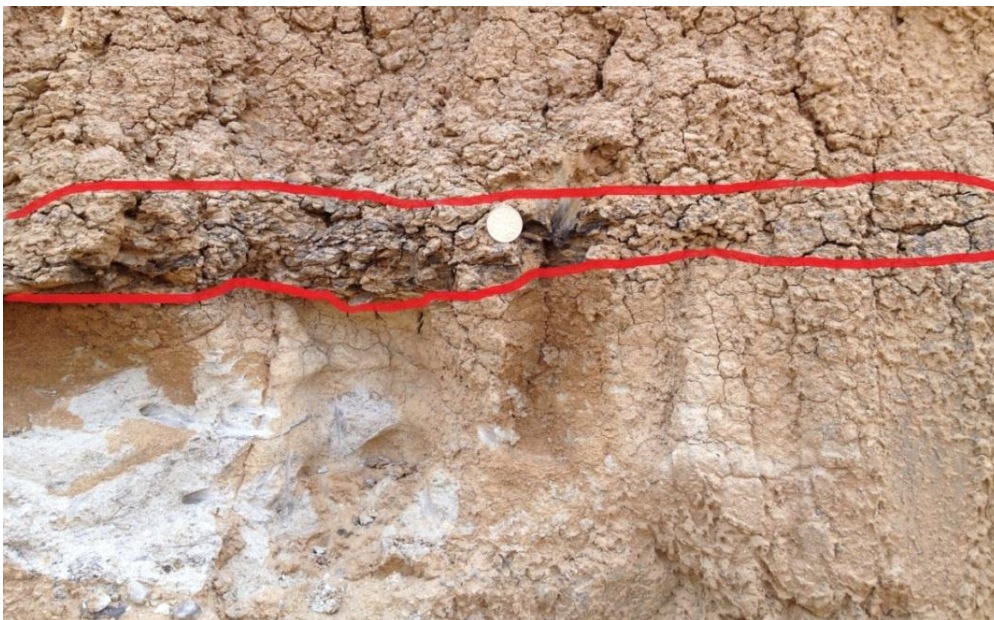
Dentro del contacto arcillas-arenas existe una característica bastante significativa y es la presencia de materiales orgánicos bulbosos (flora) de manera abundante; dichos bulbos no superan los 3 mm de diámetro y se encuentran distribuidos al azar dentro de una matriz lodosa varicoloreada en tonalidades verdosas-grisáceas.

Figura 70. Bulbos de raíces dispuestos al azar entre el contacto del nivel arcilloso con el arenoso.



Hacia el tope de las arcillas que sostienen los bulbos se desarrolla una costra lodosa negra de pocos milímetros de espesor, no carbonatada, que se extiende lateralmente hasta perder continuidad aparentemente por efectos erosivos.

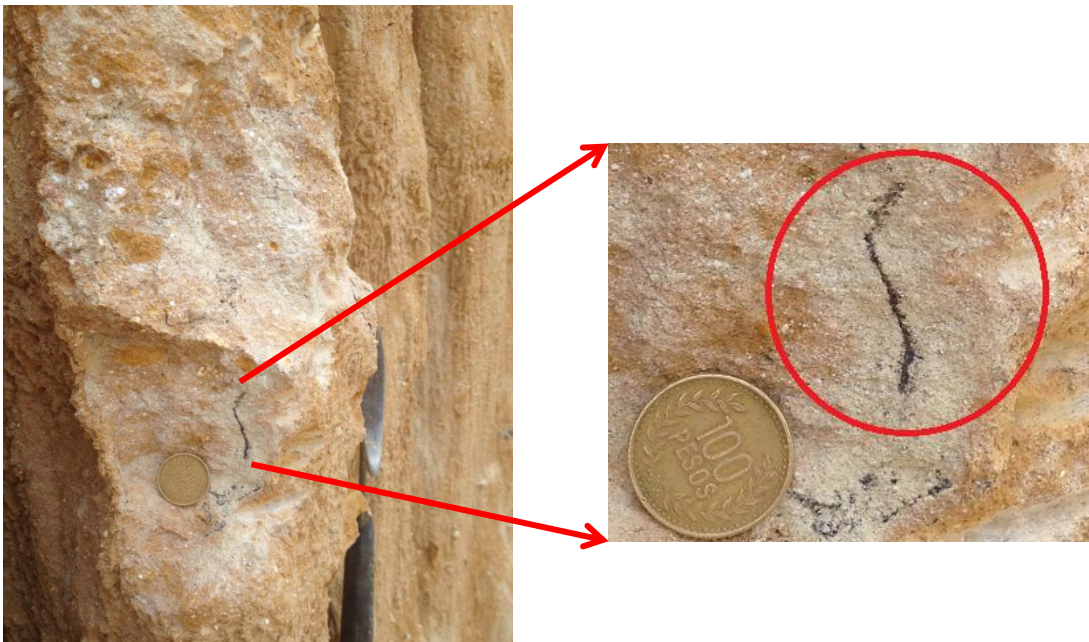
Figura 71. Costra lodosa no carbonatada al tope del nivel limoarenoso.



-Facies Sh: Sobre la costra negra que marca el fin de la facie arenolimsa y en contacto erosivo se desarrolla un nivel arenoso de aproximadamente 3.6 metros de espesor en el cual de manera aleatoria hay presencia de guijarros sin imbricaciones, arenosoportados, con varicoloreado rojo-verdoso-grisáceo (predomina la coloración rojiza) y presencia de materia orgánica (rastros de raíces fijadas al sustrato).

Los guijarros no presentan contacto tangencial entre ellos y se disponen de manera caótica dentro de las arenas.

Figura 72. Rastro de materia orgánica –raíz fijada al sustrato- en la facie arenosa. Se observa la preponderancia rojiza en el cuerpo de roca.



-Facies Gms: Sobre las arenas rojizas y en contacto erosivo se encuentra un nivel con un espesor aproximado de 6.5 metros de gravas arenosoportadas dispuestas caóticamente, con ligeras imbricaciones, cuyos fragmentos líticos correspondientes a esquistos, cuarzoareniscas, limolitas rojas y cuarzo lechoso los cuales no presentan contacto tangencial entre ellos.

En este ciclo hay bloques con un diámetro aproximado de 40 centímetros, redondeados y subesféricos.

Figura 73. Facie Gms

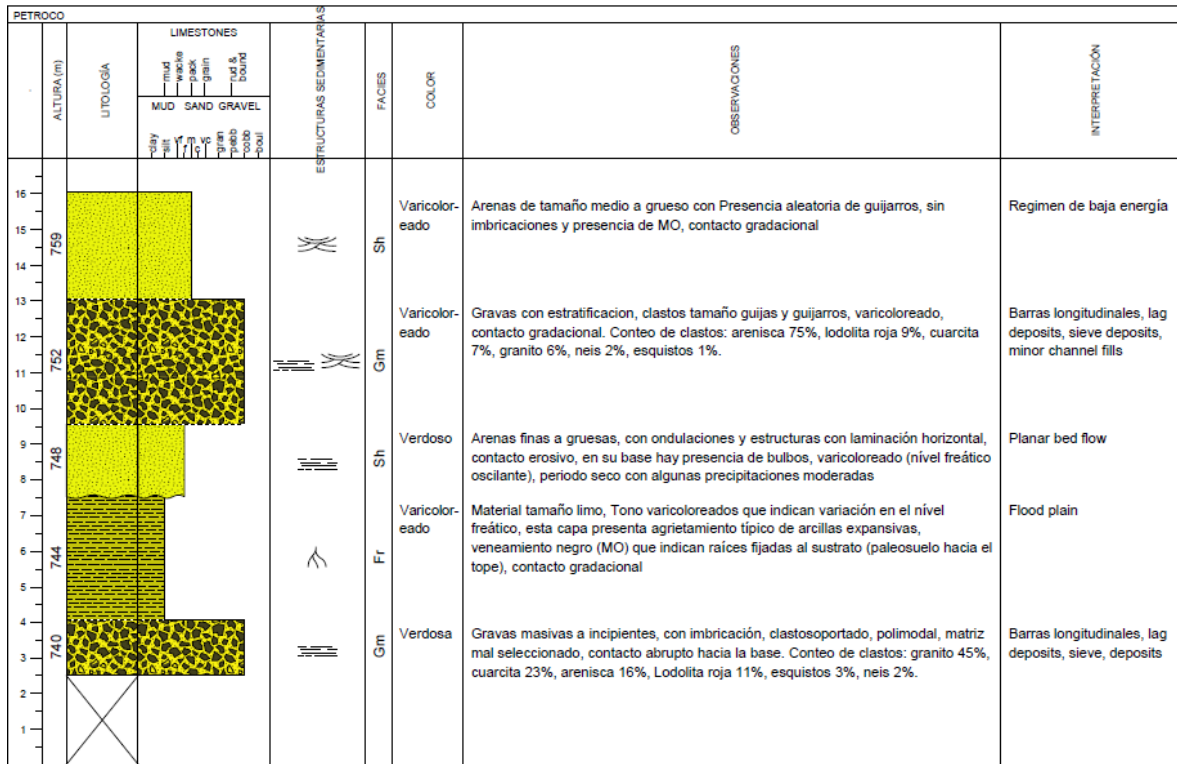


-**Facie Sh:** Sobre el ciclo gravoso y en contacto neto se encuentra un nivel de arenas varicoloreadas, donde predominan las tonalidades pardas-rojizas, con estratificación laminar y presencia aleatoria de guijarros no imbricados.

Figura 74. Facie arenosa Sh suprayaciendo la Facie Gms(Flecha roja).



Figura 57. Columna estratigráfica de la Localidad 2.



CONVENCIONES

Lithologies	Symbols	Base Boundaries
Conglomerate	Horizontal planar lamination	Sharp
Sandstone	Roots	Erosion
Claystone	Trough cross bedding	Gradational

EVOLUCIÓN CLIMÁTICA REGISTRADA Y ESTRATIGRAFÍA DEL MIEMBRO ÓRGANOS DE LA FORMACIÓN BUCARAMANGA

SECCIÓN ESTRATIGRAFICA DEL MIEMBRO ÓRGANOS:
 PETROCO
 UBICACIÓN: E 1104128
 N 1273325
 h 740
 ESCALA 1:100
 DIRECTOR: VICTOR CABALLERO ORTIZ
 AUTORES: Ma. CAMILA LIMA; JOSUÉ D. MEDINA

10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

10.1 Ambientes de depositación

Teniendo en cuenta la descripción detallada hecha en cada afloramiento, se procede a realizar el análisis pertinente para inferir el ambiente de depositación de los sedimentos basándose en los rasgos texturales existentes en cada nivel (ciclo) del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.

Tabla 4. Ambientes de depositación del material sedimentario del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.

FACIE	LITOLOGÍA	GEOMETRÍA Y ARQUITECTURA	AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN
Gravas clastosoportadas -Gm	Gravas no imbricadas, con estratificación ligera, subredondeadas y subesféricas de rocas cristalinas, cuarzoarenitas y lodolitas rojas.	Distribución caótica en un nivel masivo.	Barras longitudinales
Carbonato pedogénico -P	Calcreta de coloración blanco-crema con violenta reacción al HCl.	Masiva y tabular.	Paleosuelo calcáreo pedogénico.
Arcillas masivas -Fr	Arcillas varicoloredas con desarrollo de surcos, presencia esporádica de cantos y guijarros. En algunos sectores se muestra el	Arcillas masivas con desarrollo de surcos.	Floodplain.

	agrietamiento (contracción-dilatación) típico de las arcillas expansivas.		
Arenas con una cruda estratificación laminar -Sh	Arenas varicoloreadas de grano fino a medio.	Masivo, estratificación pobre laminar Algunos guijarros se encuentran al azar y sin contacto tangencial.	Flujo de canal / Foodplain
Gravas matriz-soportadas -Gms	Gravas arenosoportadas dispuestas de manera caótica, gradación normal y ligeros rastros de imbricaciones.	Gravas exhibiendo gradación normal. Ligeras imbricaciones de los clastos.	Flujo de escombros.
Gravosoportado -Gcm	Cantos dispuestos al azar, con contacto tangencial entre ellos y muy poca matriz.	Distribución aleatoria de las gravas, sin imbricaciones ni estratificaciones.	Flujo de detritos.
Ferricreta -Pf	Calcreta ferruginosa de coloración anaranjado-ocre-	Poco espesor, sin variaciones laterales ni verticales.	No deposición de material sedimentario.

10.2 Paleoclimatología

La determinación de los patrones Paleoclimáticos se hizo teniendo en cuenta el estilo de depositación de los sedimentos, la arquitectura y el análisis de las facies que cada ciclo exhibía.

Tabla 5. Regímenes Paleoclimáticos del Miembro Órganos

FACIE	LITOLÓGÍA	GEOMETRÍA Y ARQUITECTURA	REGIMEN PALEOCLIMÁTICO
Gravas clastosoportadas -Gm	Gravas no imbricadas, con estratificación cruda, subredondeadas y subesféricas de rocas cristalinas, cuarzoarenitas y lodolitas rojas.	Distribución caótica en un nivel masivo con ligera estratificación.	Precipitaciones torrenciales estacionales.
Carbonato pedogénico -P	Calcreta de coloración blanco-crema con violenta reacción al HCl.	Masiva y tabular.	Condiciones de aridez.
Arcillas masivas -Fr	Arcillas varicoloredas con desarrollo de surcos, presencia esporádica de cantos y guijarros. En algunos sectores se muestra el agrietamiento (contracción-dilatación) típico de las arcillas expansivas.	Arcillas masivas con desarrollo de surcos.	Fluctuaciones del nivel freático – precipitaciones moderadas no estacionales.

Arenas con una cruda estratificación laminar -Sh	Arenas varicoloreadas de grano fino a medio.	Masivo, estratificación pobre laminar Algunos guijarros se encuentran al azar y sin contacto tangencial.	Fluctuaciones del nivel freático - Precipitaciones moderadas no estacionales.
Gravas matriz- soportadas -Gms	Gravas arenosoportadas dispuestas de manera caótica, gradación normal y ligeros rastros de imbricaciones.	Gravas exhibiendo gradación normal. Ligeras imbricaciones de los clastos.	Fuertes precipitaciones torrenciales estacionales.
Gravosoportado -Gcm	Cantos dispuestos al azar, con contacto tangencial entre ellos y muy poca matriz.	Distribución aleatoria de las gravas, sin imbricaciones ni estratificaciones.	Precipitaciones torrenciales estacionales.
Ferricreta -Pf	Calcreta ferruginosa de coloración anaranjado- ocre-	Poco espesor, sin variaciones laterales ni verticales.	Clima tropical.

10.3 Ciclicidad paleoclimática del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.

Para establecer los patrones de los ciclos Paleoclimáticos del Miembro Órganos debe tenerse en cuenta la granulometría de cada segmento, la tendencia de depositación y estructuras sedimentarias encontradas en cada nivel litológico. Dichos comportamientos –analizados y detallados en una columna estratigráfica- permiten correlacionar la intermitencia de las precipitaciones para posteriormente definir períodos de sequía o de intensa humedad.

El miembro Órganos de la Formación Bucaramanga puede subdividirse en siete ciclos Paleoclimáticos como se describen a continuación:

- **CICLO I:** Inicia con un período de precipitaciones estacionales, generando fluctuaciones en el nivel freático y flujo de lodos acompañado de fragmentos líticos de cuarzoarenisca, esquisto, chert, granito y lodolitas rojas. Dicho período de precipitaciones estacionales va disminuyendo progresivamente hasta el punto de llegar a un período de extrema aridez -en el cual no hay distributarios para transportar el sedimento-, generando condiciones propicias para el desarrollo de un suelo calcáreo pedogénico.
- **CICLO II:** Al período de aridez le sobreviene un evento de precipitaciones moderadas, las cuales permiten fluctuaciones del nivel freático y el desarrollo de materia orgánica (vegetación). Dichas precipitaciones se intensificaron progresivamente ocasionando que la competencia del drenaje aumentara y se empezaran a depositar arenas.
- **CICLO III:** Las precipitaciones fueron aumentando progresivamente hasta tomar la característica de ser estacionales, conllevando a que los distributarios tuvieran mayor poder de arrastre de material y fuesen capaces de transportar cantos y bloques. Al finalizar el ciclo, las lluvias estacionales empiezan a menguar con lo que disminuye la capacidad y competencia del drenaje, al tiempo que el nivel freático empieza a presentar fluctuaciones y el material depositado disminuye su tamaño (arenas.)
- **CICLO IV:** Las precipitaciones estacionales nuevamente se vuelven a intensificar permitiendo un aumento en la carga de los distributarios propiciando un flujo de lodos acompañado de cantos de material detrítico. El ciclo finaliza con un descenso en la magnitud de las precipitaciones estacionales, generando fluctuaciones en el nivel freático y disminución en la capacidad de carga de los drenajes.
- **CICLO V:** Las precipitaciones torrenciales se intensifican permitiendo que el nivel freático esté por encima del material depositado debido a que los distributarios han aumentado su capacidad de arrastre y su carga. El ciclo

finaliza con un flujo de lodos que estuvo acompañado por gravas de cuarzoarenisca, esquistos, granito y limolitas rojas.

- **CICLO VI:** El ciclo inicia con un fuerte flujo de escombros que se originó debido a la intensificación de las precipitaciones, con lo cual la capacidad y carga de los distributarios aumentó considerablemente. Las precipitaciones fueron disminuyendo progresivamente en su magnitud, con lo cual el nivel freático empezó a presentar variaciones respecto a su nivel base y se fueron depositando materiales más finos (arenas).
- **CICLO VII:** Las precipitaciones moderadas se vuelven ocasionales, permitiendo el desarrollo de materia orgánica (vegetación) y fluctuaciones en el nivel freático. Al finalizar el ciclo, las precipitaciones torrenciales estacionales se intensifican lo que genera mayor capacidad de carga de los distributarios para transportar cantos de esquistos, cuarzoarenisca, lodolitas rojas y granito.

11 DISCUSIÓN

En la presente tesis se investigó y se definió el ambiente de depositación del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga y se estableció los regímenes climáticos predominantes al momento de su depositación. Se hicieron descripciones macroscópicas de las muestras, posteriores levantamiento de columnas estratigráficas y con la recolección de los datos, y las observaciones obtenidas, se prosigue a la redacción del documento final en el cual se compilan los resultados obtenidos.

De acuerdo con los resultados encontrados en esta investigación, se puede decir que con los datos recolectados de la litología, en cuanto a composición, textura, estructura y materia orgánica encontrada, fue posible la identificación de 9 litofacies y 8 asociaciones de facies sobresalientes y básicas, estas se presentan de manera repetitiva, interpretándose que son asociaciones de facies cíclicas las que encontramos dentro de la unidad sedimentaria estudiada. Continuamos con la descripción en detalle de cada una de las litofacies presentes, dándole nombre a cada facie.

En cuanto a las asociaciones de facies, se realizó posteriormente una clasificación de éstas en las cuales se desarrolla una descripción en cuanto a litología, presencia de materia orgánica, la geometría y arquitectura de cada una de estas, arrojando 8 asociaciones en la unidad sedimentaria.

De manera general, en cada una de las facies se observó y se infirió 1) fragmentos líticos tamaño guijarros y cantos dentro de una matriz lodosa, señal de un eventual flujo de lodos producto de lluvias estacionales; 2) suelo pedogénico asociada a condiciones paleoclimáticas que indican un periodo de aridez en el cual las precipitaciones fueron nulas y el nivel freático se encontraba por debajo de las condiciones actuales; 3) el agrietamiento de las arcillas se produce como respuesta a la dilatación y contracción que estas sufren en periodos de humedad y sequía, respectivamente. el tono varicoloreado es señal de la variación constante del nivel freático. La presencia de materia orgánica nos indica periodos de humedad en la cual hubo desarrollo de vegetación, en cuanto al desarrollo de paleosuelos representa el fin del ciclo donde el nivel freático estuvo por encima del sustrato permitiendo la depositación por suspensión de estas arcillas; 4) el varicoloreado de las arenas indican periodos de fluctuación en el nivel freático, hubo depositación de material clástico y posterior disminución de la capacidad de carga y

transporte y esto produjo el desarrollo de vegetación, típico de un Floodplain; 5) la presencia de cantos y guijarros en matriz arenosa nos indican que fue un periodo de fuertes precipitaciones las cuales generaron flujo de escombros; 6) su coloración indica que las arenas estuvieron la mayor parte por debajo del nivel freático, infiriéndose que fue un periodo de precipitaciones moderadas; 7) matriz arenolodosa en mayor proporción a los clastos, es decir, temporada de lluvias ligeramente estacionales para que sea posible el transporte de material en suspensión; 8) distribución caótica de los clastos, evidencia de precipitaciones torrenciales y coloración rojiza lo cual es indicador de un nivel freático por encima del material depositado; 9) nivel con poco espesor que indica flujo de escombros en un periodo de lluvias torrenciales; 10) depositación granodecreciente de clastos en una matriz arenosa, indicando disminución progresiva de lluvias provocando un descenso en el poder erosivo y capacidad de carga/transporte, su coloración indica que durante la depositación los materiales estuvieron la mayor parte por debajo del nivel freático; Con el posterior levantamiento de columnas estratigráficas, se pudo constatar la presencia de dichas facies, asociaciones de facies, ambientes de depositación, régimen paleoclimático, estructuras, litología, geometría y arquitectura, entre otras observaciones, interpretándose y precisando estudios anteriores, e investigaciones que se están llevando a cabo.

Se tuvo en cuenta la granulometría de cada segmento, la tendencia de depositación y estructuras sedimentarias encontradas en cada nivel litológico para así proceder a la división en ciclos paleoclimáticos del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, describiéndolos así: 1) periodo de precipitaciones estacionales, con fluctuaciones en el nivel freático, dicho periodo va disminuyendo hasta tal punto de llegar a un periodo de extrema aridez, generando las condiciones propicias para el desarrollo de suelo pedogénico; 2) periodo de aridez con un evento de precipitaciones moderadas, permitiendo fluctuaciones en el nivel freático y desarrollo de vegetación; 3) las precipitaciones aumentaron progresivamente hasta convertirse en estacionales hasta tal punto de arrastrar material clásticos, al finalizar este ciclo, las lluvias empiezan a disminuir y consigo la capacidad y competencia del drenaje haciendo que el material depositado disminuya su tamaño; 4) las precipitaciones estacionales se vuelven a intensificar aumentando la carga de los distributarios propiciando un flujo de lodos, este ciclo finaliza con un descenso en las precipitaciones generando variación en el nivel freático; 5) las precipitaciones torrenciales se intensifican haciendo que el nivel freático este por encima del material depositado, el ciclo finaliza con un flujo de lodos acompañado por clastos; 6)

fuerte flujo de escombros al inicio de este ciclo, se originó debido a las intensas precipitaciones, estas fueron disminuyendo con lo cual el nivel freático empezó a presentar variaciones respecto a su nivel base y se fueron depositando materiales más finos; 7) precipitaciones moderadas que se vuelven ocasionales, lo cual permite el desarrollo de vegetación y variaciones en el nivel freático, al final dicho ciclo, las precipitaciones se intensifican lo que genera mayor capacidad de carga de los distributarios para el transporte de los clastos. La presente investigación, con una adecuada metodología, observación y recolección de datos, encuentra múltiples evidencias que deben ser tomados en cuenta para futuros estudios.

12 RECOMENDACIONES

Para entender en su magnificencia los procesos sedimentarios originados durante la depositación de la Formación Bucaramanga, es indispensable ampliar el estudio de análisis de proveniencia de los clastos para definir en detalle la influencia que se tuvo tanto de material fluvial como aluvial.

Se sugiere un estudio actualizado en la tectónica de la Falla de Bucaramanga Santa-Marta y Falla del Suárez en las áreas de influencia cercanas al depósito cuaternario correspondiente a la Formación Bucaramanga con el propósito de comprender posibles esfuerzos que hayan controlado los procesos de sedimentación y transporte.

Para establecer las condiciones químicas del agua que permitió la depositación de materiales finos sería prudente realizar un análisis minucioso a los mismos y así diferenciar los tipos de minerales arcillosos presentes a través de un microscopio electrónico de barrido.

13 CONCLUSIONES

- El Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga es un depósito cuaternario cuyas características litológicas permiten inferir dos grandes ambientes de depositación: procesos aluviales y transporte fluvial.
- A partir de la granulometría, geometría, fábrica, composición y presencia de materia orgánica Dentro del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga se pueden distinguir –en su orden- 9 facies sedimentarias:
 1. Facie Gm: Gravos clastosoportadas dispuestas de manera caótica con ligera estratificación
 2. Facie P: Carbonato pedogénico
 3. Facie Fr: Arcillas varicoloreadas con presencia de materia orgánica.
 4. Facie Sh: Arenas masivas con guijarros dispersos y cruda estratificación laminar.
 5. Facie Gms: gravas arenosoportadas con ligeras imbricaciones.
 6. Facie Gcm: Gravosoportada.
 7. Facie Pf: Ferricreta.
- Sobresale un período de extrema aridez al inicio de la depositación de los sedimentos, tal cual lo evidencia la calcreta observada en la base estratigráfica del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.
- Dentro de los regímenes Paleoclimáticos se pueden distinguir dos macroeventos cíclicos en el momento de la depositación de los sedimentos: 1) Precipitaciones moderadas no estacionales que generaban fluctuaciones del nivel freático, y 2) precipitaciones torrenciales estacionales que permitieron procesos tipo *debris flow*.

BIBLIOGRAFÍA

- Bedelea, H., 2004. Study on the diagenetic calcareous accumulations in a soil profile from Floresti (Cluj County, Romania). *Geologic*. Vol. 49. Pp. 75-85.
- Blaine, C., 1990. Paleoclimate controls on stratigraphic repetition of chemical and siliciclastic rocks. *Geology*. Vol. 18. Pp. 533-536.
- Blair, T., Bilodeau, W., 1988. Development of tectonic cyclothems in rift, pull-apart, and foreland basins: Sedimentary response to episodic tectonismo. *Geology*. Vol. 16. Pp. 517-520.
- Catuneanu, O., 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Primera Edición. Elsevier.
- Cruz, L., Caballero, V., 2007. *Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos*. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Daneshvar, E., 2013. *Clay minerals and provenance study in modern sedimentary environments*. Lambert Academic Publishing.
- De Porta, J. 1959. La Terraza de Bucaramanga. *Boletín de Geología*. Universidad Industrial de Santander. Vol. 3. Pp. 5-13.
- Farrell, K., Harris, Burleigh, W., Mallinson, D., Culver, S., Riggs, S., Pierson, J., Self-trail, J., Lautier, J. 2012. Standardizing texture and facies codes for a process-based classification of clastic sediment and rock. *Journal of Sedimentary Research*. Vol. 82. Pp. 364-378.
- Folk, R., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Primera Edición. Hemphill Publishing Company.

- Harvey, A., Mather, A., Stokes, M., 2005. Alluvial fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics. Geological Society Special Publication No 252. The Geological Society. London.
- Hubert, John. 1977. Paleosol caliche in the New Heaven Arkose, Connecticut: Record of semiaridity in Late Triassic-Early Jurassic Time. *Geology*. Vol. 5. pp. 302-304.
- INGEOMINAS. 2001. Zonificación sismogeotécnica indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga. Bogotá.
- Jimenez, G., Speranza, F., Faccena, C., Bayona, G., Mora, A., 2015. Magnetic Stratigraphy of the Bucaramanga alluvial fan: Evidence for a <math><3\text{mm/yr}</math> slip rate for the Bucaramanga-Santa Marta Fault, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 57. Pp. 12-22.
- Julivert, M., 1963. Nuevas observaciones sobre la Estratigrafía y Tectónica del cuaternario de los Alrededores de Bucaramanga. *Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander*. Vol. 15. Pp. 41-59.
- JULIVERT, M. 1963. Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de las estructuras. *Boletín de geología, Universidad Industrial de Santander*.
- Kraus, Mary., 1999. Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geological applications. Elsevier. Vol. 47. Pp. 41-70.
- Lara, S., González, L., Suárez, C., 2011. Depósitos fluvio-torrenciales en la construcción del cono de deyección de Kavak, SE del Auyantepui, Estado Bolívar, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*, Vol. 62, pp. 5-18.
- Miall, A., 1996. The geology of fluvial deposits. Primera Edición. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Nash, D., McLaren, S., 2007. *Geochemical Sediments and Landscapes*. Primera Edición. Blackwell Publishing Ltd.
- Nilsen, T., 1982. *Alluvial Fan Deposits*. USGS. En *Sandstone Depositional Environments*. AAPG.
- Niño, A., Vargas, G., 1992. *Geología y geotecnia de la escarpa noroccidental de la meseta de Bucaramanga*. Trabajo de grado para optar al título de Geólogo. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander.
- Pope, R., Wilkinson, K., Reconciling the roles of climate and tectonics in Late Quaternary fan development on the Spartan piedmont, Greece: Tectonic and climatic contexts of fan evolution. En: HARVEY, A. M *et al.* *Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics*. London, 2005. p. 133-134
- University of Maryland. *Terrestrial sedimentary environments* | [en línea] <<http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/09.html>> [citado en 28 de mayo de 2015]
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., Restrepo, A. 1973. *Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander y Norte de Santander*. Ingeominas. *Boletín Geológico*, 21 (1-3): 1-32. Bogotá.
- Widdowson, M., 2003. Ferricrete. En Goudie, A. S., *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge. Vol 1. Pp. 365-367.
- _____, 2012. *Conglomerate, emphasizing fluvial and alluvial fan environments*. The society of Economic Paleontologists and Mineralogists.