

Catálogo ilustrado de geomorfología en el Cañón del Chicamocha, región del
departamento de Santander

Evelyn Dayana Ortega Martínez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo

Director

Francisco A. Velandia P.

Geólogo PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Geología

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor incondicional y su apoyo en cada paso de este camino. También lo dedico a la naturaleza, mi mayor fuente de inspiración. En la ciencia encuentro la razón de todo lo que me rodea.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento al profesor Francisco Velandia por su apreciada orientación y dirección en el desarrollo de este trabajo. Su apoyo continuo y sus valiosas enseñanzas fueron pilares esenciales para la realización exitosa de este proyecto.

También quiero agradecer a mis compañeros y profesores, quienes me inspiraron a explorar la ilustración científica y encontrar en ella una pasión que no conocía. A Mauricio Carrillo y nuevamente al profesor Francisco Velandia, mi gratitud por el material fotográfico que proporcionaron, el cual fue la base y el sustento esencial de este trabajo. Sin su colaboración y conocimientos, este proyecto no habría sido posible.

Agradezco al universo y al tiempo, a la experiencia humana, a todo lo que he vivido y me ha traído a este momento. A la geología porque ha cambiado mi vida por completo.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción.....	13
1. Localización	14
2. Objetivos.....	15
2.1 Objetivo general.....	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. Justificación	15
4. Marco geológico.....	17
4.1 Estratigrafía.....	17
4.1.1 Precámbrico	17
4.1.2 Pre-Devónico	17
4.1.3 Devónico.....	18
4.1.4 Jurásico	19
4.1.5 Cretácico.....	21
4.2 Estructuras principales.....	28
4.2.1 Falla de Bucaramanga	29
4.2.2 Falla del Río Perchiquez.....	30
4.2.3 Falla de Aratoca.....	30
4.2.4 Falla de Suárez.....	30
4.2.5 Falla de Los Santos.....	30
4.2.6 Falla Umpalá y Falla del Río Manco.....	30
4.2.7 Falla Rio Guaca	31

5.	Marco teórico.....	31
5.1	Geomorfología.....	31
5.1.1	Ambiente Estructural.....	32
5.1.2	Ambiente Denudacional.....	32
5.1.3	Ambiente Fluvial y Lagunar.....	32
5.1.4	Ambiente Kárstico.....	33
5.1.5	Ambiente Antropogénico.....	33
5.2	Ilustración científica.....	33
5.3	Patrimonio geológico.....	34
5.4	Ilustraciones en Procreate.....	34
6.	Métodos y herramientas.....	35
6.1	Revisión del estado del arte.....	35
6.2	Compilación de material fotográfico y satelital de la zona.....	35
6.3	Salidas de campo para identificación de geoformas.....	36
6.4	Transformación de la información a representaciones ilustradas.....	36
6.5	Elaboración del catálogo de geoformas.....	36
7.	Resultados.....	37
7.1	Localización de las zonas.....	37
7.1.1	Zonificación.....	37
8.	Discusión.....	72
9.	Conclusiones.....	74
	Referencias.....	76
	Apéndices.....	83

Lista de figuras

Figura 1. a) Departamentos de Colombia. b) Mapa geológico de la zona de estudio, tomado y modificado de Velandia (2017).	14
Figura 2. Mapa del lago de Soatá, tomado de Galvis (2016)	27
Figura 3. Mapa de fallas principales de la zona de estudio. Tomado y modificado de Velandia (2020).	28
Figura 4. Mapa de localización de las zonas y sitios ilustrados según el número de cada figura para los ambientes geomorfológicos. Tomado y modificado de Velandia (2017).	37
Figura 5. (a) Mapa de la Zona I Capitanejo (Parte Sedimentaria) y (b) mapa geológico con los pliegues cartografiados en la formación Tibú-Mercedes siendo atravesados por el río Nevado.	39
Figura 6. El río Nevado deja observar los estratos de las formaciones cretácicas Tibú-Mercedes (Kitm), conformando pliegues complejos, resultado del ambiente compresivo de la zona en estilo estructural de piel delgada.	39
Figura 7. Los plegamientos en la formación Tibú-Mercedes (Kitm) al margen izquierdo del río Nevado, representados con un punto amarillo en la Figura 5. Se observa que estos pliegues y los de la Figura 6 comparten los mismos ejes	40
Figura 8. Pliegues en la Fm. Colón y Mito-Juán (Kscm). Zona afectada por la Falla de Chicamocha-Soapaga, presentan los cabalgamientos y retrocabalgamientos con vergencia principal al E (Forero et al. 2020).	42
Figura 9. Estoraques en coluviones cerca de Soatá.	43
Figura 10. Depósitos cuaternarios visibles por la vía Tipacoque-Capitanejo.	44

Figura 11. Vereda La Mesa, Capitanejo.	45
Figura 12. Lomo de la Mesa del Fraile y Lomo El Tendido. Corresponden a lomos de presión de la Falla de Bucaramanga. La litología presente en estos lomos son granitos del Jurásico (JTRcm).	46
Figura 13. Mapa de la zona Cepitá y las estaciones marcadas en puntos blancos.	47
Figura 14. Secuencia evolutiva de un dique riolítico emplazándose en una fractura de los Esquistos de Chicamocha.	48
Figura 15. Secuencia de evolución de un dique expuesto cerca al Puente de entrada a San Miguel.	49
Figura 16. La Chorrera desde la vía Cepitá-San Andrés.	50
Figura 17. Facetas triangulares en loma denudada conformada por depósitos cuaternarios en El Embudo evidencian el paso de la Falla del Río Guaca. Imagen de referencia en el apéndice B.	50
Figura 18. Paso de uno de los trazos menores asociados a la Falla de Bucaramanga en la vereda Pescadito.	51
Figura 19. Vereda Pescadito.	53
Figura 20. Abanico aluvial antiguo o colgado de Cepitá (Mesa de Abanico).	54
Figura 21. Abanicos aluviales y terrazas antiguas que se erosionan con el flujo de material erosionado más recientemente. Imagen referenciada en el apéndice C.	55
Figura 22. Desde el mirador Loma Colorada en Cepitá vista con orientación S30E en la que se aprecia la geomorfología fluvial y aluvial del río Chicamocha.	55
Figura 23. Cauce aluvial en una quebrada en Pescadito que mueve grandes cantidades de material por la alta tasa de erosión que sufren las rocas graníticas de la zona.	56

Figura 24 (a, b, c, d). Secuencia de formación de abanicos aluviales sub-recientes y actuales	58
Figura 25. Zona Pescadero y estaciones de trabajo.	59
Figura 26. Mirador morfoestructural en la entrada a la vía a Cepitá.	60
Figura 27. Cartografía de la Falla de Bucaramanga por sectores, rasgos morfológicos y sistema Riedel, indicadores de cinemática de rumbo sinestral, ventana B. (Tomado y modificado de Velandia, 2017).	60
Figura 28. Otra perspectiva del paisaje dominado por la actividad de las fallas. provocando un cambio en el curso del río Manco.	61
Figura 29. Conos de deyección en la zona de daño de la Falla de Bucaramanga en la Formación Silgará.	63
Figura 30. Influencia de la Falla de Bucaramanga, produciendo geoformas estructurales como hombreras o bermas de falla y facetas triangulares en Umpalá.	63
Figura 31. Mapa de la Zona Mesas y la Zona Cuestas.	64
Figura 32. Vista desde la Mesa de Los Santos hacia la quebrada Montegrande en Jordán.	64
Figura 33. Esquema que ilustra un estadio más temprano en la erosión de la quebrada La Laja, que confluye con la quebrada Montegrande.	65
Figura 34. Vista de La Mesa de Los Santos (lado izquierdo) frente a la mesa de San Pedro (lado derecho).	66
Figura 35. Las Juntas es el lugar donde confluyen los ríos Suárez y Chicamocha para conformar el río Sogamoso.	67
Figura 36. Ambiente de erosión y denudación por el río Sogamoso.	67
Figura 37. Vista desde las Mesa de Los Santos hacia Villanueva.	69

Figura 38. Cañón formado por el río Sogamoso. 70

Figura 39. Karst en la Formación Los Santos. 71

Figura 40. Fotografía de Mauricio Carrillo para referencia de la escala de la Figura 39..... 72

Lista de Apéndices

Apéndice A. Imágenes de referencia de la Figura 11 (a-b-c).....	83
Apéndice B. Referencia de la Figura 17.....	83
Apéndice C. Referencia de la Figura 21.....	84
Apéndice D. Quebrada Seca. Imagen de referencia de la Figura 24.....	85
Apéndice E. Geformas cartografiadas en la quebrada Talarcuta. (Tomado y modificado de Diederix et al. 2008).	85
Apéndice F. Depósitos cuaternarios cartografiados en El Embudo (Tomado y modificado de Diederix et al. 2008). Qdl es un depósito de coluvión. Qal son depósitos aluviales.....	86
Apéndice G. Bermas de falla en el Neis de Bucaramanga (PDb) producto del trazo principal y un trazo secundario de la Falla de Bucaramanga (Tomado y modificado de Diederix et al. 2008).....	87
Apéndice H. Mapa de amenaza relativa en la región de Soatá (Modificado de SGC, 2015).	87
Apéndice I. Mapa de amenaza relativa en la vereda La Mesa, lugar de la estación	88
Apéndice J. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa en la zona de Cepitá (Modificado de SGC, 2014)	89
Apéndice K. Mapa geológico de la franja Pescadero-Aratoca, indicando la localización de las muestras estudiadas PS-1-1 y PS4-1. FB-Falla de Bucaramanga; FLSA-Falla Los Santos-Aratoca. Modificado de Ríos et al. (2003) en Mantilla et al. (2016).....	89

Resumen

Título: Catálogo ilustrado de geomorfología en el Cañón del Chicamocha, región del departamento de Santander.¹

Autor: Evelyn Dayana Ortega Martínez²

Palabras clave: Geomorfología, ilustración, Cañón del Chicamocha, patrimonio geológico.

En el Cañón del Chicamocha son observables los ambientes geomorfológicos denudacional, estructural, fluvial y lagunar, kárstico y antropogénico. Es una zona de geología diversa gracias a la influencia tectónica de un complejo sistema estructural con fallas de relevancia regional como la Falla de Bucaramanga. Este trabajo contiene ilustraciones de 26 puntos de interés geomorfológico a lo largo del curso del río Chicamocha, en las que se identifican las geoformas predominantes del área, se realiza un análisis de su formación según las características litológicas y estructurales y se denominan siguiendo el Glosario de términos Geomorfológicos del SGC (2015), con el propósito de transformar el panorama de la geología en un concepto visual entendible para los geólogos y la comunidad en general, creando conciencia del valor patrimonial que posee el territorio.

¹ Catálogo ilustrado de geomorfología en el Cañón del Chicamocha, región del departamento de Santander.

² Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Francisco Alberto Velandia Patiño. Geólogo Doctor en Geociencias

Abstract

Title: Illustrated catalog of geomorphology in the Cañón del Chicamocha, region of the department of Santander.¹

Author: Evelyn Dayana Ortega Martínez²

Keywords: Geomorphology, illustration, Cañón del Chicamocha, geological heritage.

In the Cañón del Chicamocha there are denudational, structural, fluvial, lagoonal, karstic and anthropogenic geomorphological environments. It is a land of diverse geology due to the tectonic influence of a complex structural system with relevant regional faults such as the Bucaramanga fault. This project contains illustrations of 26 stations that are of geomorphological interest through the course of the Chicamocha river, in which the predominant landforms in the area are identified, analyzing its formation process according to the lithological and structural characteristics and following the Geomorphological terms Glossary (SGC, 2015), with the purpose of transforming the outlook of geology into a visual concept understandable for geologists and general public, creating consciousness about the patrimonial value of the territory.

¹Illustrated catalog of geomorphology in the Cañón del Chicamocha, region of the department of Santander.

² Faculty of Physical and Chemical Engineering. Geology. Advisor: Francisco Alberto Velandia Patiño, Geologist, PhD in Geosciences.

Introducción

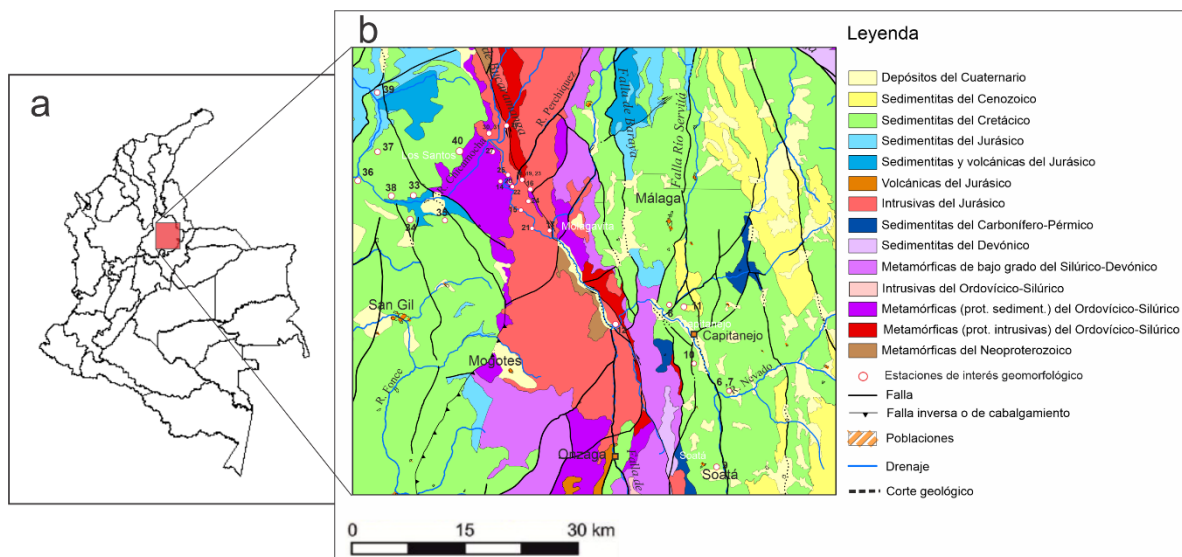
La falta de entendimiento de la geología en la población es una problemática de la que poco se habla. La ciencia en la toma de decisiones es fundamental para gestionar los riesgos, recursos y elementos de patrimonio natural. Sin una formación geo-educativa consistente, la sociedad se enfrenta a desafíos de planificación urbana, la construcción de infraestructuras seguras y el desarrollo sostenible. El desarrollo de trabajos enfocados en geología regional y estructural, geomorfología y patrimonio geológico permiten que haya un conocimiento geológico del área, indispensable para la creación de nuevo material interpretado, donde se presenta la información clave para comprender las formas de los paisajes en el Cañón del Chicamocha. Este trabajo comprende la exploración e identificación geomorfológica que se expone a lo largo del Río Chicamocha, desde la cuenca media en Soatá hasta el municipio de Los Santos, y la dispone en ilustraciones visuales y descriptivas. Fomentar una educación geológica sólida es crucial para mejorar la convivencia con nuestro entorno. En este contexto, la ilustración científica se erige como una herramienta efectiva para la documentación y explicación de conceptos geológicos complejos. Al transformar la información técnica y abstracta en representaciones gráficas claras y detalladas, se facilita la visualización de estructuras, procesos y fenómenos difíciles de captar a través de descripciones textuales. Con esto en consideración, el análisis geomorfológico con ilustraciones en el Cañón del Chicamocha es un aporte a la investigación científica y a la producción de material para la apropiación social del conocimiento, generando impacto en las metodologías de geoeducación en beneficio del desarrollo sostenible de la sociedad.

1. Localización

El análisis de ambientes geomorfológicos se realiza en la cuenca hidrográfica del Cañón del Chicamocha, principalmente en la región del departamento de Santander y parte del departamento de Boyacá. Las estaciones comienzan en el municipio de Soatá, continuando el curso del río Chicamocha por Capitanejo, Molagavita, Cepitá, Los Santos, hasta el puente Gómez Ortiz en el municipio de Girón (Figura 1). El área de estudio está dentro de la zona de daño de la Falla de Bucaramanga por la cual han exhumado rocas del Neoproterozoico (Velandia, 2017) haciendo contacto con la secuencia sedimentaria del Jurásico y Cretácico a lo largo del Cañón del Chicamocha, agregando un componente de diferentes litologías metamórficas, ígneas y sedimentarias.

Figura 1

a) Departamentos de Colombia. b) Mapa geológico de la zona de estudio, tomado y modificado de Velandia (2017).



2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Elaborar un catálogo científico ilustrado de los ambientes geomorfológicos del Cañón del Chicamocha dirigido al público general.

2.2 Objetivos específicos

Evaluar el estado actual del conocimiento geomorfológico en el Cañón del Chicamocha a partir de la compilación y revisión de la información técnica disponible.

Ilustrar rasgos geomorfológicos por medio de fotografías del Cañón del Chicamocha en diferentes escalas para hacer las geoformas más explícitas.

Transformar el conocimiento de geomorfología en información ilustrada y de fácil entendimiento para enseñar a un público más amplio.

3. Justificación

Para el Estado y la población es importante que la inversión en proyectos orientados a solucionar problemáticas del entorno natural del territorio tenga soporte científico, según la geología de cada región, y que sean evaluadas con un criterio objetivo y fundamentado. Además, que los habitantes puedan comprender las bases técnicas de los procesos naturales que los afectan. El Cañón del Chicamocha ha sido moldeado por la incidencia de fenómenos meteorológicos, tectónicos y magmáticos expresados por la erosión y el surgimiento de geoformas. En este trabajo, los ambientes geomorfológicos presentes en el Cañón del

Chicamocha son clasificados siguiendo el Glosario de términos geomorfológicos del Servicio Geológico Colombiano (2015) como ambiente denudacional, fluvial y lagunar, estructural, cárstico y antropogénico, cada uno con consecuencias socioambientales como zonas de riesgo por amenaza sísmica, de movimientos en masa (derrumbes, deslizamientos, hundimientos), escasez de agua y otras implicaciones que pueden impactar aspectos económicos. Un conocimiento integral de estos procesos y geoformas genera interés científico y de educación, incluso para definir políticas de patrimonio natural y cultural que puede llegar hasta la conservación, en otras palabras, “se puede conservar y defender lo que se conoce”.

La comprensión de los diferentes ambientes geomorfológicos presentes en el Cañón del Chicamocha junto con el inventario de documentos y el diseño de ilustraciones como material visual explicativo constituyen una herramienta para la apropiación social del conocimiento al transmitir información geológica, que resulta distante para la comunidad en general. Para suplir la necesidad que nace desde la cultura educativa y el poco entendimiento en los habitantes de la región sobre su entorno geológico, se plantea la elaboración de un catálogo de geoformas que provea la información de manera ilustrada, sin dejar de lado la parte técnica. Con este catálogo se procura facilitar el entendimiento del paisaje geológico como resultado de la interacción de los procesos endógenos y exógenos, además de sus efectos en el hábitat.

4. Marco geológico

4.1 Estratigrafía

4.1.1 *Precámbrico*

Neis de Bucaramanga (PDb)

Consiste en una secuencia metamórfica estratificada compuesta por rocas meta-sedimentarias de alto grado metamórfico, principalmente paragneis pelítico, semi-pelítico y arenáceo, esquisto y en menor proporción de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita (Ward et al. 1973). Existen algunos niveles esquistosos de grano muy fino, son evidentes las texturas migmatíticas, bandeamiento composicional y el desarrollo de leucosomas cuarzo- feldespáticos concordantes a la foliación (Urueña, 2014). El rango de edad del Neis de Bucaramanga se define entre el Precámbrico y el Cámbrico, acorde a las edades de 680 ± 140 Ma reportadas por Goldsmith et al. (1971); de 945 ± 40 Ma por Ward et al. (1973) y de 800 a 850 Ma por Restrepo-Pace et al. (1997). Estudios geocronológicos de Cordani et al. (2005) establecen la edad de deposición del protolito en el rango de 1200 a 1300 m.a., afectado por eventos metamórficos relacionados temporalmente con la orogenia Grenvilliana.

4.1.2 *Pre-Devónico*

Formación Silgará (PDs)

Denominada así por la quebrada Silgará, en la parte noreste del cuadrángulo H-12, al sur del río Cachirí, donde la formación se encuentra expuesta por una faja de 15 km de ancho.

En Ward et al. (1973) la describen infrayaciendo a la Formación Floresta y suprayaciendo al Neis de Bucaramanga a pesar de no haber sido reportada la base. Las litologías son principalmente metapelíticas y metasemipelitas, las cuales alcanzaron el máximo pico de metamorfismo en la facies Esquistos Verdes. Según Mantilla et al. (2016), se determinó la máxima edad de depositación del protolito entre $906,5 \pm 10,5$ Ma y $1.610,3 \pm 9,8$ Ma, definiéndose como Neo-proterozóico (Toniano). Por otra parte, Mantilla et al. (2016) propone la escisión de la Fm. Silgará en: (1) Unidad Esquistos del Silgará, con una máxima edad estratigráfica del Neoproterizóico (Toniano); (2) Unidad Esquistos del Chicamocha, con una máxima edad estratigráfica del Cámbrico medio-temprano y (3) Unidad Filitas de San Pedro, con una máxima edad estratigráfica del Ordovícico medio.

Ortoneis (PDo)

Esta unidad es un cuerpo metamórfico de origen ígneo, neises cuarzo feldespáticos que varían en composición desde granito a tonalita. Se encuentra distribuido en las rocas metamórficas de alto y medio grado formando el núcleo del macizo de Santander (Ward, et al., 1973). Estas rocas son en general masivas, contienen tabiques de rocas metasedimentarias foliadas y cortinas delgadas de neis hornbléndico y anfibolita, algunas de las cuales parecen diques metamorfoseadas. Las edades obtenidas para el Ortoneis en el estudio de García et al. (2017) fueron de $464 \pm 9,6$ Ma, 479 ± 10 Ma, 471 ± 11 Ma, las cuales consideraron consistentes con otros estudios como en Goldsmith, et al. (1971), que obtuvieron edades para el Ortoneis entre 413 ± 30 Ma.

4.1.3 Devónico

Formación Floresta (Dfm)

La definición actual de la Formación Floresta fue establecida por Botero (1950). La unidad representa el miembro intermedio del Conjunto Sedimentario Paleozoico, compuesto por litologías fundamentalmente pelíticas y fosilíferas. Mojica y Villarroel (1984) la describen con un 90% por arcillolitas y limolitas laminadas y sedosas, micáceas, de tonos ocre a beige, aunque en ciertos lugares puede presentar color oscuro, gris plomizo. En el resto de la formación se encuentran ocasionalmente intercalaciones arenosas finogranulares, en general amarillo-grisáceas, que al final se tornan más frecuentes y contienen a veces abundantes bio y litoclastos de los estratos directamente infrayacentes. De acuerdo con las opiniones de Caster (1939), Royo y Gómez (1942) y Morales (1965), la asociación fosilífera indica que se está ante el Devoniano Medio.

Floresta metamorfoseada

Unidad del Silúrico-Devónico también conocida como metamorfitas de Guaca-La Virgen (Velandia, 2017). La parte ligeramente metamorfoseada de la formación cubre la Formación Silgará cerca de Mogotes y de San Joaquín. La misma formación en la parte sur de esta faja muestra un grado muy bajo de metamorfismo que aumenta hacia el norte, aunque aparentemente el lado más alto alcanzado, se conserva todavía dentro de la facies del esquisto verde en el área al sureste de Berlín y sureste de Silos (Ward et al., 1973). Existe un incremento de metamorfismo hacia la parte central del macizo, en las cercanías de los cuerpos intrusivos graníticos, relacionando la temperatura al metamorfismo (Vargas et al., 1984).

4.1.4 Jurásico

Granito de Pescadero (JTRgp)

El Granito de Pescadero es un cuerpo ígneo, producto de la actividad magmática del Jurásico (Ward et al., 1973; Etayo et al., 2016), con edades entre 200 y 191 Ma. La definición del Granito de Pescadero fue dada por Ward et al. (1973) y su nombre por Goldsmith et al. (1971), debido a la litología dominante. Royero y Clavijo (2001) denominaron posteriormente este cuerpo como Granito Rosado y mencionaron la posibilidad de que perteneciera al Batolito de Mogotes. El Granito de Pescadero está compuesto principalmente de sienogranitos, seguidos de monzogranitos, y esporádicamente se pueden encontrar granodioritas. Lo intruyen diques pegmatíticos, aplíticos, de riolitas y riodacitas (Zapata et al. 2020). Está asociado a las unidades **JRcs**: Cuarzomonzonita de Santa Bárbara; **JRc**: Cuarzomonzonita, biotítica, blanca a rosada, grano medio, alaskita.

Formación Jordán (Jj)

Cediel (1968) describió por primera vez la Formación Jordán como una secuencia de areniscas de grano grueso, intercaladas con conglomerados de cuarzo, lutitas verdosas, limonitas y areniscas rojas de grano muy fino de edad Paleozoica; sin embargo, en Ward et al. (1973), por relaciones estratigráficas, le asignaron una edad Jurásico Temprano. La Formación Jordán descansa conformemente sobre la Formación Bocas, mientras la Formación Girón la sobreyace con discordancia angular (Ward et al., 1973). Esta unidad según datos recientes de Alarcón et al. (2019) obtenidos por U/Pb en circones de una toba y una ignimbrita data de hace 199 Ma.

Formación Girón (Jg)

En su localidad tipo (río Lebrija, Cordillera Oriental de Colombia), la Formación Girón está compuesto por una serie de areniscas e intercalaciones periódicas de lutitas rojas

(red beds), de una potencia total aproximada de 4.840 m. La unidad está constituida por subgrauwacas y lutitas rojas depositadas en un ambiente fluviátil o limno-fluviátil principalmente (Cediel, 1968).

4.1.5 Cretácico

Formación Los Santos (Kils)

La formación es edad Barriasiano temprano, por las amonitas encontradas en la zona (Cediel, 1968; Etayo y Rodríguez, 1985), sin embargo, Ward et al. (1973) le asigna un intervalo de tiempo Valanginiano – Hauteriviano, determinada por fósiles. Su litología es de rocas siliciclásticas de origen continental, que están constituidas por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo-grisáceas y cuarzo areniscas grises amarillentos, con estratificación cruzada, en capas tabulares de espesores variables. Laverde (1985) subdividió la Formación Los Santos en cuatro segmentos y en Laverde (2023) profundiza la descripción con las facies de los segmentos. En el segmento A se encuentran litologías arenosas, conglomeráticas, con variaciones en el soporte de la roca y tendencias grano-crecientes y grano-decrecientes. En el segmento B, se intercalan capas de areniscas lodosas rojo-grisáceas y limolitas, de color gris verdoso, muy calcáreos y con presencia de remanentes vegetales, así como estructuras de raíces e ichnofósiles. El segmento C se compone de paquetes delgados a gruesos de areniscas con estratificación cruzada sencilla, con granulometría de fina a media, y coloraciones grises pardo, rosa grisáceo y rojo pálido. Estos paquetes se encuentran intercalados con capas localmente gruesas a muy delgadas de limolitas y lodolitas. La parte superior o el segmento D, lo conforman capas intercaladas de areniscas y lodolitas. Al tope las areniscas son cuarzosas de grano fino a muy fino e intercaladas con

capas delgadas a gruesas de limolitas y se observa un aumento de presencia fósil.

Formación Rosa Blanca (Kir)

A esta unidad le fue asignada una edad en el Hauteriviano por análisis de la fauna fósil presente (Morales et al., 1958). La formación está compuesta por varios niveles: el inferior de calizas y dolomitas intercaladas con calizas de color marrón, un nivel margoso seguido de niveles de shales intercalados con calizas, un nivel arenoso y en la parte superior un nivel lumaquélico, la variedad litológica indica que las condiciones del depósito no fueron constantes (Zamarreño, 1963). El espesor aproximado de esta formación es de 200 m en la zona de Barichara-Villanueva (Velandia & Rojas, 2010).

Formación Paja (Kip)

La Formación Paja en la mesa de los Santos contiene amonitas como *Nicklesia* en la parte inferior, mientras en su parte superior se encuentran *Hetroceras*, *Santandiceras*, *Cheloniceras* y *Colombiceras*. La edad definida para esta formación es de Barremiano-Aptiano. (Morales et al., 1958). La Formación Paja está compuesta por shales de color negro, ligeramente calcáreos. La parte inferior (300 m de espesor) presenta concreciones fosilíferas de caliza. También se encuentran vetas de calcita y septarias. El espesor de la unidad varía en diferentes locaciones entre 125 y 625 m. Velandia y Rojas (2010) muestran un espesor aproximado de 270 m para esta formación en la mesa de Barichara. Esta unida en su parte basal está en contacto neto con la Formación Rosa Blanca y en la parte superior un contacto gradual con la Formación Tablazo (Morales et al., 1958).

Formación Tibú Mercedes (Kitm)

En este trabajo se tiene en cuenta la nomenclatura de la Cuenca del Catatumbo para estas formaciones en el margen derecho del Cañón del Chicamocha. Ward et al. (1973) define ambas unidades separándolas por diferencias litológicas, con Tibú primero en depositarse. Para la parte más occidental habrá que referirse a las formaciones como Los Santos, Cumbre, Rosa Blanca, La Paja, Tablaza y Simití de la Cuenca Valle Medio del Magdalena (Barrero et al., 2007).

Tibú, según Ward et al. (1973), es una unidad compuesta desde la base por caliza gris oscura de grano fino y fosilífera. Sobre esta litología yace una capa de arenisca gris amarillenta clara de grano fino, micácea y arcillosa ligeramente calcárea. Luego se encuentra caliza gris oscura, dura de grano fino y con presencia de fósiles. Unas areniscas de color marrón amarillento de un grano fino de composición arcillosa y micácea continúan la sucesión. Ya casi llegando al tope se encuentra una composición de arenisca de color blanco amarillenta bastante dura de un grano fino a medio. En el tope se encuentra un granito blanco de grano medio a grueso meteorizado.

Ward et al. (1973) describe la composición de la unidad Mercedes, hacia la base es de shales de color negro a gris oscuro, calcáreo en algunas capas con intercalaciones de arenisca amarillenta a gris marrón, con un grano fino y de una baja dureza. Encima encontramos capas de shale gris oscuro, de textura quebradiza a fisil, con características micáceas y con pocas intercalaciones de arenisca de grano fino arcillosa y gris amarillento. Luego se nota una composición de shales negros y gris marrón quebradizo micáceo con pocas intercalaciones de arenisca de grano fino, arcillosa y gris amarillenta. Encima se encuentran areniscas de color gris marrón de grano fino, arcillosa y ligeramente micácea de una dureza

baja. Seguido se encuentra una composición de caliza gris oscura a negra fosilífera con venas de calcita e intercalaciones delgadas de shale gris oscuro y arenisca gris. Hacia el tope se encuentra arenisca gris amarillenta y marrón, dura, de un tamaño de grano fino arcilloso.

Formación Aguardiente (Kia)

Unidad compuesta por arenisca blanca amarillenta a gris amarillenta, de un grano fino a medio, con composición feldespática, micácea y glauconítica. Seguido se encuentran areniscas grises amarillenta, de un grano medio a grueso, conglomerática, micácea con lentes de shale negro, quebradizos y carbonáceo. Encima se encuentra una capa delgada de composición de shale negro quebradizo a fisil y micáceo. Luego se encuentran areniscas blancas amarillenta a gris amarillenta dura, micácea y feldespática con intercalaciones de shale negro. Finalmente, hacia el tope se encuentran areniscas blancas amarillentas a gris amarillenta, también dura, micácea y feldespática con pocas intercalaciones de shale negro (Ward et al. 1973).

Formación Tablazo (Kit)

Se encuentra en contacto concordante en la parte inferior con la Formación Paja y en la parte superior con la Formación Simití. Se la ha asignado una edad Aptiano superior-Albiano inferior (Morales, et al., 1958). La Formación Tablazo está compuesta por calizas grises a negras, con presencia de fósiles y localmente glauconíticas y arcillosas de color negro. También presentan arcillolitas grises, calcáreas fosilíferas, con intercalaciones de areniscas grises de grano fino a medio. En la Mesa de Barichara, Velandia y Rojas (2010) muestran un espesor estimado de 310 m.

Formación Capacho (Ksc)

La Formación Capacho en su miembro superior o “Guayacán”. Es caliza gris-marrón en paquetes masivos, con alta densidad fosilífera e intercalaciones de shale negro. El miembro medio se compone de shale gris oscuro a negro, con poca presencia de capas de limolita y caliza gris, arcillosa y fosilífera. El miembro inferior es de shales negros, muy calcáreos y calizas muy fosilíferas (Ward et. al, 1973).

Formación La Luna (Ksl)

Esta formación está conformada por sucesiones de calizas y shales bituminosos con concreciones, y hacia su parte superior se observan niveles con lentes fosfáticos y niveles glauconíticos. Terraza (2019) propone esta unidad como una formación diferente denominada Formación La Renta.

Formación Colón y Mito-Juán (Kscm)

Definida en Vargas et al. (1984) en tres paquetes. Desde la base está conformada por bancos de arenisca glauconítica, calizas con ostreas y arcillas negras, niveles de arenisca micácea de grano fino. La parte intermedia contiene areniscas de grano fino a medio, algunas conglomeráticas, intercaladas con arcillas negras laminadas. La parte superior corresponde arcillas negras laminadas con areniscas micáceas de grano fino y algunas capas de carbón.

Formación Cuervos (Tple)

En la base, limolitas verdes, seguida por arcillas y areniscas arcillosas claras, con mantos esporádicos de carbón.

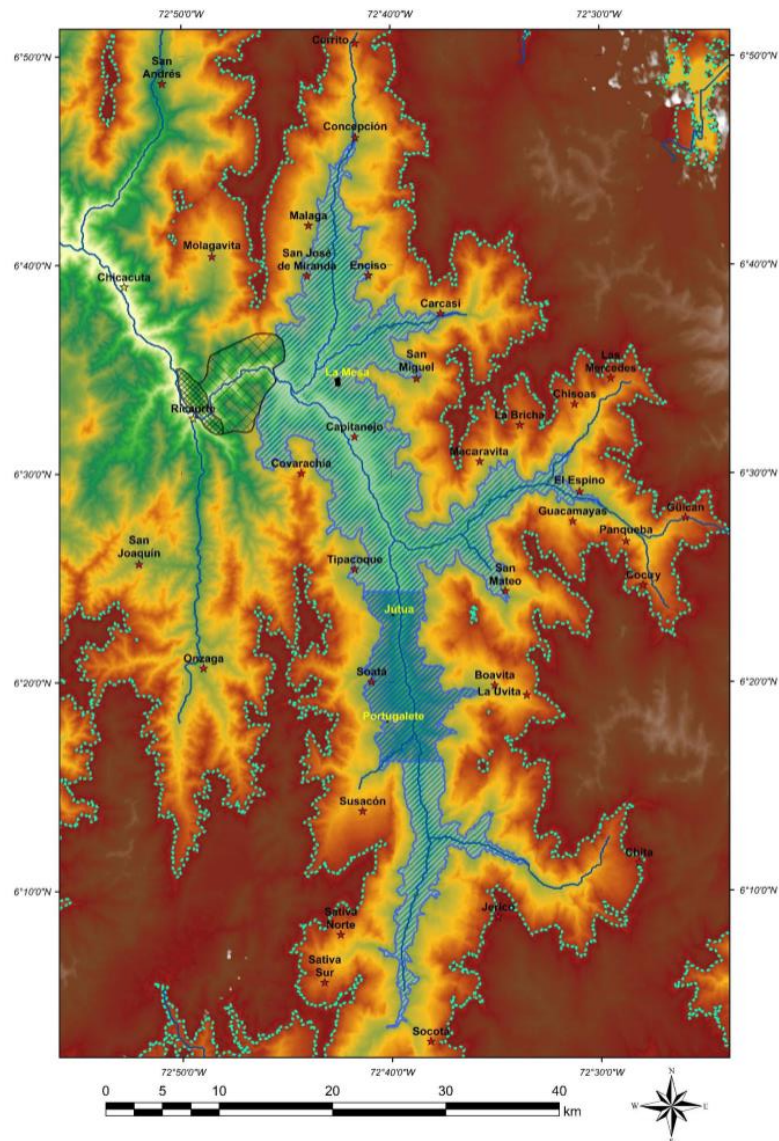
Depósitos cuaternarios (Qc, Qal, Qtf, Qab)

Se utiliza el Mapa Morfotectónico del Sistema de Fallas Bucaramanga Zona Sur: Ricaurte-Bucaramanga (Diederix et al. 2008) para definir las geoformas relacionadas a depósitos cuaternarios.

En las zonas de Capitanejo, se reportan depósitos cuaternarios como aluviones, coluviones y derrumbes. Además, se registran depósitos lacustres que pueden ser asociados con la propuesta de un paleo-lago. Villarroel et al. (2001) lo llamó “Lago de Soatá” y Galvis (2016) presenta un mapa de extensión del lago que soporta la teoría con el análisis geomorfológico de los lomos “Mesa del Fraile” y “Lomo del Tendido”.

Figura 2

Mapa del lago de Soatá, tomado de Galvis (2016).



El área azul es la extensión del lago de Soatá propuesto por Villarroel et al. (2001). Con una altitud máxima de 1.950 m.s.n.m. hasta el municipio de Soatá y al norte delimitado por el valle estrecho del Cañón del Chicamocha, donde se encuentran los lomos Mesa del Fraile y Lomo del Tendido. Los depósitos de interés están ubicados en Portugalete, Jútua y

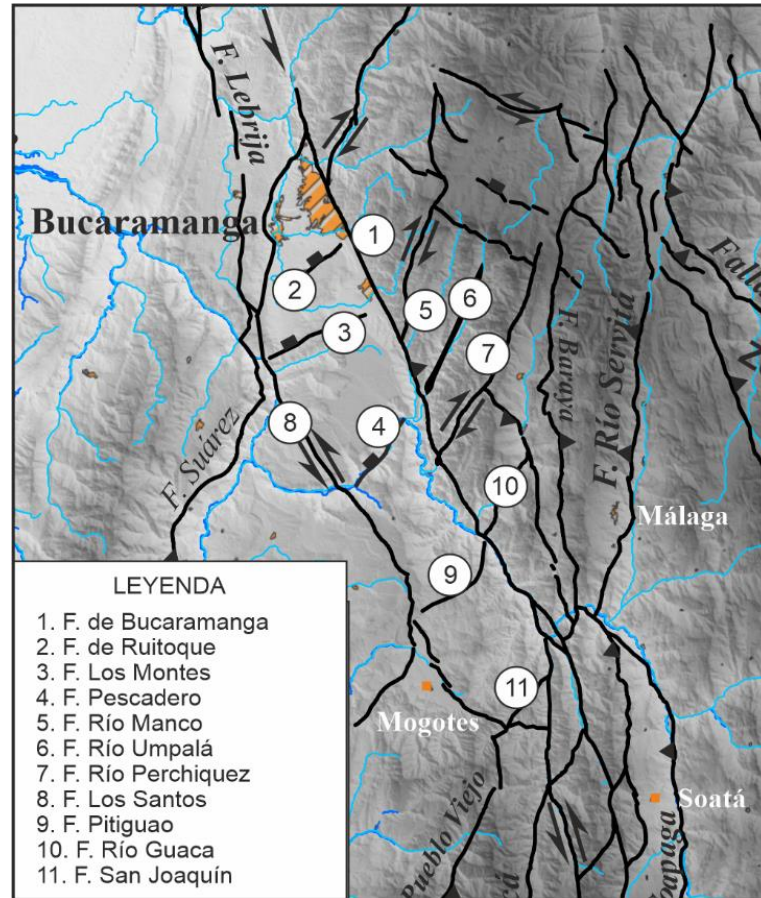
La Mesa, en los cuales se realizó datación de C14 que arrojó resultados de 45.900 ± 1.600 y 39.600 ± 800 años BP. Se considera que las condiciones del ecosistema eran diferentes teniendo en cuenta que la línea azul puntuada representa el avance glacial en la época según Van Der Hammen et al. (1980).

4.2 Estructuras principales

El río Chicamocha se abre paso por la Cordillera Oriental desde el departamento de Boyacá atravesando el departamento de Santander, siguiendo el trazo de la Falla de Bucaramanga en un ambiente transpresivo de rumbo sinestral e inverso en un sistema de fallas que se conjugan y producen el complejo de geomorfología estructural activo que evidencia su actividad desde el afloramiento de rocas del Pre-Cámbrico como el Neis de Bucaramanga hasta neotectónica en depósitos cuaternarios.

Figura 3

Mapa de fallas principales de la zona de estudio. Tomado y modificado de Velandia (2020).



4.2.1 *Falla de Bucaramanga*

Se trata de un sistema de fallas transpresivo, con un tramo principal individual de 82 km desde Bucaramanga hacia el sur, con dirección NW-SE. El desplazamiento sinistral mínimo es de 18 km a 30 km, y se observa una zona de daño de 5 km a 8 km de ancho con fallas subparalelas de hasta 60 km de longitud (Velandia, 2017). Esta falla tiene una notoria expresión geomorfológica con ejemplos como lomos de presión, lomos de obturación, ganchos de falla, facetas triangulares, sillas de montar, e incluso evidencias de actividad en el Cuaternario como drenajes desviados y terrazas colgadas (Ujueta, 2003, Galvis et. al, 2014, Velandia y Bermúdez, 2018).

4.2.2 *Falla del Río Perchiquez*

La Falla del Río Perchiquez se extiende aproximadamente 9 km en dirección N40°E. Presenta facetas triangulares poco desarrolladas en las cercanías con la Falla de Bucaramanga, un pequeño lomo de falla, y un trazo sinuoso en la continuación de esta al noreste (Villamizar, 2017).

4.2.3 *Falla de Aratoca*

Con una orientación general de NW-SE y NNE-SSW, es una falla fosilizada bajo el cretácico, con cinemática inversa de alto ángulo que levanta el bloque oriental donde se ubica la Formación Silgará y la pone en contacto con la Fm. Jordán (Angel y Ramírez, 2015).

4.2.4 *Falla de Suárez*

Corresponde a una falla inversa de alto ángulo e inversión tectónica (Jiménez et. al, 2016) que sigue el curso de los ríos Suárez y Sogamoso y que tiene una longitud de 120 km en dirección N20°E hasta la Falla de Bucaramanga (París, 1994).

4.2.5 *Falla de Los Santos*

Falla de rumbo sinistral inversa (Velandia, 2017) que atraviesa la Mesa de Los Santos y se relaciona al SE con la Falla de Aratoca. Hoy en día una falla fósil.

4.2.6 *Falla Umpalá y Falla del Río Manco*

Estas fallas de dextrales de rumbo noreste se extienden desde la Falla de Bucaramanga atravesando rocas ígneas y metamórficas (Ward et al. 1973). Se encuentran en la parte suroccidental de la plancha H-13 y producen desplazamientos laterales derechos.

4.2.7 Falla Río Guaca

Falla inferida de dirección SE-NO que atraviesa la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y la Fm. Silgará (Vargas et al. 1984). Evidenciada por el lineamiento del Río Guaca y geoformas como facetas triangulares en el Embudo, Cepitá.

5. Marco teórico

La identificación de los ambientes geomorfológicos se logra teniendo en cuenta una serie de patrones característicos observables y cuantificables de cada uno. La implementación de dibujos para explicar estas formaciones, utilizando fotografías y herramientas digitales, se hace con fines de resaltar información para facilitar su entendimiento.

5.1 Geomorfología

La geomorfología se preocupa por las formas de la Tierra (Schumm, 1998). Se estudian los relieves producidos por la interacción de procesos endógenos que dan origen y componen las estructuras de los cuerpos rocosos, y exógenos como la meteorización y la erosión (Gutiérrez, 2008), que contribuyen en la formación de la mayoría de los ambientes geomorfológicos mediante el efecto constante de la disgregación y transporte del material de acuerdo con las condiciones meteorológicas y tectónicas a las que estén sometidas las rocas.

Las geoformas son la evidencia de procesos que ya sucedieron o están activos y, por esta razón, son pieza clave al momento de definir la geología de una región. De acuerdo con Strahler (1980), cada ambiente es un sistema de eventos específicos, que son medibles y apreciables para el hombre, Varían en magnitud y escalas temporales por lo que pueden

representar acontecimientos regionales y locales. Siguiendo ese orden, se clasifican las geoformas presentes en el Cañón del Chicamocha apoyándose en el apéndice A, Glosario de términos geomorfológicos de la Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (2015).

5.1.1 Ambiente Estructural

Expresiones geomorfológicas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la Tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, definidas por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades.

5.1.2 Ambiente Denudacional

Las geoformas que resultan de la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos.

5.1.3 Ambiente Fluvial y Lagunar

Geoformas originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.

5.1.4 *Ambiente Kárstico*

Incluye las geoformas originadas por meteorización química de rocas compuestas por minerales solubles en agua (caliza, dolomía, yeso), que origina terrenos esculpidos de configuración compleja con relieves positivos o negativos.

5.1.5 *Ambiente Antropogénico*

Están las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno.

5.2 Ilustración científica

Se trata de una rama de la ilustración que tiene el objetivo de transmitir conocimientos científicos, siendo una herramienta para describir, identificar, clasificar, caracterizar y sistematizar la información sobre el mundo natural. Su implementación tiene el fin de compartir conceptos técnicos que requieren una representación visual para optimizar su entendimiento. Cumple una función divulgativa, didáctica, de investigación y documentalista. Es la parte visual que facilita el estudio y amplía el conocimiento de las ciencias (Rouaux, 2014).

Las ilustraciones son diferentes de acuerdo con el tipo de ciencia que se esté aplicando. Para la geología, el estilo más utilizado es el esquemático. Un modelo simple facilita la comprensión de estructuras y procesos complejos. Sin embargo, suelen presentar la información como figuras ideales y con falta de detalle. El grado de detalle y la

complejidad puede variar desde esquemas muy sencillos (no muy llamativos pero prácticos) hasta representaciones casi foto-realistas, dependiendo de lo que se quiera mostrar (Pérez, 2013).

5.3 Patrimonio geológico

Martínez (2008) establece que el patrimonio geológico incluye todos los recursos naturales no renovables (formaciones rocosas, estructuras, formas, paisajes, yacimientos minerales y paleontológicos) que posean un valor científico, cultural, educativo, paisajístico y recreativo, y cuyo contenido permita estudiar e interpretar la evolución de la historia geológica de la Tierra.

Carcavilla et al. (2008) habla del patrimonio geológico y la geodiversidad como una relación de poca intervención. La definición de las diferentes clases de geodiversidad, la variedad, frecuencia y distribución de estas, aporta en la valoración de la calidad o interés. En otras palabras, una zona muy geodiversa puede no tener lo necesario para ser considerado patrimonio geológico, al igual que una con gran relevancia de patrimonio puede ser homogénea, y viceversa.

En el caso de este proyecto, no se lleva a cabo una valoración del patrimonio geológico, sin embargo, es un aporte a la investigación, valoración y divulgación de los ambientes geomorfológicos del Cañón del Chicamocha, resaltando las características que lo convierten en una región de alto valor patrimonial.

5.4 Ilustraciones en Procreate

Procreate es un aplicativo de ediciones en gráficos ráster para dibujo digital,

desarrollado y publicado por Savage Interactive para iOS y iPadOS. Diseñado para responder a las posibilidades artísticas del iPad (Cho, 2022). El programa ofrece variedad de herramientas artísticas de alta calidad y componentes digitales que mejoran y facilitan la elaboración de las ilustraciones, figuras y esquemas. Las ilustraciones geomorfológicas se realizan aprovechando los elementos artísticos, geométricos y en algunos casos, formas en 3D del software para optimizar los resultados de cada imagen elaborada.

6. Métodos y herramientas

El proyecto consta de una metodología de cinco fases. Comenzando por una recopilación del estado del arte y del material del cual se va a disponer para la identificación y representación de los ambientes geomorfológicos, es un trabajo continuo y acompaña la realización de las siguientes fases, las cuales introducen una dinámica de observación y análisis, para generar cada uno de los resultados que serán inventariados como geoformas.

6.1 Revisión del estado del arte

Se lleva a cabo una investigación de los antecedentes en el tema, tanto de la geomorfología en el Cañón del Chicamocha como de las ilustraciones en esta ciencia. De cada material encontrado se toma en cuenta la información y la forma en que la representan y explican.

6.2 Compilación de material fotográfico y satelital de la zona

Se crea un archivo que reúne todas las fotografías disponibles para los autores, sean de origen propio o aportados por externos (incluyendo satelital), en el que se clasifican dichas

imágenes para establecer los ambientes geomorfológicos y constituir el material base para las ilustraciones del catálogo.

6.3 Salidas de campo para identificación de geoformas

La identificación de las geoformas y ambientes geomorfológicos, así como la captación del material fotográfico existente y por obtenerse, se realiza por medio de visitas de campo, antes y durante el desarrollo del proyecto.

6.4 Transformación de la información a representaciones ilustradas

Este proceso comienza desde la identificación de las geoformas. Al observar cada elemento se tiene en cuenta:

- a) Clasificación según geoforma y ambiente
- b) Escala
- c) Nivel de conservación (meteorización y erosión)
- d) Principios geológicos que rigen sobre la formación de las geoformas

Posteriormente, las geoformas son dibujadas priorizando la imagen real, generando figuras que combinan el dibujo con la realidad, apoyándose en el tecnicismo, simbología y trazos que evidencian las estructuras presentes y sea entendible para cualquier observador.

6.5 Elaboración del catálogo de geoformas

Para la fase final del proyecto se cuenta con las ilustraciones realizadas y clasificadas en una sectorización que reúna las características más relevantes de cada una con una explicación breve de su proceso de formación y su significado en el ambiente. Es objetivo en esta fase es organizar los resultados mencionados en un catálogo diseñado para mostrar la geomorfología del Cañón del Chicamocha como un aporte científico que comparte intereses

sociales.

7. Resultados

Se seleccionaron 27 locaciones de interés sectorizadas en cinco zonas según la ubicación y el ambiente geomorfológico. Las ilustraciones se realizaron con el estilo de dibujo de la autora y recomendaciones de la guía práctica de dibujo geológico de Matthew Genge (2020). Las fotografías provienen de diferentes autores. Se utiliza Google Earth como complemento para la observación del relieve y relacionar el ambiente geomorfológico con el trazo de las fallas. Las capturas fueron ilustradas otorgando nuevos ángulos al análisis.

7.1 Localización de las zonas

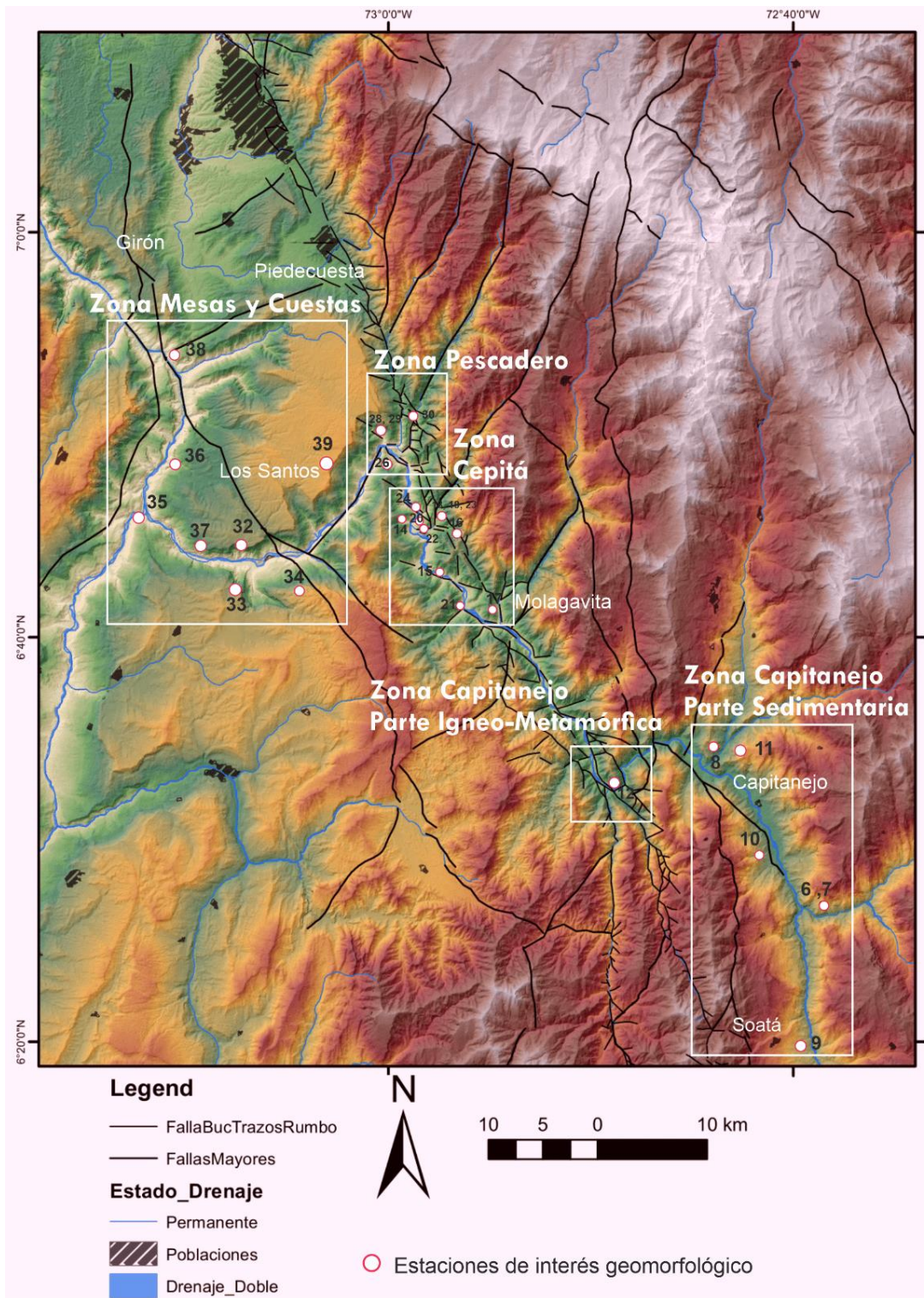
Se presentan un recorrido de sur a norte, siguiendo el curso del río Chicamocha a medida que se encuentra con los paisajes que representan un evento geológico expresado con características de más de un ambiente geomorfológico.

7.1.1 Zonificación

En la figura 4, las cinco zonas que se definieron son: (i) Zona Capitanejo (Parte Sedimentaria), (ii) Zona Capitanejo (Parte Ígneo-metamórfica), (iii) Zona Cepitá, (iv) Zona Pescadero y (v) Zona de Mesas y Cuestas.

Figura 4

Mapa de localización de las zonas y sitios ilustrados según el número de cada figura para los ambientes geomorfológicos. Tomado y modificado de Velandia (2017).



7.1.1.1 Zona Capitanejo (Parte Sedimentaria). La ruta comienza en el punto más sur de este trabajo en la cuenca media del río Chicamocha, en los departamentos de Boyacá y Santander, donde se encuentran rocas sedimentarias del Cretácico y depósitos cuaternarios (Gómez et al. 2015). La zona se encuentra bajo el dominio transpresivo de la Falla de Chicamocha-Soapaga (Forero et al. 2020). Los puntos amarillos en la figura 5 son las dos estaciones ilustradas en las figuras 6 y 7. La Figura 5 es producto de la modificación de la plancha geológica 136 Málaga de Vargas et al. (1984).

Figura 5

(a) Mapa de la Zona I Capitanejo (Parte Sedimentaria) y (b) mapa geológico con los pliegues cartografiados en la formación Tibú-Mercedes siendo atravesados por el río Nevado.

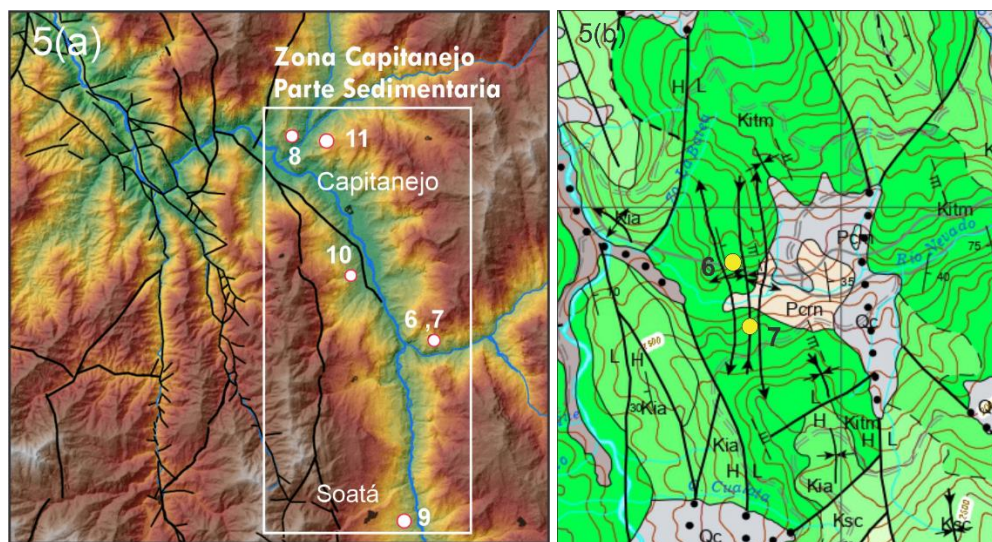
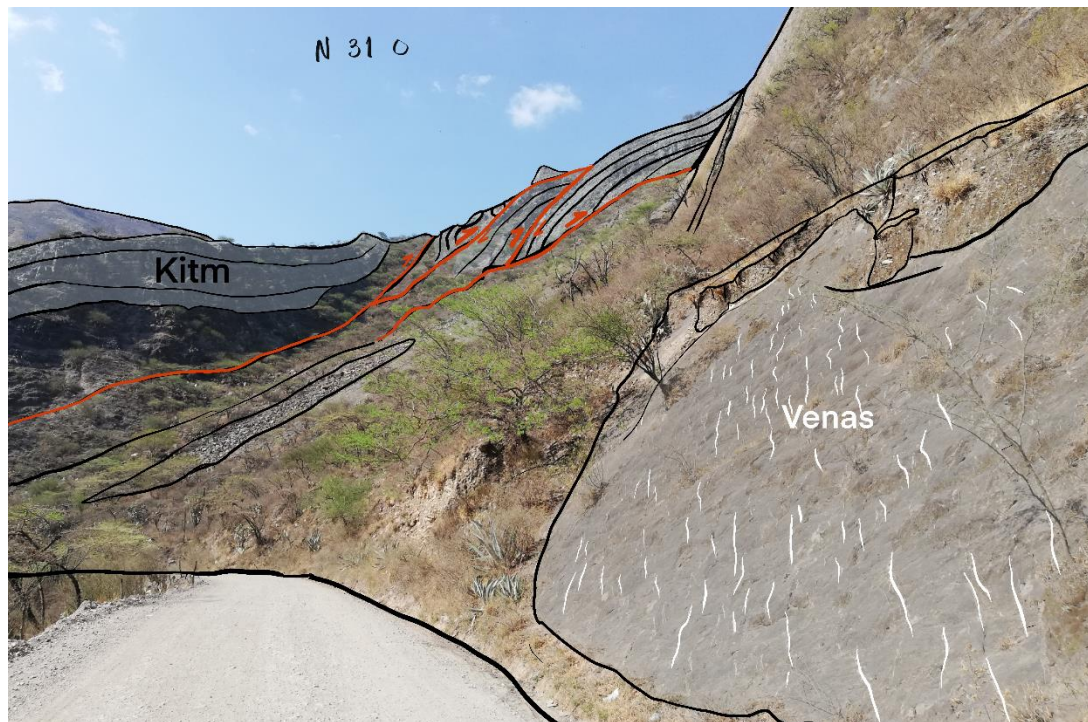


Figura 6

El río Nevado deja observar los estratos de las formaciones cretácicas Tibú-Mercedes (Kitm), conformando pliegues complejos, resultado del ambiente compresivo de

la zona en estilo estructural de piel delgada.



Fallas inversas observables por la disposición de los estratos configurando un sistema dúplex. También se destacan las venas de calcita que se hacen presentes en el estrato de caliza hacia la charnela de uno de los “caballos” o “horses” que constituyen la estructura dúplex.

Figura 7

Los plegamientos en la formación Tibú-Mercedes (Kitm) al margen izquierdo del río Nevado, representados con un punto amarillo en la Figura 5. Se observa que estos pliegues y los de la Figura 6 comparten los mismos ejes.

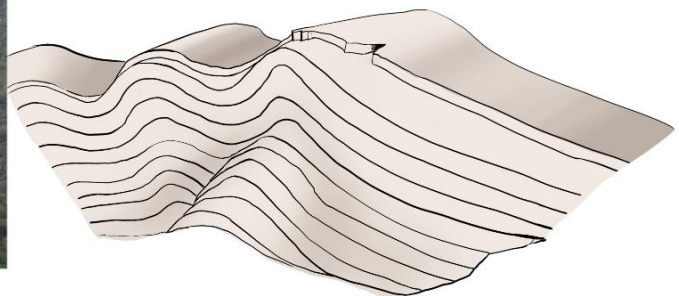
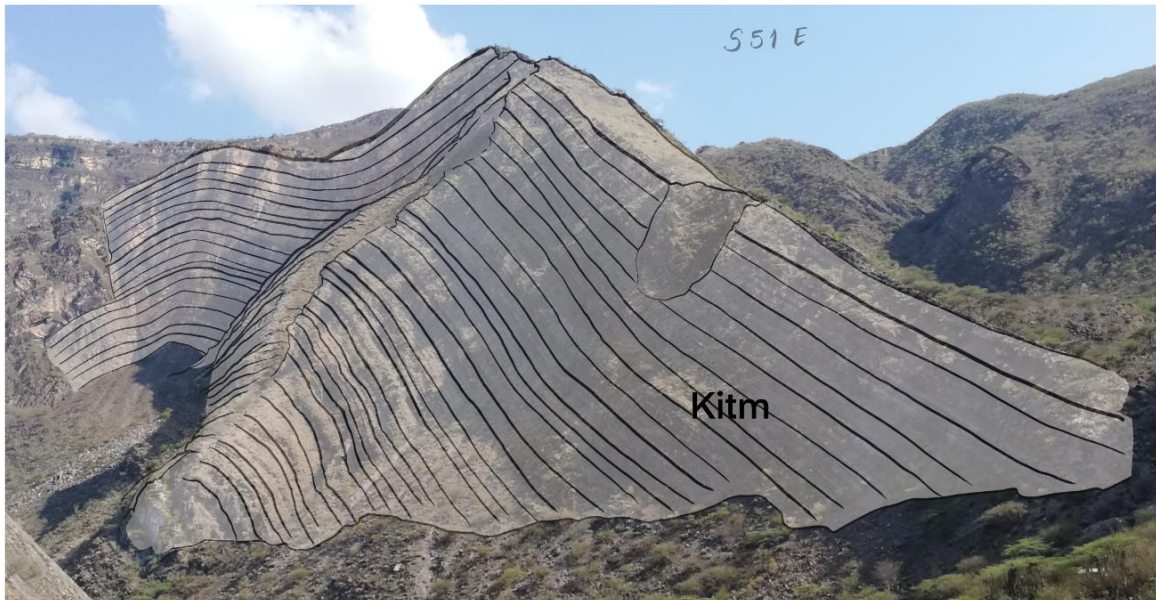
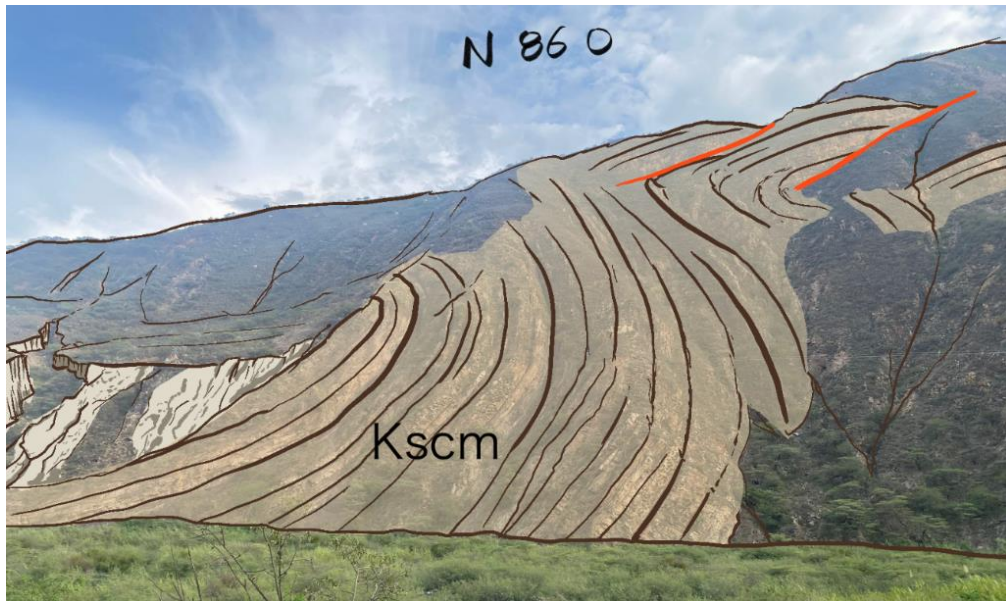


Figura 8

Pliegues en la Fm. Colón y Mito-Juán (Kscm). Zona afectada por la Falla de Chicamocha-Soapaga, presentan los cabalgamientos y retrocabalgamientos con vergencia principal al E (Forero et al. 2020).



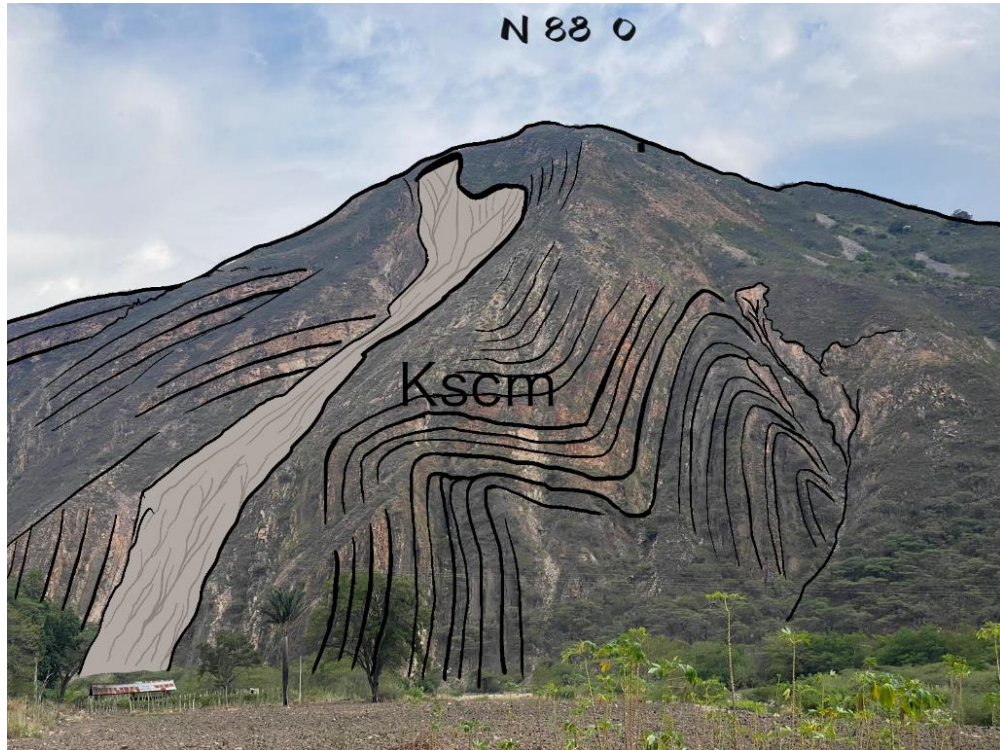


Figura 9

Estoraques en coluviones cerca de Soatá.

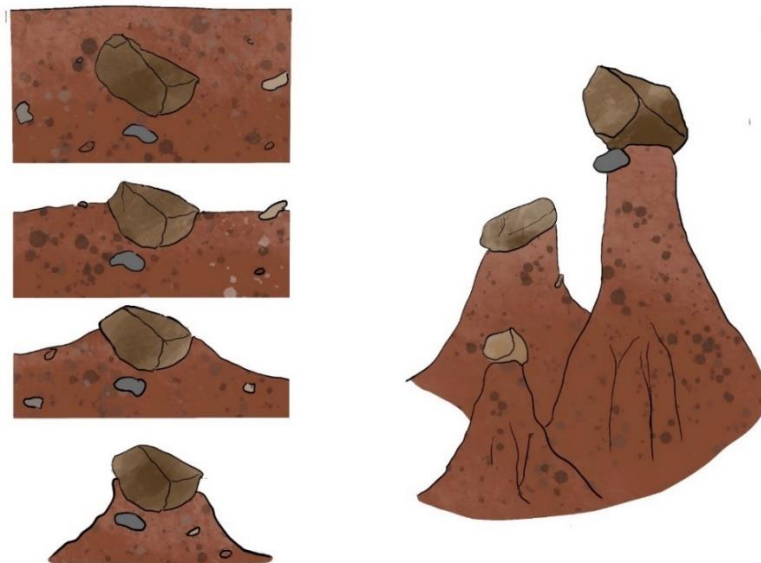


Figura 10

Depósitos cuaternarios visibles por la vía Tipacoque-Capitanejo.

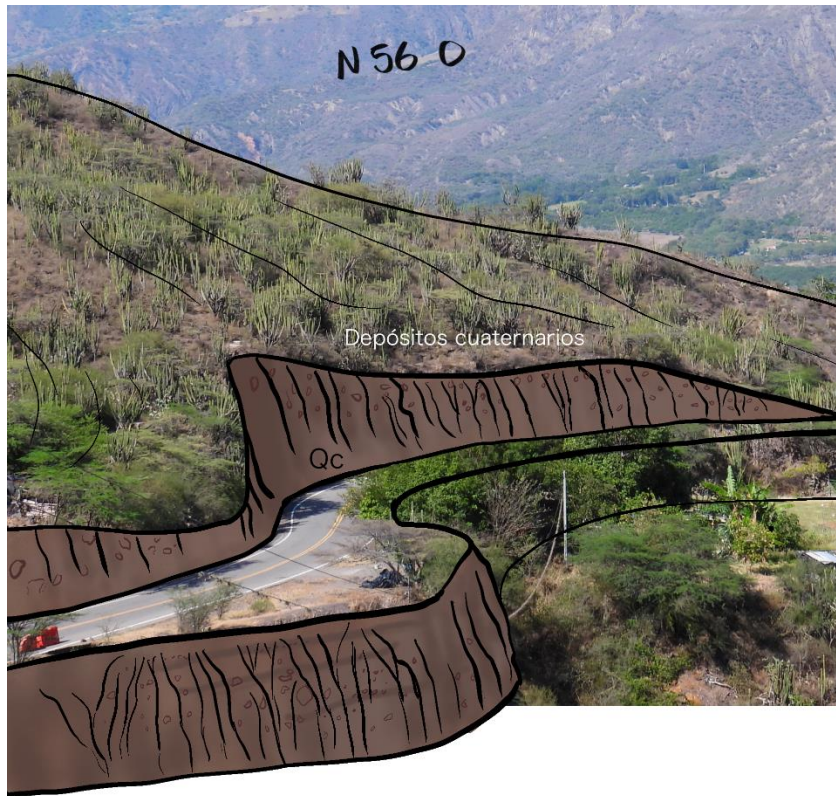
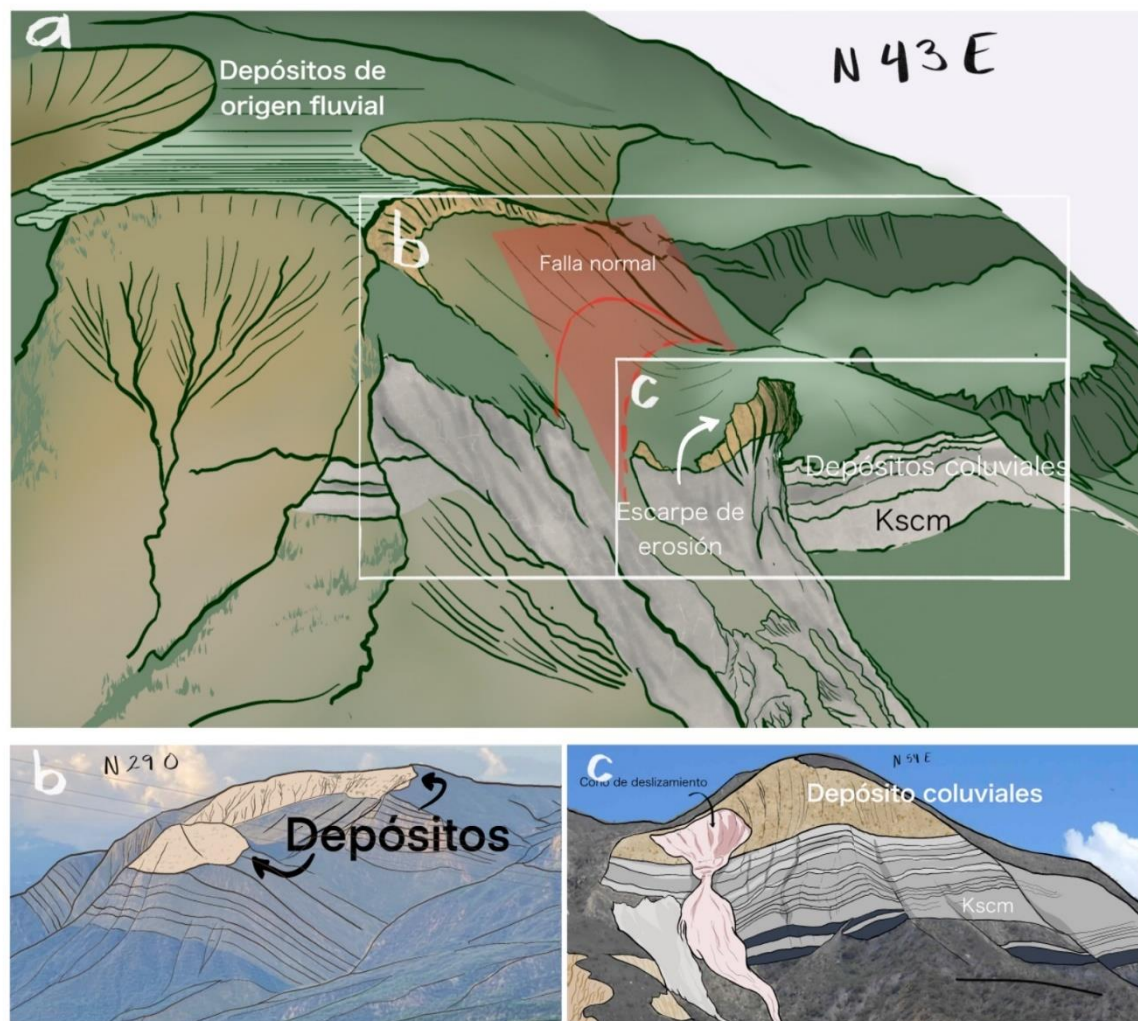


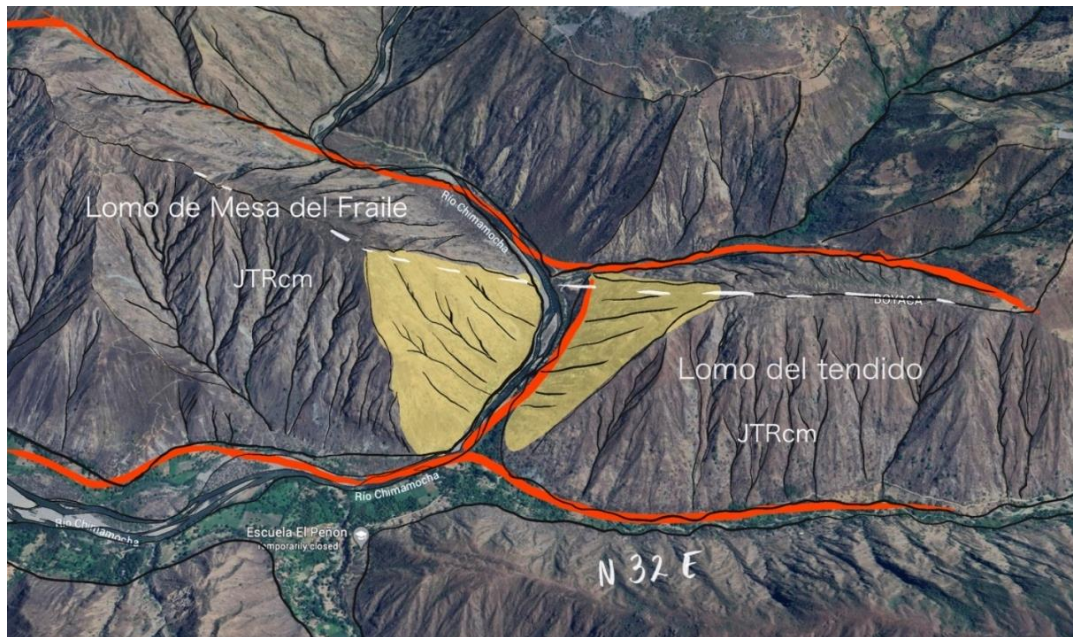
Figura 11*Vereda La Mesa, Capitanejo.*

Depósitos coluviales en una geoforma aterrazada de origen fluvial. Las imágenes de referencia se encuentran en el apéndice A.

7.1.1.2 Zona Capitanejo (Parte Ígneo-Metamórfica). Un lomo de obturación actuó como una barrera tectónica que pudo haber causado el represamiento del río Chicamocha (Galvis, 2016; Velandia, 2017) por influencia de la Falla de Bucaramanga. La erosión progresiva del río a través del lomo permitió gradualmente que el lago bajara de nivel. Actualmente existen dos lomos de morfología y altitud similar con un valle relativamente estrecho en el Cañón del Chicamocha (Figura 12).

Figura 12

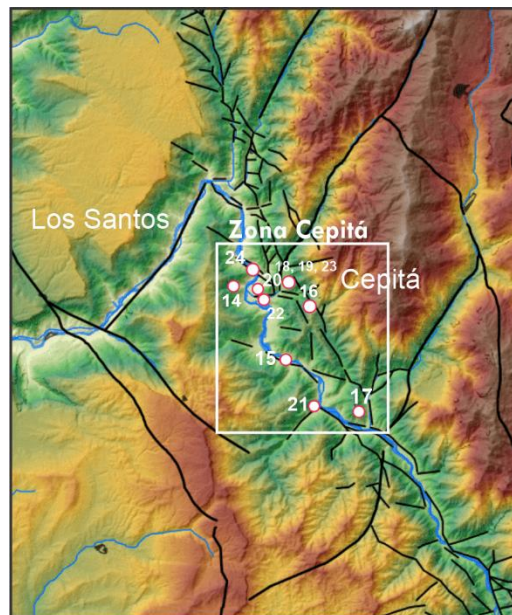
Lomo de la Mesa del Fraile y Lomo El Tendido. Corresponden a lomos de presión de la Falla de Bucaramanga. La litología presente en estos lomos son granitos del Jurásico (JTRcm).



7.1.1.3 Zona Cepitá. La zona de daño de la Falla de Bucaramanga es compleja y deja en su trazo una cantidad numerosa de geoformas estructurales producto de la interacción de fallas reactivadas que configuran un modelo regional de dominó visto en planta (Velandia, 2017), la Falla del río Guaca y la Falla del río Perchiquez. En esta zona afloran, por acción de la Falla de Bucaramanga, las unidades ígneas Granito de Pescadero y la Formación Silgará del Neo-proterozoico. En la figura 13 están ubicados las estaciones de la zona. Se puede observar el emplazamiento de diques diabásicos de más de 1 m de espesor, diques graníticos de gran tamaño en formaciones esquistosas (Figura 14), el trazo bien marcado geomorfológicamente de las fallas de Bucaramanga, río Guaca y río Perchiquez (Figuras 16, 17, 18 y 19), geoformas estructurales como el abanico colgado de Cepitá (Figura 20), y geoformas de origen fluvial y denudacional (Figuras 21, 22, 23, 24).

Figura 13

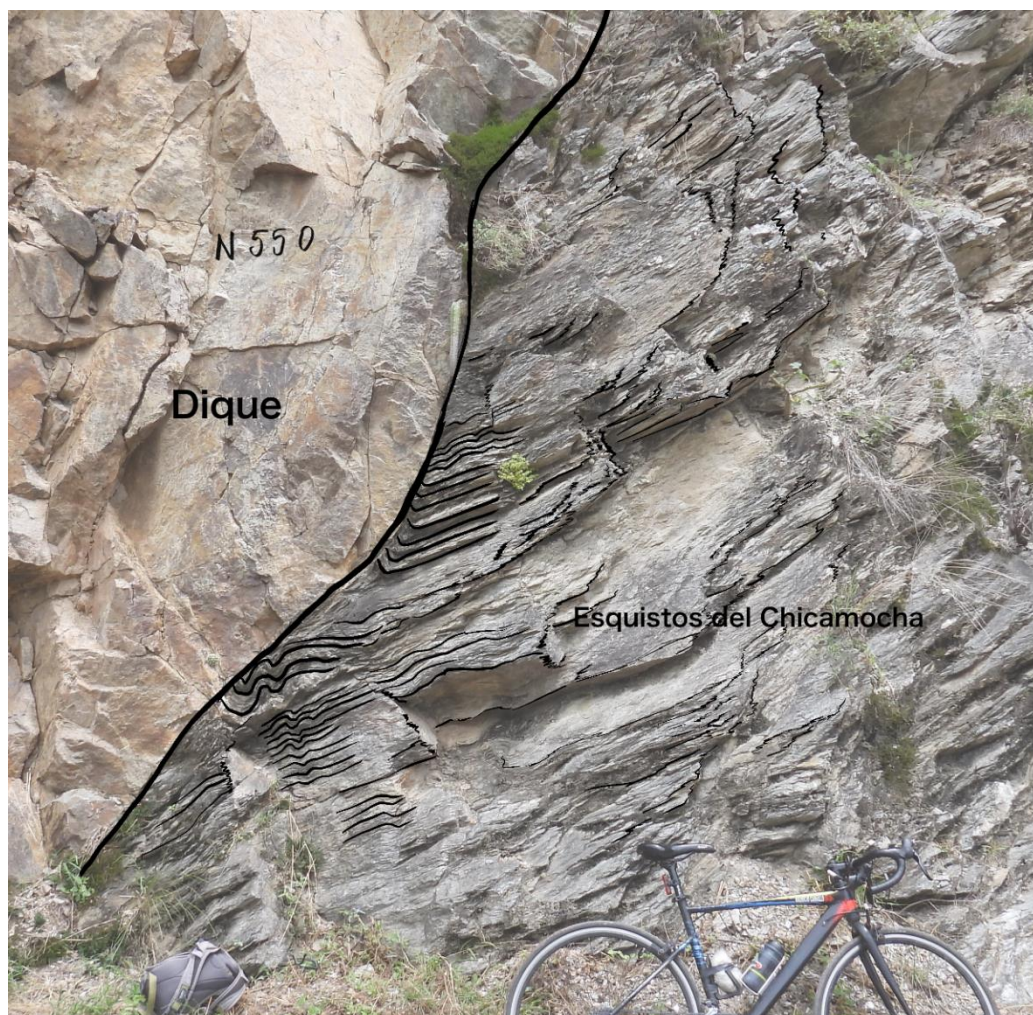
Mapa de la zona Cepitá y las estaciones marcadas en puntos blancos.



El cuerpo intrusivo (Figura 14) entra con temperaturas altas generando deformación en los Esquistos del Chicamocha en los bordes que hacen contacto, generando pliegues en escala de centímetros. Este contacto se encuentra por la vía al municipio de Cepitá.

Figura 14

Secuencia evolutiva de un dique riolítico emplazándose en una fractura de los Esquistos de Chicamocha.



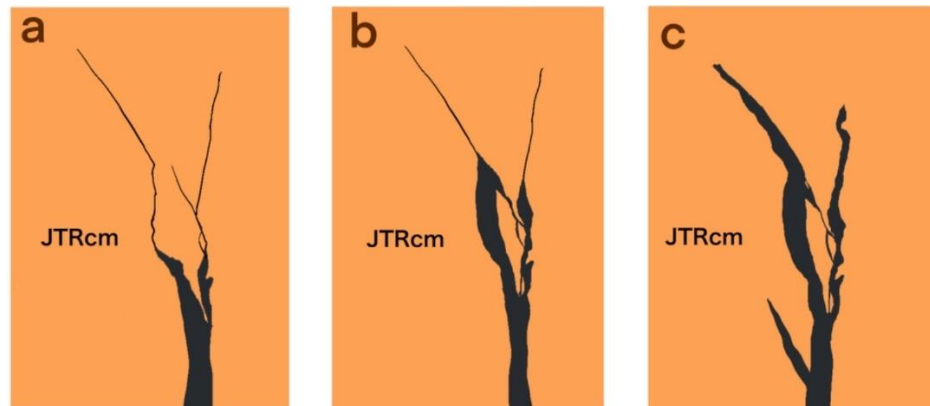


En la figura 15 los diques difieren del granito (JTRcm) al estar menos contaminada por la corteza (composición diabásica). Los diques se abren paso a través de fracturas existentes.

Figura 15

Secuencia de evolución de un dique expuesto cerca al Puente de entrada a San Miguel.





Geoformas que evidencian el paso de la falla de Bucaramanga por el lineamiento de la quebrada Talarcuta, configuración de una cuenca por trazo de falla y las facetas triangulares en la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (JTRCs).

Figura 16

La Chorrera desde la vía Cepitá-San Andrés.



Figura 17

Facetas triangulares en loma desnuda conformada por depósitos cuaternarios en

El Embudo evidencian el paso de la Falla del Río Guaca. Imagen de referencia en el apéndice B.

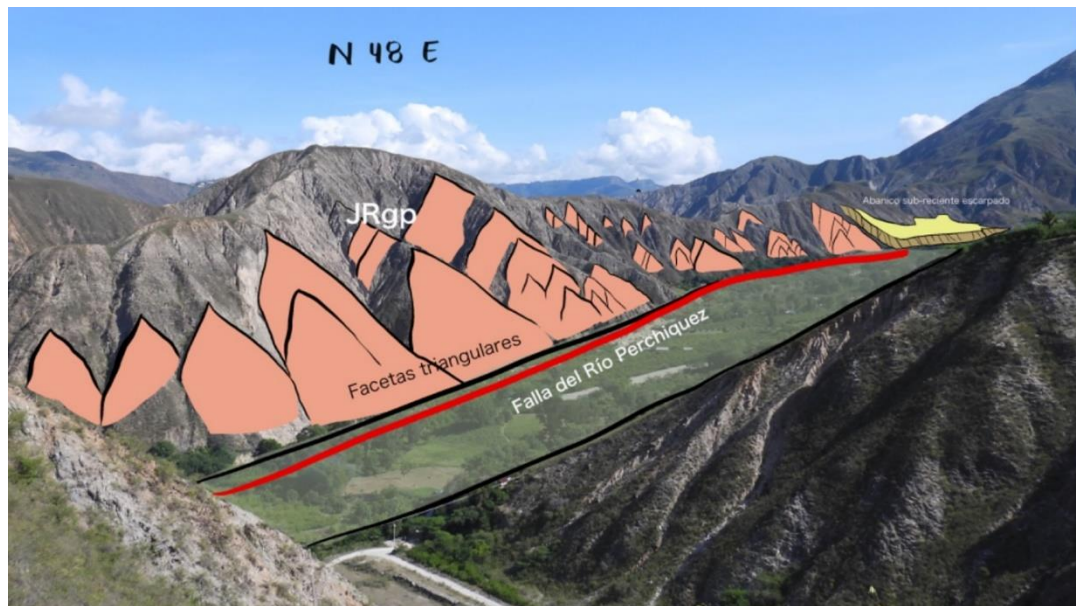


Se observa la Formación Silgará, aportando todo el material que se está depositando.

En la figura 18 se observan notorias y numerosas facetas triangulares en la unidad Granito de Pescadero (JRgp) y un valle muy diferenciado. Al fondo en colores amarillos se aprecia un abanico sub-reciente escarpado.

Figura 18

Paso de uno de los trazos menores asociados a la Falla de Bucaramanga en la vereda

Pescadito.

El paso de la Falla Bucaramanga y sus trazos menores asociados cuya interacción genera depresiones y lomos, así como el consecuente efecto de la erosión en el lomo la unidad JRgp, Granito de Pescadero (denudación), ilustrado en la figura 19. Al fondo, facetas triangulares en la Formación Silgará (PDs). Las facetas más cercanas se deben al paso de la Falla del Río Perchiquez. Se destaca una quebrada con cauce aluvial que se abre paso por los abanicos. En la quebrada Perchiquez se forman barras puntuales y laterales.

Figura 19

Vereda Pescadito.

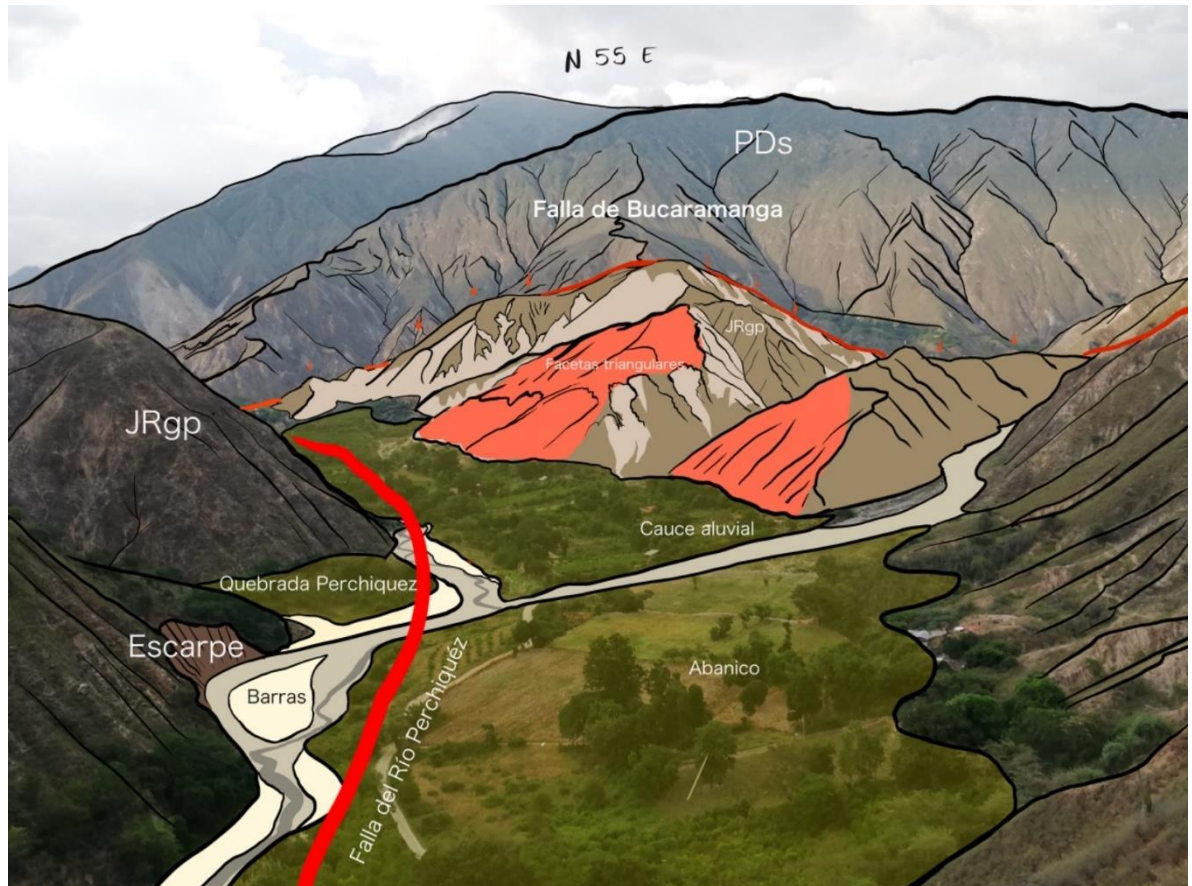
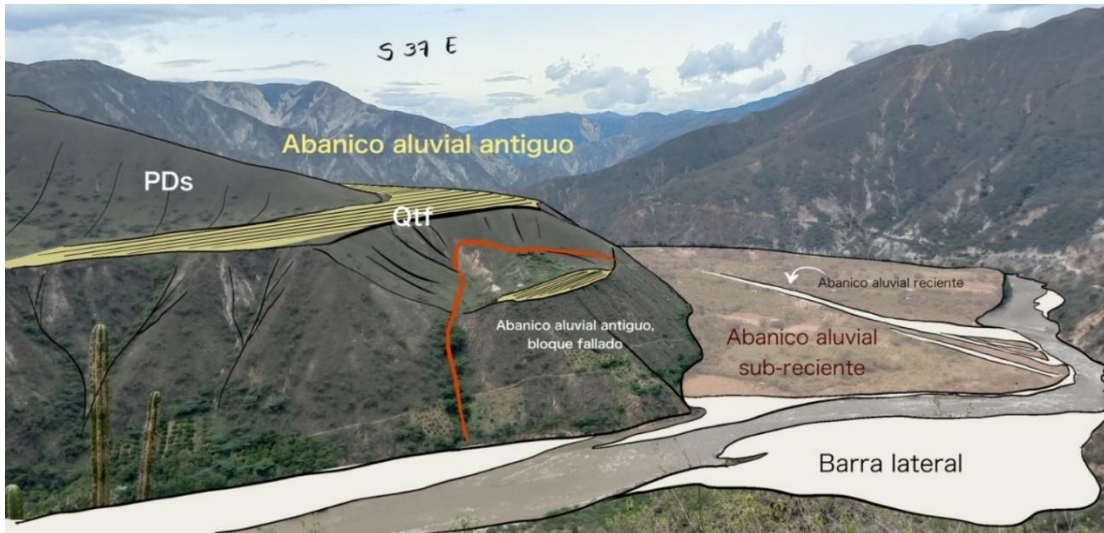
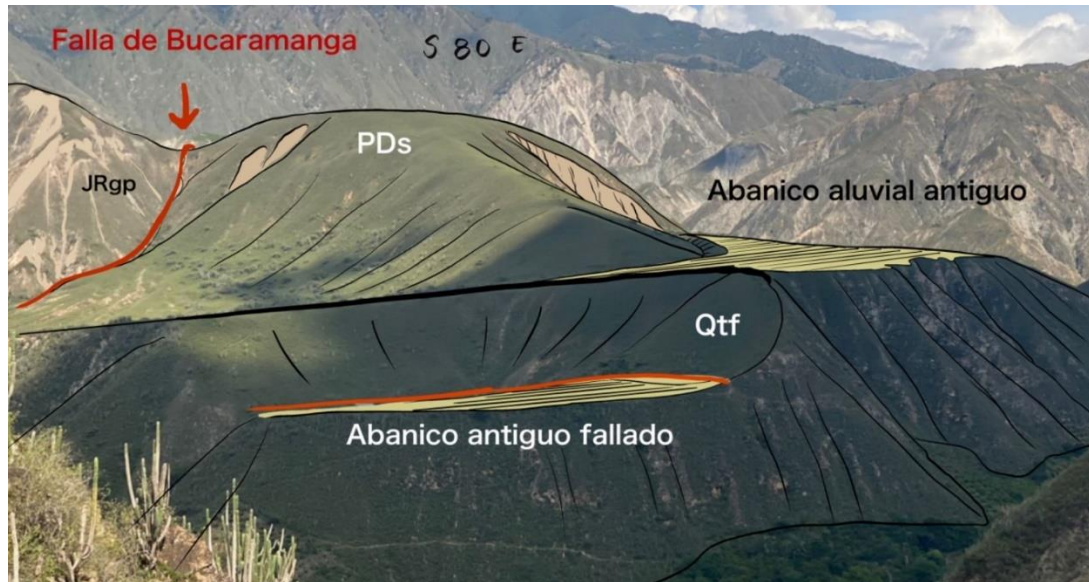


Figura 20

Abanico aluvial antiguo o colgado de Cepitá (Mesa de Abanico).



Geoforma que estuvo al nivel del río y por efecto de la tectónica y la erosión, se encuentra más arriba del nivel inicial. Al mismo tiempo, se producen abanicos y terrazas más recientes que lo atraviesan, como el abanico aluvial donde está el casco urbano de Cepitá. La línea roja representa una falla normal de un bloque caído que estaba al mismo nivel del

abanico antiguo.

Figura 21

Abanicos aluviales y terrazas antiguas que se erosionan con el flujo de material erosionado más recientemente. Imagen referenciada en el apéndice C.

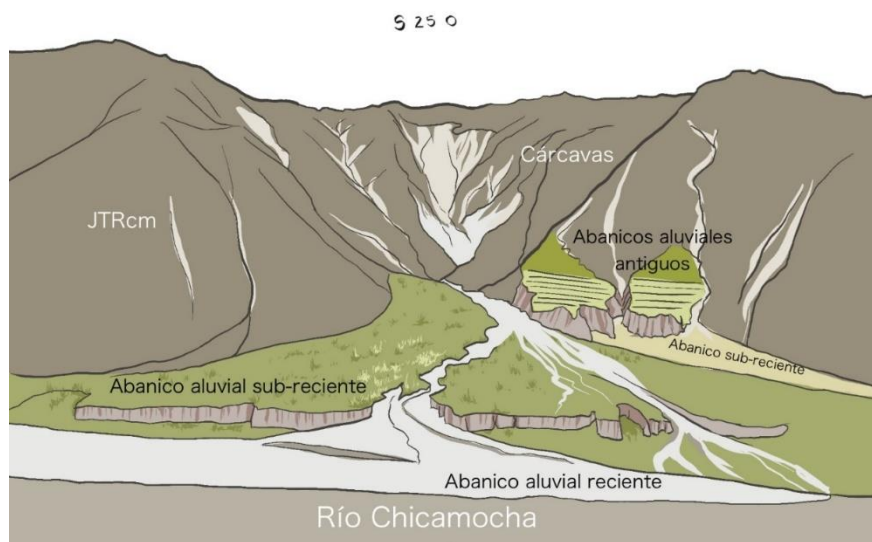
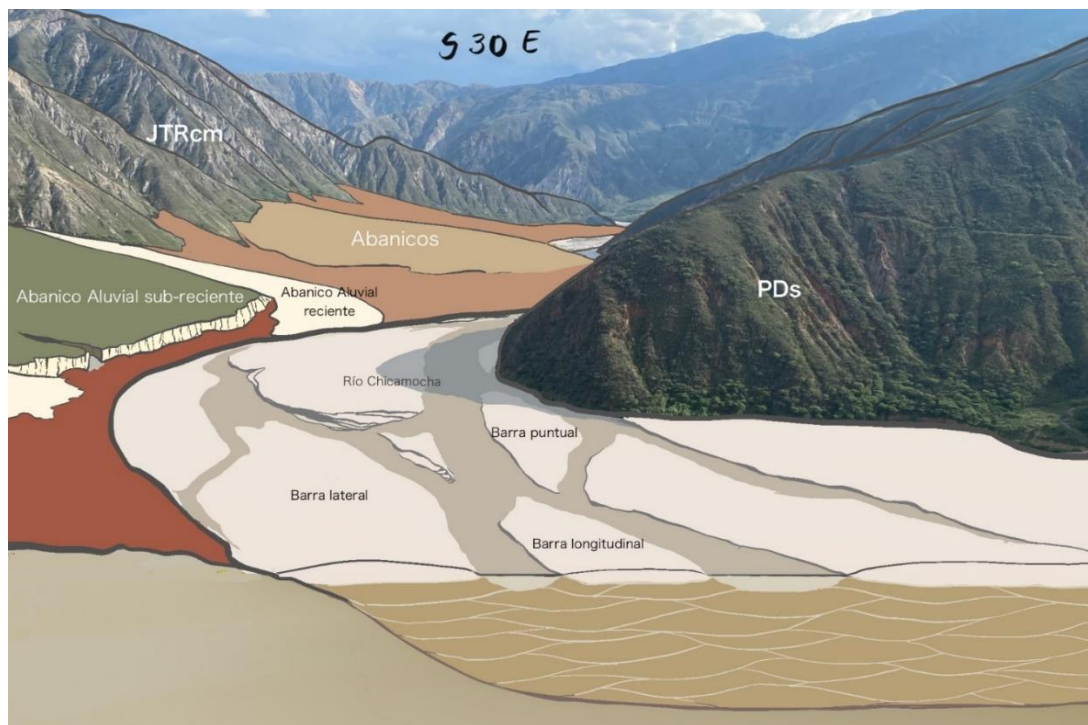


Figura 22

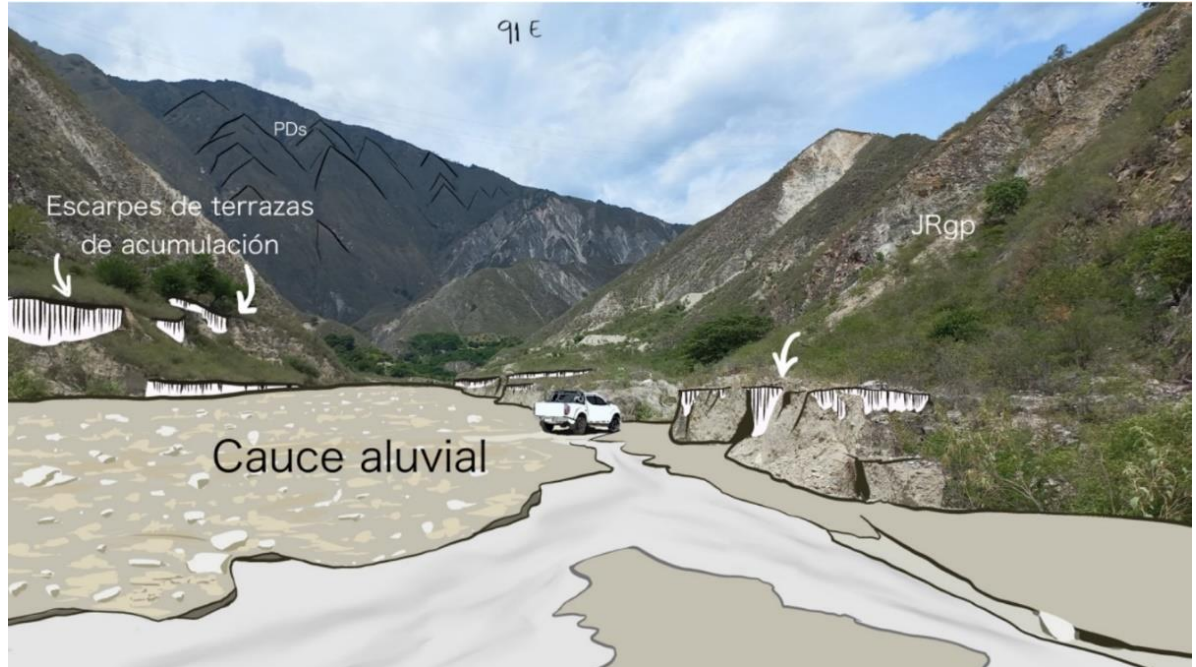
Desde el mirador Loma Colorada en Cepitá vista con orientación S30E en la que se aprecia la geomorfología fluvial y aluvial del río Chicamocha.



En colores verdes se representan los abanicos aluviales sub-recientes que ya tienen escarpe y los recientes en color blanco. Se diferencian los abanicos que están en colores tierra y no tienen escarpes. Las barras son geoformas fluviales producto del arrastre del material por la corriente. Algunas rompen el flujo de la corriente y le dan una forma trenzada al cauce del río Chicamocha. Estas geoformas se dan en el cuerpo ígneo denominado Batolito de Mogotes y los esquistos del Chicamocha (Calderón y Gil, 2023).

Figura 23

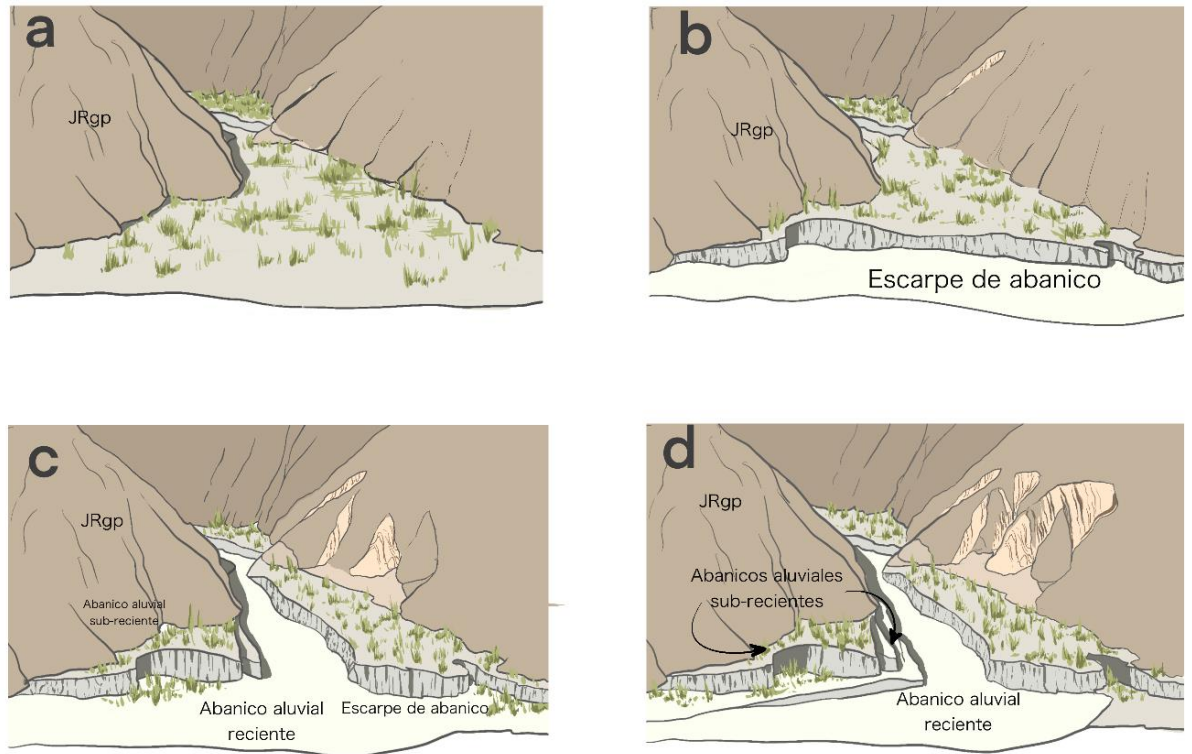
Cauce aluvial en una quebrada en Pescadito que mueve grandes cantidades de material por la alta tasa de erosión que sufren las rocas graníticas de la zona.



En esta corriente se observa material que sigue siendo removido, creando escarpes de depósitos antiguos.

Figura 24 (a, b, c, d)

Secuencia de formación de abanicos aluviales sub-recientes y actuales.



En la figura 24(a) el abanico sin escarpes ni erosión aparente. 24(b) representa un siguiente evento en el que el abanico ha sido erosionado por posibles cambios en el cauce del río. 24(c) y (d) corresponden a ambientes más desarrollados en los que se observan formaciones rocosas más erodadas y abanicos más recientes sin vegetación aún, que se abren paso entre los abanicos sub-recientes produciendo escarpes, removiendo el material por el que pasa el nuevo flujo. Imagen de referencia en el apéndice D.

7.1.1.4 Zona Pescadero. Esta zona y la zona Cepitá se caracterizan por la complejidad de la zona de daño de la Falla de Bucaramanga. Configuran trazos y geoformas, tales como silletas, bermas, facetas triangulares, lomos, depresiones, ganchos de flexión y otros (Velandia, 2017). En la figura 25 están señaladas las cuatro estaciones ilustradas en las figuras 26, 28, 29 y 30.

Figura 25

Zona Pescadero y estaciones de trabajo.

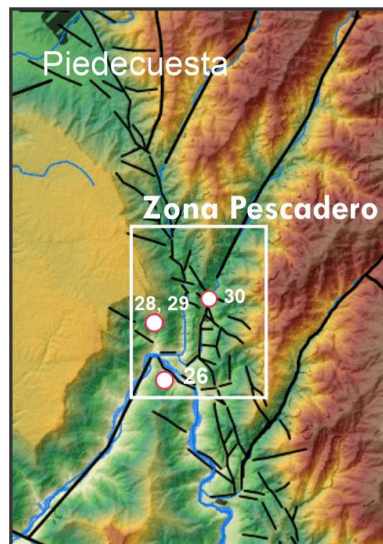
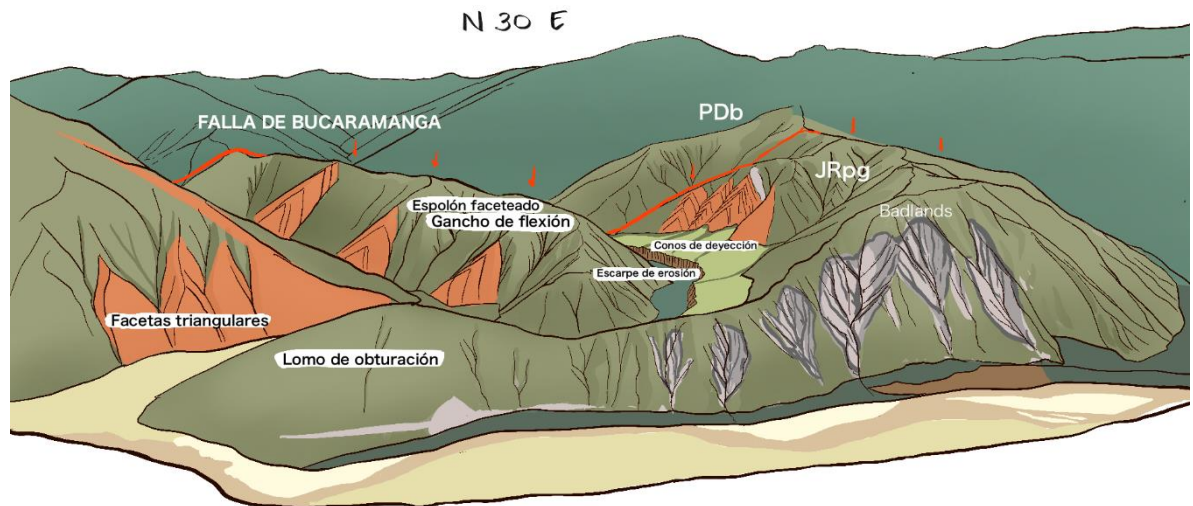


Figura 26

Mirador morfoestructural en la entrada a la vía a Cepitá.

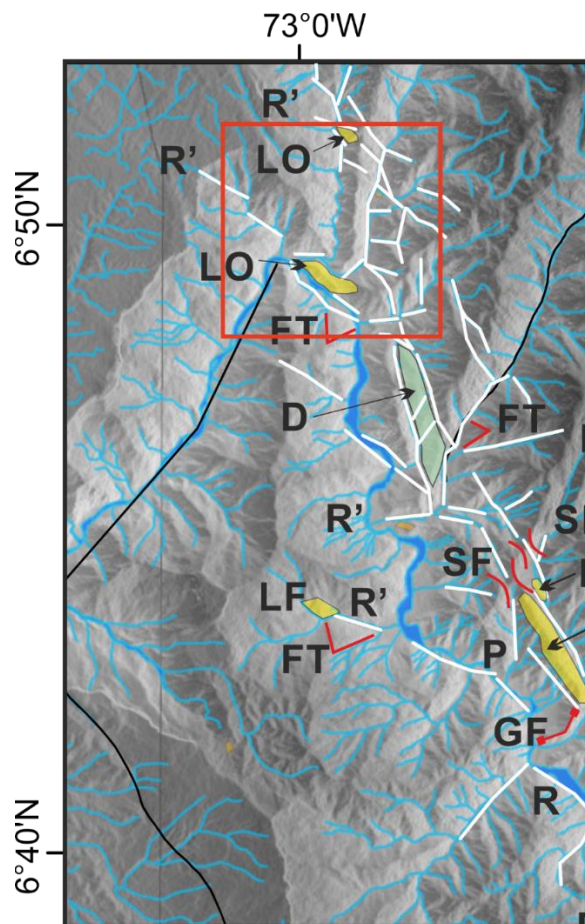


Se observa el trazo de la Falla de Bucaramanga que marca la división de la unidad Granito de Pescadero y el Neis de Bucaramanga. El lomo de obturación, producto del movimiento dextral de una falla antitética, desvía el curso natural del río Manco. El espolón facetado que ahora es también un gancho de flexión se asocia a la actividad tectónica. El lomo de obturación (Lomo de Pescadero) está bajo constante proceso de erosión por la acción de las fallas, creando un terreno de cárcavas y deslizamientos, también llamados badlands.

Figura 27

Cartografía de la Falla de Bucaramanga por sectores, rasgos morfológicos y sistema Riedel, indicadores de cinemática de rumbo sinistral, ventana B. (Tomado y modificado de

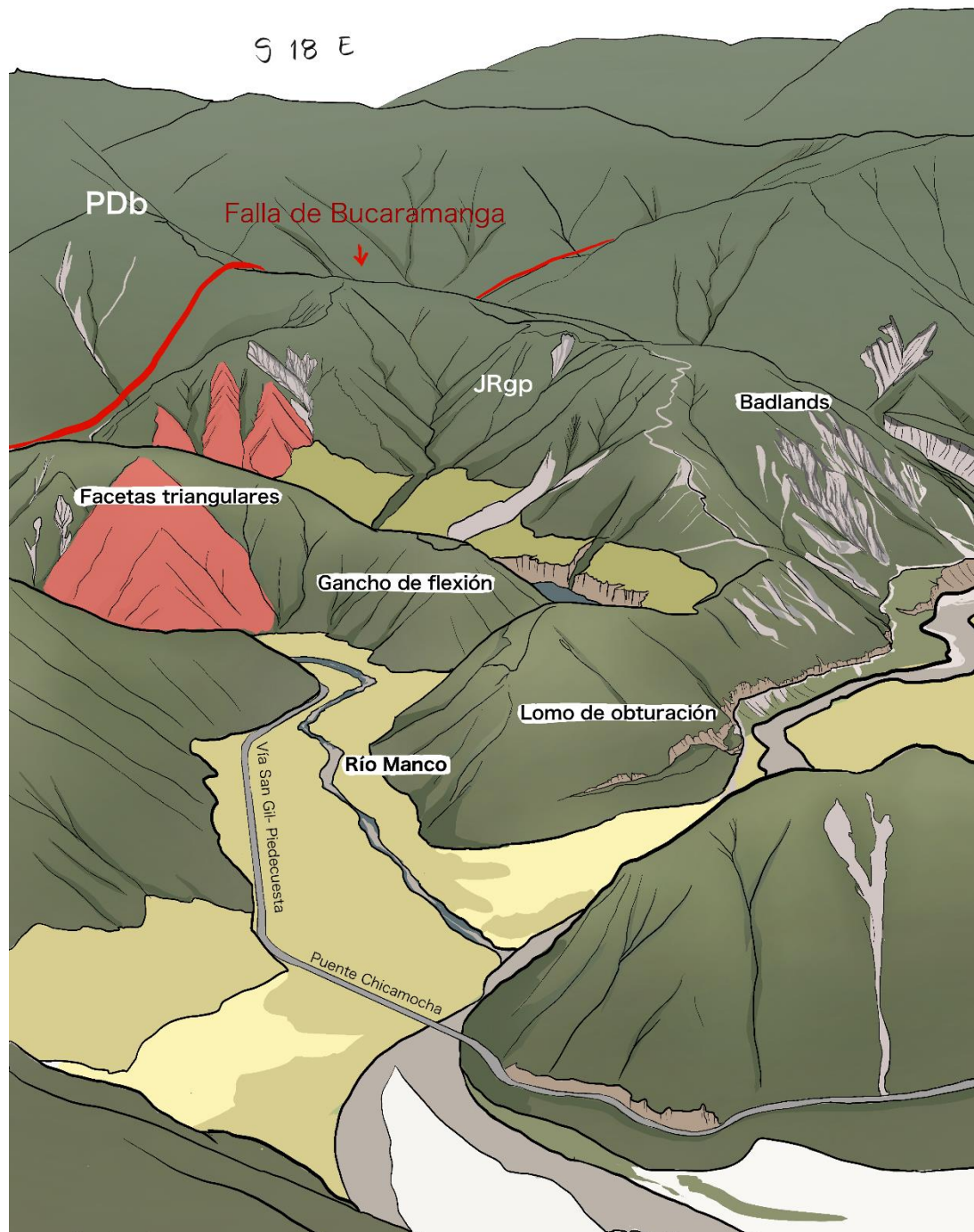
Velandia, 2017).



El recuadro rojo muestra la ubicación del Lomo de Pescadero en el sistema de fallas de la zona.

Figura 28

Otra perspectiva del paisaje dominado por la actividad de las fallas, provocando un cambio en el curso del río Manco.



La cartografía morfoestructural de esta ilustración está referenciada en la figura 29. Dentro de la geomorfología también encontramos el efecto del humano (geomorfología antropogénica) en construcciones, vías, minas y canteras, poblaciones, cultivos, entre otros.

Figura 29

Conos de deyección en la zona de daño de la Falla de Bucaramanga en la Formación Silgará.

**Figura 30**

Influencia de la Falla de Bucaramanga, produciendo geoformas estructurales como hombreras o bermas de falla y facetas triangulares en Umpalá.



7.1.1.5 Zona de Mesas y Cuestas. En La Mesa de Los Santos y sus alrededores se aprecia un ambiente geomorfológico denudacional, fluvial y antrópico. Los ríos Chicamocha y Suárez se unen en Las Juntas (Figura 35) formando al río Sogamoso. Además, se distingue el paso de las fallas Suarez, Aratoca, Los Santos y La Mojarra. En la figura 31 están marcadas las estaciones que fueron ilustradas de esta zona, que están detalladas en las figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 y 39.

Figura 31

Mapa de la Zona Mesas y la Zona Cuestas.

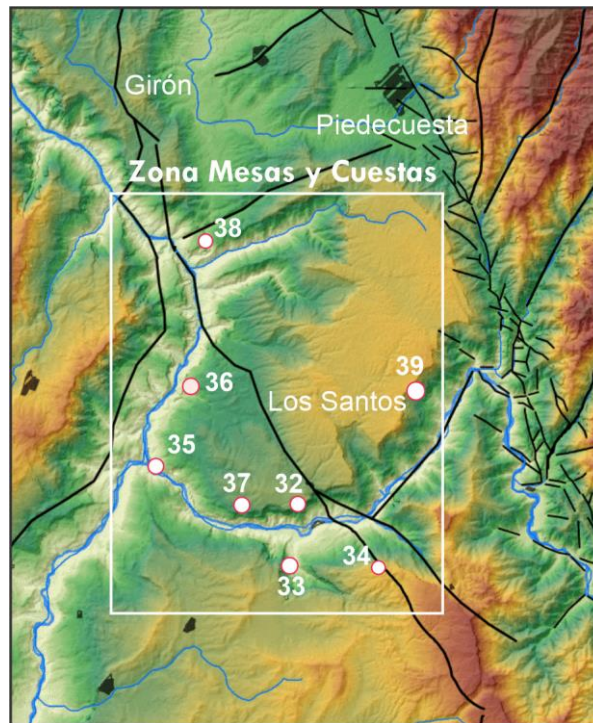
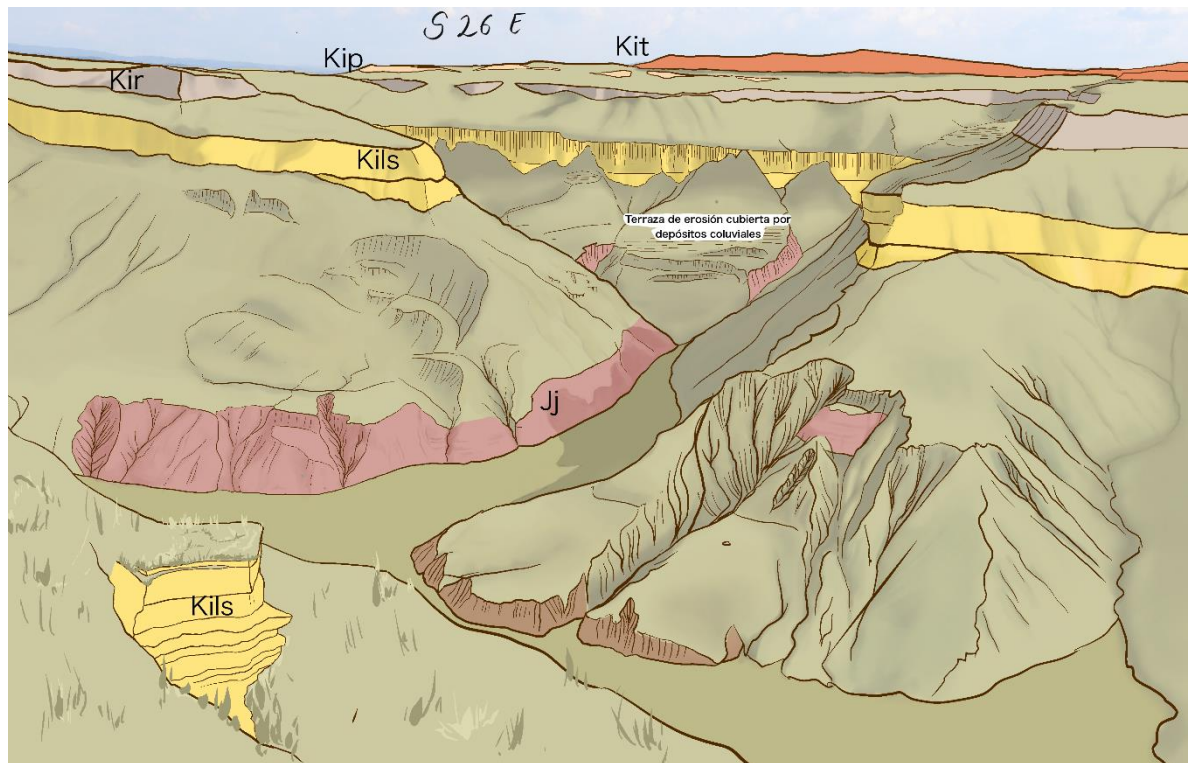


Figura 32

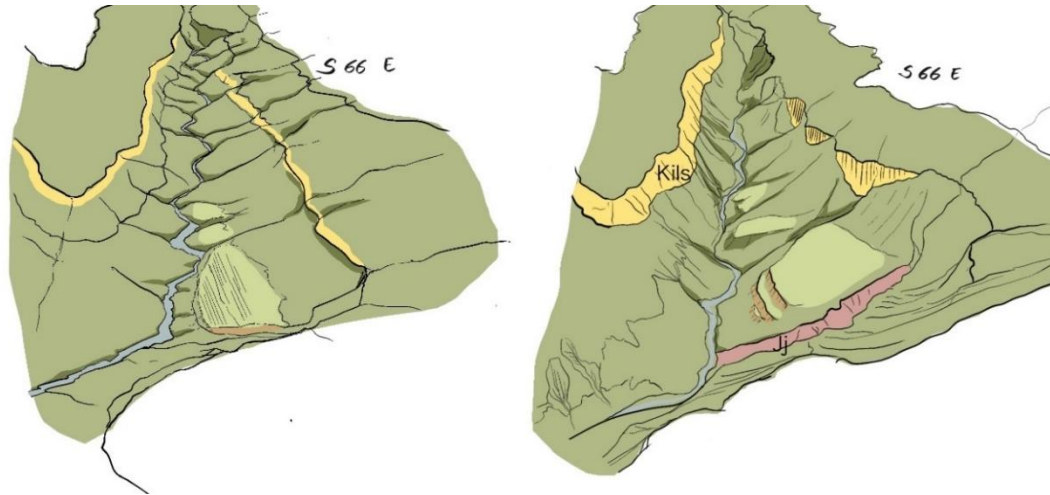
Vista desde la Mesa de Los Santos hacia la quebrada Montegrande en Jordán.



La geomorfología de este paisaje destaca la estratigrafía del Jurásico al Cretácico: Fm. Jordán (Jj), Fm. Los Santos (Kils), Fm. Rosa Blanca (Kir), Fm. Paja (Kip), Fm. Tablazo (Kit). Es un sitio de alto valor paisajístico.

Figura 33

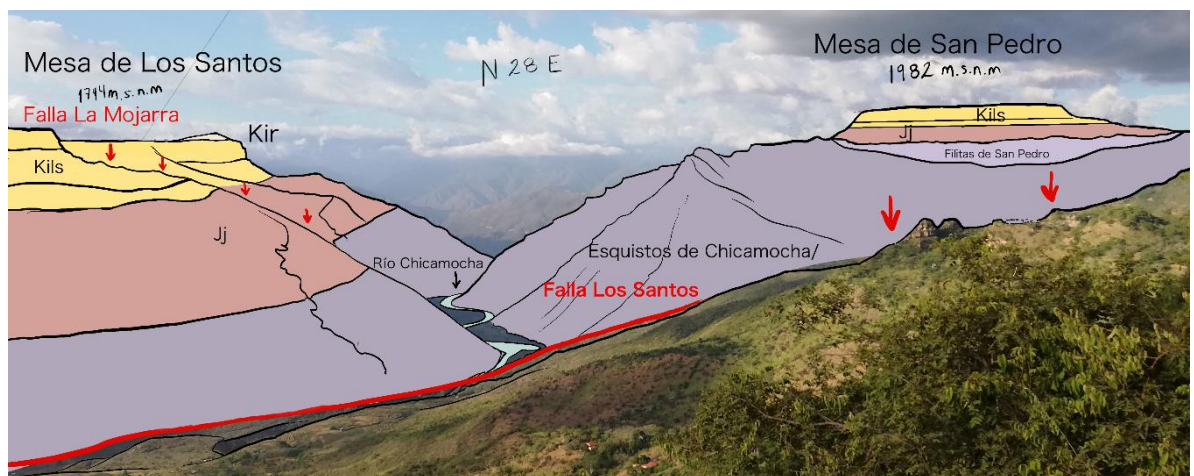
Esquema que ilustra un estadio más temprano en la erosión de la quebrada La Laja, que confluye con la quebrada Montegrande.



Se encuentran unos depósitos coluviales sobre rocas de la Fm. Jordán (Jj) en la figura 33, producto de la erosión de la ladera que presenta una pendiente suave.

Figura 34

Vista de La Mesa de Los Santos (lado izquierdo) frente a la mesa de San Pedro (lado derecho).

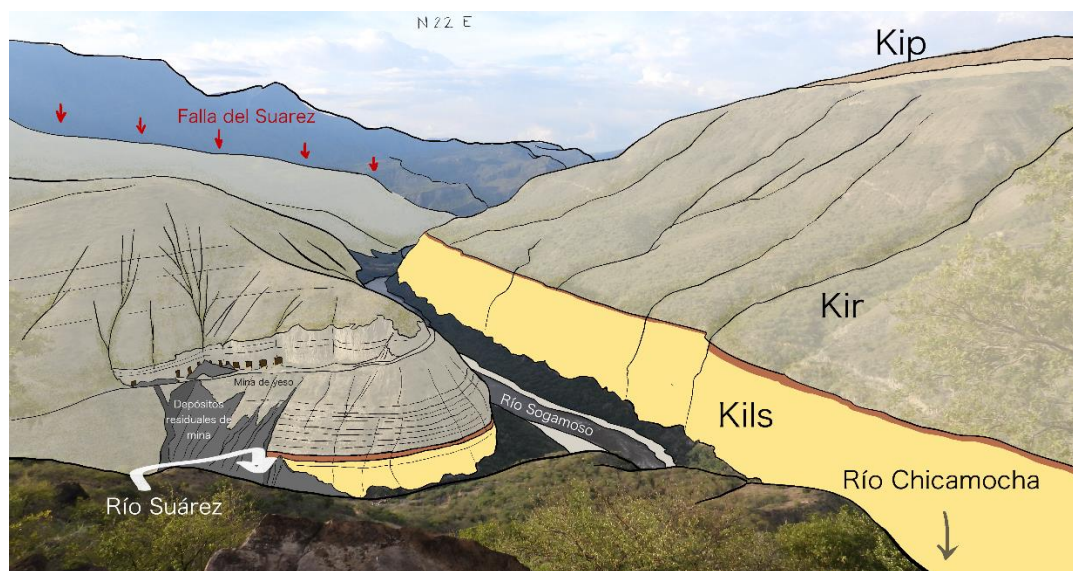


Se observa la diferencia entre los espesores de las formaciones Jordán (Jj) y Los Santos (Kils) indicando una diferencia en la sedimentación entre esas zonas. La MLS tiene

una altitud de 1.744 m y la Mesa de San Pedro 1.982 m (datos tomados de Google Earth). Mantilla et al. (2016) propone la escisión de la Fm. Silgará en tres unidades, presentes en la Mesa de San Pedro están Los Esquistos de Chicamocha y las Filitas de San Pedro.

Figura 35

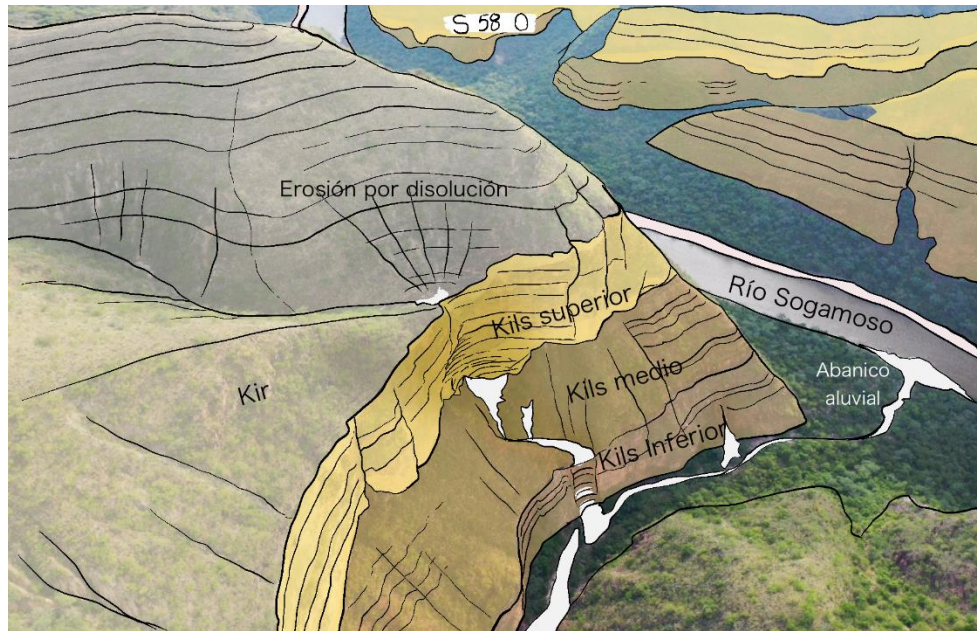
Las Juntas es el lugar donde confluyen los ríos Suárez y Chicamocha para conformar el río Sogamoso.



Es llamativo para el turismo por la forma en que afloran las formaciones Los Santos, Cumbre, Rosa Blanca y Paja en un ambiente de erosión aluvial.

Figura 36

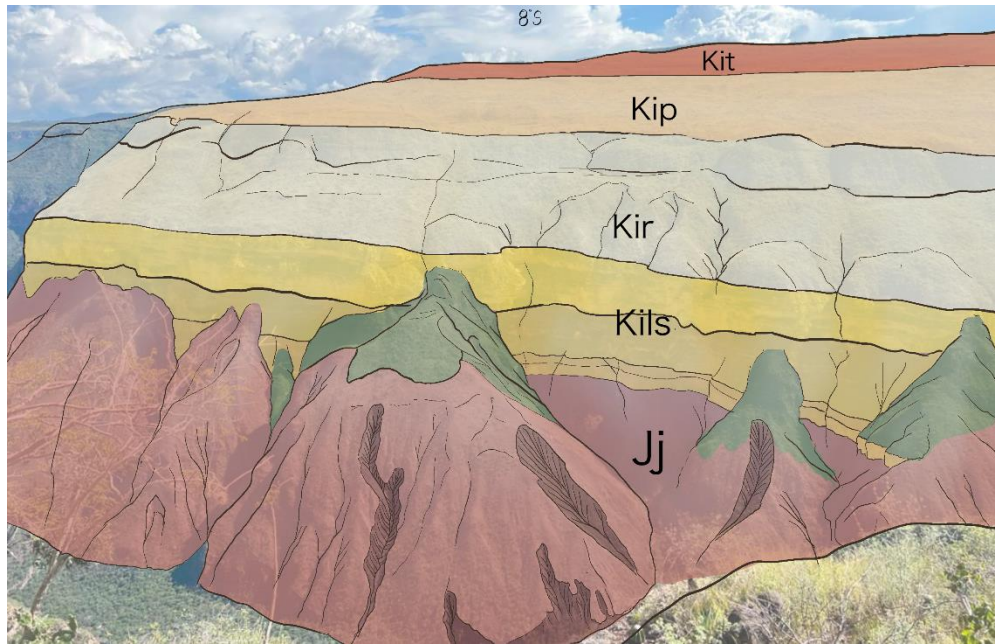
Ambiente de erosión y denudación por el río Sogamoso.



Afloran las formaciones Los Santos (Kils) y Rosa Blanca (Kir). Las figuras en blanco son flujos de detritos remanentes de un drenaje que está seco.

Figura 37

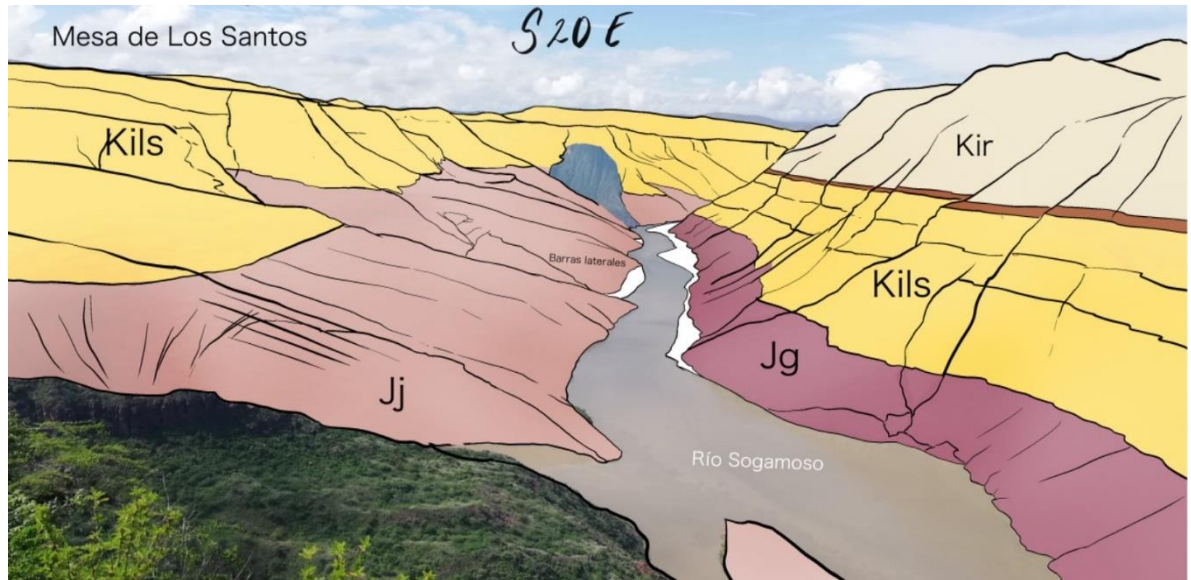
Vista desde las Mesa de Los Santos hacia Villanueva.



Secuencia sedimentaria desde las rocas de la Fm. Jordán (Jj), Fm. Los Santos (Kils), Fm. Rosa Blanca (Kir), Fm. Paja (Kip) y Fm. Tablazo (Kit).

Figura 38

Cañón formado por el río Sogamoso.



En el río Sogamoso, a la derecha de la figura 38, la formación Los Santos yace sobre el Grupo Girón (Jg), presentando una inconformidad estratigráfica interpretada por Carrillo y Silva (2024).

Figura 39

Karst en la Formación Los Santos.

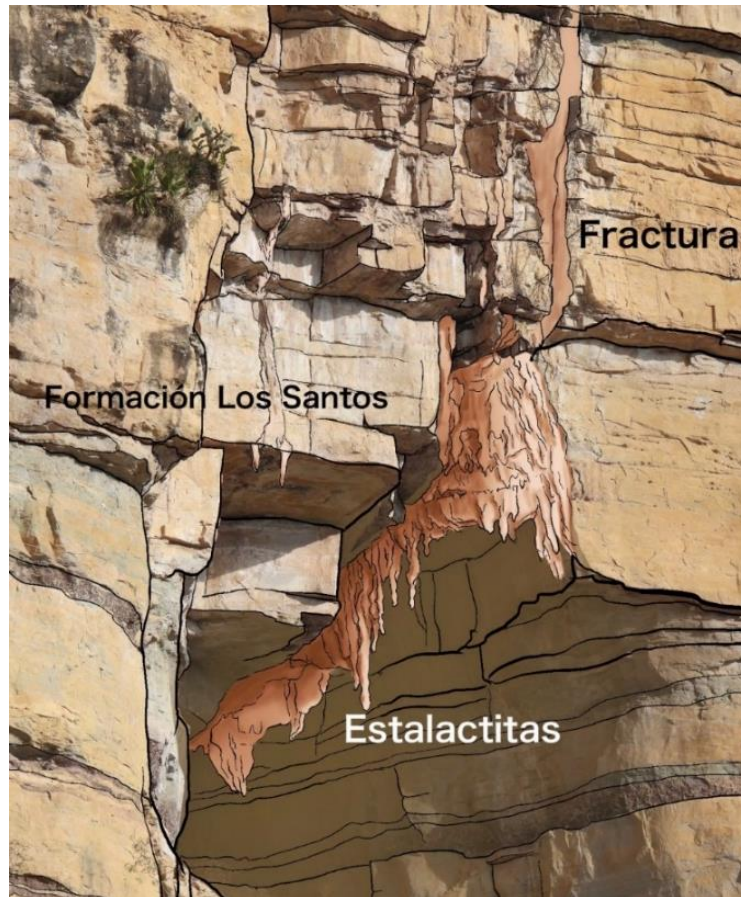


Figura 40

Fotografía de Mauricio Carrillo para referencia de la escala de la Figura 39.



El mineral carbonatado llega diluido por la fractura en la parte superior, proveniente de la Formación Rosa Blanca que yace sobre las areniscas de la Fm. Los Santos. Estas formaciones se encuentran en el parque de escalada “La Pared” en el sector de la estación del teleférico de la Mesa de Los Santos.

8. Discusión

Las ilustraciones se destacan como la mejor forma de documentar los conceptos geológicos debido a que las palabras y las fotografías no tienen en cuenta factores como el tiempo. Algunos eventos en los que la Tierra se deforma pueden durar millones de años. La magnitud y proporción de los elementos en la naturaleza están limitados por la perspectiva del observador. La información de la geología del terreno adquirida en estudios realizados

anteriormente es importante para entender la dinámica de los ambientes geomorfológicos, por lo tanto, se trabaja el arte y la ciencia en conjunto. Dibujar un paisaje o un acercamiento a una roca obliga a una observación profunda de los rasgos más importantes y el resultado da mucho más para interpretar que una fotografía (Genge, 2020).

Para comprender las geoformas se necesita proyectar los procesos a una etapa más antigua de su evolución, como lo establecen James Hutton y Charles Lyell en 1785 con el principio de uniformidad de la naturaleza, fundamental en la reconstrucción de la historia de la tierra (Manrique, 2009). Esta teoría se considera una visión metafísica de las leyes naturales al asumir que los procesos del pasado están ocurriendo en el presente. Por esa razón, se discute la validez de utilizar este principio en la metodología científica.

Para el análisis de la geomorfología del Cañón del Chicamocha es clave hacer uso de este principio explicando que los procesos de deformación, emplazamientos ígneos, denudación, erosión, las rocas sedimentarias y los antiguos depósitos son el resultado de eventos observables actualmente.

Un ejemplo de esta aplicación es la figura 33, en la que se elabora un paisaje simulando una quebrada La Laja más joven para explicar el origen de unos depósitos cuaternarios sobre la Formación Jordán, los cuales están ubicados mucho más alto que el nivel del río. Su extensión y morfología aplanada también es indicador de procesos de acumulación proveniente del río y de la erosión lateral de la ladera.

De esta forma es posible transportarse a los ambientes de formación de cualquier elemento geológico, ya sea eventos de magmatismo, orogenia, sedimentación, deformación, erosión o fosilización. En la mayoría de los casos, la geología se encarga de dejar rastro de

sus acontecimientos.

Los estudios geomorfológicos de la región están principalmente enfocados en los eventos tectónicos que causaron la red estructural que se conoce del Cañón del Chicamocha. En los trabajos de Galvis (2016), Velandia (2017) y Forero et al. (2020) se hace un trabajo exhaustivo para comprender la tectónica regional en la que participan las estructuras principales presentes en el Cañón del Chicamocha.

La geomorfología no solo afecta a las rocas y los ríos, participa también en la parte viva del planeta por lo que se debe profundizar la investigación sobre las tasas de erosión, climatología y biología para comprender cómo afecta la geología en la distribución de la fauna y flora en el área del Cañón del Chicamocha, hogar de múltiples especies endémicas de bosque seco tropical, el cual es uno de los ecosistemas más afectados por la actividad antrópica (Murphy & Lugo 1986). Con relación a esto, la divulgación científica cobra un papel importante para la conservación del patrimonio natural, requiere de la creación de material fácil de entender y enseñar, lo que fue uno de los objetivos de este trabajo. En el trabajo se tiene en cuenta el Glosario de términos geomorfológicos del Servicio Geológico Colombiano para el reconocimiento y clasificación de las geoformas, no obstante, podría considerarse que el formato no dispone de las metodologías adecuadas para llevar la información a todo el público, incluso para las personas que estudian lo relacionado a la geología, geografía o ingenierías afines, por lo que las definiciones pueden ser redundantes y caen en conceptos demasiado similares.

9. Conclusiones

Este trabajo se enfoca en el curso del río Chicamocha desde sur en el límite del departamento de Santander hasta que se une con el río Suárez en Las Juntas y continúa por tres ubicaciones en el río Sogamoso. Es un recorrido a lo largo de la Falla de Bucaramanga y otras fallas principales como Suárez, Río Perchiquez, La Mojarra, Los Santos-Aratoca y demás. Se observa también la diversidad geológica de los cuerpos ígneos, sedimentarios y metamórficos, aflorando rocas tan antiguas como el Neis de Bucaramanga y los esquistos del Silgará, en contacto con rocas sedimentarias del cretácico como en la Mesa de San Pedro. Comprender el sistema de erosión y acumulación del Cañón del Chicamocha nos lleva a observar la dinámica en las estructuras que rigen la morfología a nivel regional.

Las ilustraciones son material visual para la identificación de las geoformas presentes en los paisajes del Cañón del Chicamocha, un aporte al conocimiento geo-científico que acerca los conceptos a la comunidad académica y general de una manera didáctica y fácil de observar, eliminando la contaminación visual y utilizando una paleta de colores que resalte los objetos de interés. Además, se visualiza el proceso de generación de las geoformas que tuvieron un desarrollo gradual como los diques o están constantemente en cambio y necesitan capturar la atención de los habitantes como es el caso de los abanicos aluviales.

Durante la elaboración del catálogo hubo puntos a resolver como el hecho de que algunas zonas están cartografiadas, pero no son coherentes con lo que se observa en las fotografías y en campo, por lo que fue de gran utilidad encontrar trabajos de investigación enfocados en puntos específicos del Cañón del Chicamocha.

Referencias

- Alarcón, C.M.; Rodríguez, J.G.; Clavijo, J.; Mantilla, L.C. (2019). Geocronología de las rocas volcánicas de la Formación Jordán y su relación con el magmatismo del Jurásico Temprano en el Macizo de Santander. *XVII Congreso Colombiano de Geología*. Santa Marta, Colombia.
- Angel, L., & Ramírez, M. (2015). Cartografía geológica y cálculo del balance hídrico para la construcción del túnel de carga en la Central Hidroeléctrica Chicamocha-municipio de Aratoca, Santander.
- Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C., & Martínez, J. (2007). Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. ANH and B&M Exploration Ltda.
- Botero, G. (1950). Reconocimiento geológico del área comprendida por los municipios de Belén, Cerinza, Corrales, Floresta, Nobsa y Santa Rosa de Viterbo (departamento de Boyacá). *Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia*, 8, 245-311.
- Calderón, M. & Gil, J. (2023). Inventario del patrimonio geológico inmueble en el municipio de Cepitá (Santander). Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Carcavilla, L.; Durán, J. & López, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10 (2008).

- Carrilo, M. & Silva, J. (2024) Correlación estratigráfica y cuantificación de fracturas a partir de imágenes de UAV en los escarpes de la Mesa de Los Santos (Santander).
- Caster, K. & Olsson, A. (1939). A Devonian fauna from Colombia.
- Cediel, F. (1968). El grupo Girón, una molasa mesozoica de la cordillera Oriental. *Boletín Geológico*, 16 (1-3), 5–96.
- Cho, Y. (2022). iPad & Procreate. Tutorials of Visual Graphic Communication Programs for Interior Design 2.
- Cordani, U. G., Cardona, A., Jimenez, D. M., Liu, D., & Nutman, A. P. (2005). Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. Geological Society, London, Special Publications.
- Diederix, H. et al. (2008) Mapa morfotectónico del Sistema de Fallas Bucaramanga Zona Sur: Ricaurte - Bucaramanga. Ingeominas.
- Etayo, F., & Rodríguez, G. I. (1985). Edad de la Formación los Santos.
- Forero, A. J., Velandia, F., & Barragán, E. K. (2020). Estilos estructurales y tensores de esfuerzos hacia el suroriente del Macizo de Santander (Colombia). *Boletín de Geología*, 42(2), 129-145.
- Galvis, M., Velandia, F., & Villamizar, N. (2014). Cartografía Morfoestructural de la Falla De Bucaramanga: Geometría lenticular a lo largo del valle del río Chicamocha en Santander–Colombia. XVII Congreso Peruano de Geología. Lima, Peru.
- Galvis, M. (2016). Análisis estructural del segmento sur de la falla de Bucaramanga en el

municipio de Onzaga, Santander.

García, C., Rey, V. & Valencia, V. (2017). Ortoneises en la Franja Silos-Babega, Macizo de Santander, Colombia: evidencias de la orogenia famatiniana en los Andes del norte. *Andean Geology*, 44(3), 307-327.

Genge, M. (2020). *Geological Field Sketches and Illustrations: A Practical Guide*. Oxford University Press, USA.

Goldsmith, R., Marvin, R., & Mehnert, H. (1971). Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes (pp. D41-D49). United States, Department of the Interior, Geological Survey.

Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid, España. Editorial Pearson Educación.

Jiménez, C. (2016). Caracterización petrológica y geoquímica de la unidad Ortoneis, Macizo de Santander, Colombia.

Laverde, F. (1985). La Formación Los Santos: Un depósito continental anterior al ingreso marino del Cretácico.

Laverde, F. (2023). Revisiting the latest Jurassic-earliest Cretaceous Los Santos Formation, Eastern Cordillera of Colombia. B-A transgressive river mouth deposit in a syntectonic scenario. *Boletín Geológico*, 50(1).

Manrique, J. (2009). Estatus epistemológico del Principio de Uniformismo en geología, desde la teoría del conocimiento del filósofo Karl R. Popper. *Boletín de Geología*, 31(1), 95-103.

Mantilla, L., García, C. & Valencia, V. (2016). Propuesta de escisión de la denominada

- ‘Formación Silgará’ (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*, 38 (1): 33-50.
- Martínez, O. (2008) Patrimonio geológico. Identificación, valoración y gestión de sitios de interés geológico. *Geograficando: Revista de Estudios Geográficos*, 4 (4). ISSN E 2346-898X.
- Mojica, J. & Villarroel, C. (1984): Contribución al conocimiento de las unidades paleozóicas del área de Floresta (Cordillera Oriental colombiana; Departamento de Boyacá) y en especial de la Formación Cucho.
- Morales, L. (1958). General geology and oil occurrences of middle Magdalena valley, Colombia: South America.
- Morales, P. (1965). Una contribución al conocimiento de la fauna Devónica de Colombia. *Boletín de Geología*, (19), 51-110.
- Murphy, P. & Lugo, A. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual review of ecology and systematics*, 67-88.
- Pérez, R. (2013). “La Ilustración Científica y el uso de los carteles en el aula”.
- Rouaux, J. (2014). Y ahora... ¿Quién podrá ayudarnos?; Yo!; la Ilustración Científica! *Boletín de la Sociedad Entomológica Argentina*, 25.
- Royero, J.; Clavijo, J. (2001). Mapa geológico generalizado del departamento de Santander, Escala 1: 400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.
- Royo & Gómez, J. (1942): Fósiles devónicos de Floresta (Departamento de Bóyaca).

Schumm, S. A. (1998). *To interpret the earth: ten ways to be wrong*. Cambridge University Press.

Servicio Geológico Colombiano (2014). *Mapa de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa*. Planchas 136 y 152.

Servicio Geológico Colombiano (2015) Anexo A. *Glosario de términos geomorfológicos. Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa*. Escala 1:100.000.

Strahler, A. N. (1980). *Systems theory in physical geography*. *Physical Geography*, 1(1), 1-27.

Terraza, R. (2019). 'Formación La Luna': expresión espuria en la geología colombiana. *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena*, 23.

Ujueta, G. (2003). *La Falla de Santa Marta-Bucaramanga no es una sola falla; son dos fallas diferentes: La Falla de Santa Marta y la Falla de Bucaramanga*. *Geología Colombiana*, 28, 133-153.

Urueña, C. (2014). *Metamorfismo, exhumación y termocronología del Neis de Bucaramanga*. (Macizo de Santander, Colombia).

Van der Hammen, T., Barelds, J., De Jong, H., & De Veer, A. (1980). *Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Colombia)*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 32, 247-340.

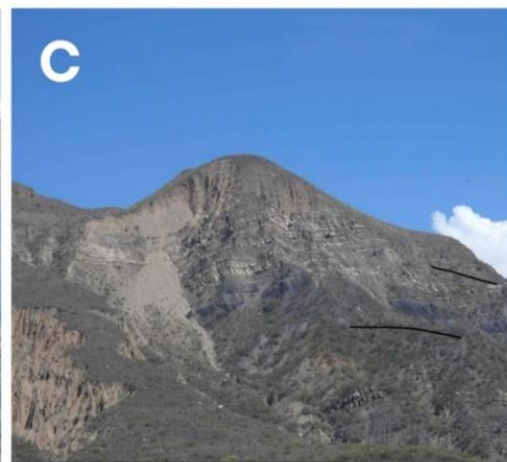
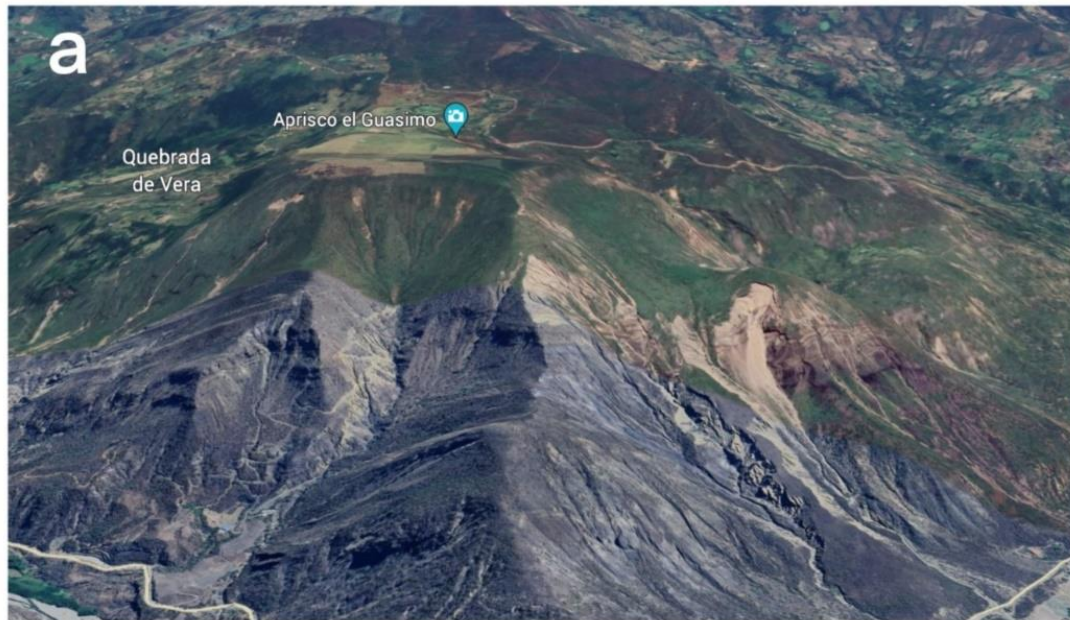
- Van der Lelij, R.; Spikings, R.; Ulianov, A.; Chiaradia, M.; Mora, A. (2016). Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*, 31.
- Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L., & Téllez, N. (1984). Geología de la plancha 136 Málaga. Ingeominas.
- Velandia, F & Rojas, P. (2010) Mesa de Barichara. Colección Patrimonio Geológico de Colombia. Primera edición.
- Velandia, F. 2017. Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander-énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 222 p.
- Velandia, F., & Bermúdez, M. (2018). The transpressive southern termination of the Bucaramanga fault (Colombia): Insights from geological mapping, stress tensors, and fractal analysis. *Journal of Structural Geology*, 115, 190-207.
- Velandia, F., García, H., Zuluaga, C., López, J., & Bermúdez, M. (2020). Present-day structural frame of the Santander Massif and Pamplona Wedge: The interaction of the Northern Andes. *Journal of Structural Geology*, 137, 104087.
- Villarroel, C., Concha, A. & Macía, C. (2001). El lago pleistoceno de Soatá (Boyacá, Colombia): consideraciones stratigráficas, paleontológicas y paleoecológicas. *Geología colombiana*, 26, 79-93.
- Villamizar, N. (2017). Historia de exhumación del bloque este de la falla de Bucaramanga usando termocronología de baja temperatura, Santander, Colombia.

- Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz, J., & Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 21(1-3), 1-134.
- Zamarreño, D. J., & Julivert, D. (1963). Estudio Petrográfico de las Calizas de la Formación Rosablanca de la Región de la Mesa de los Santos. *Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander*, 5-34.
- Zapata, G., Correa, A. M., Rodríguez, G. y Arango, M. I. (2020). Granito de Pescadero. En *Catálogos de las unidades litoestratigráficas de Colombia: Macizo de Santander*. Vol. 1. Servicio Geológico Colombiano.

Apéndices

Apéndice A

Imágenes de referencia de la Figura 11 (a-b-c).



Apéndice B

Referencia de la Figura 17.



Apéndice C

Referencia de la Figura 21.

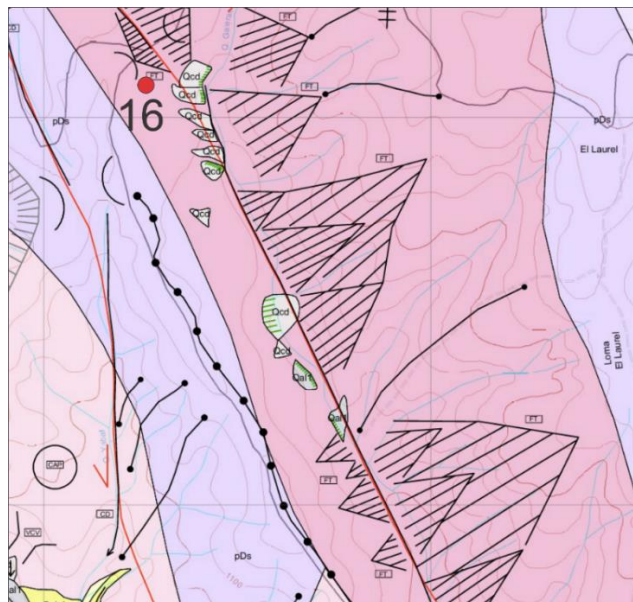


Apéndice D

Quebrada Seca. Imagen de referencia de la Figura 24.

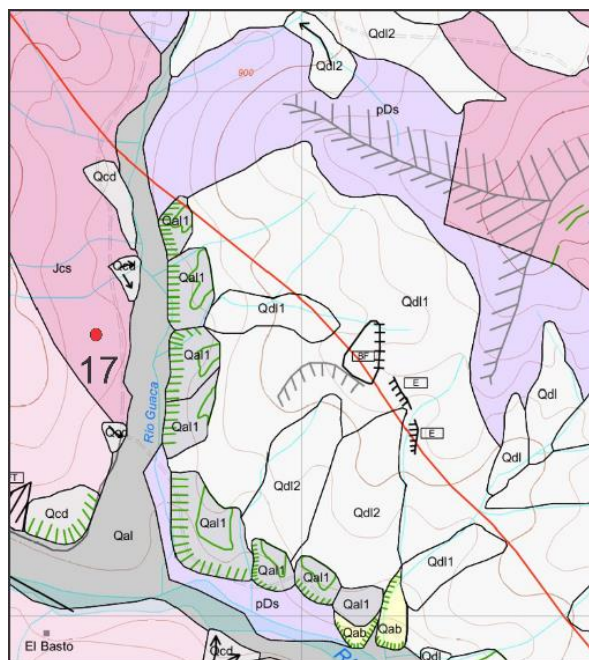
**Apéndice E**

Geoformas cartografiadas en la quebrada Talarcuta. (Tomado y modificado de Diederix et al. 2008). Facetas triangulares (FT) que evidencian el paso de la Falla de Bucaramanga por las formaciones Jurásicas (JTRCs), ilustradas en la figura 16.



Apéndice F

Depósitos cuaternarios cartografiados en El Embudo (Tomado y modificado de Diederix et al. 2008). Qdl es un depósito de coluvión. Qal son depósitos aluviales.

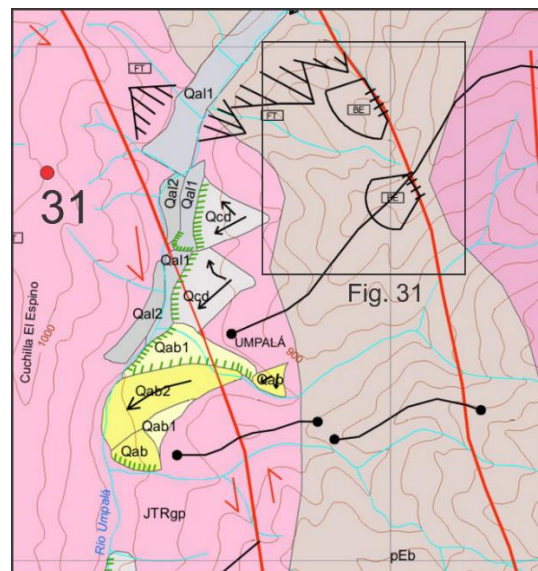


En la figura 17 están ilustradas las facetas triangulares en los depósitos aluviales.

Apéndice G

Bermas de falla en el Neis de Bucaramanga (PDb) producto del trazo principal y un trazo secundario de la Falla de Bucaramanga (Tomado y modificado de Diederix et al. 2008).

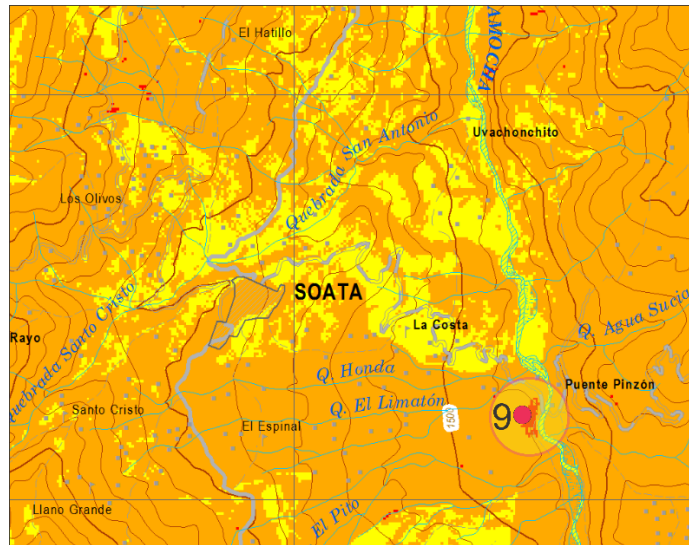
Estas geoformas están ilustradas en la Figura 30.



Apéndice H

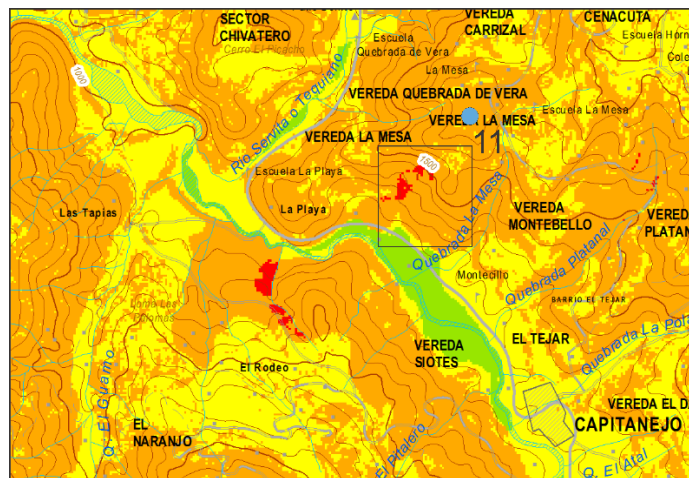
Mapa de amenaza relativa en la región de Soatá (Modificado de SGC, 2015).

La estación 9 marcada está en zona roja de amenaza de movimientos en masa.



Apéndice I

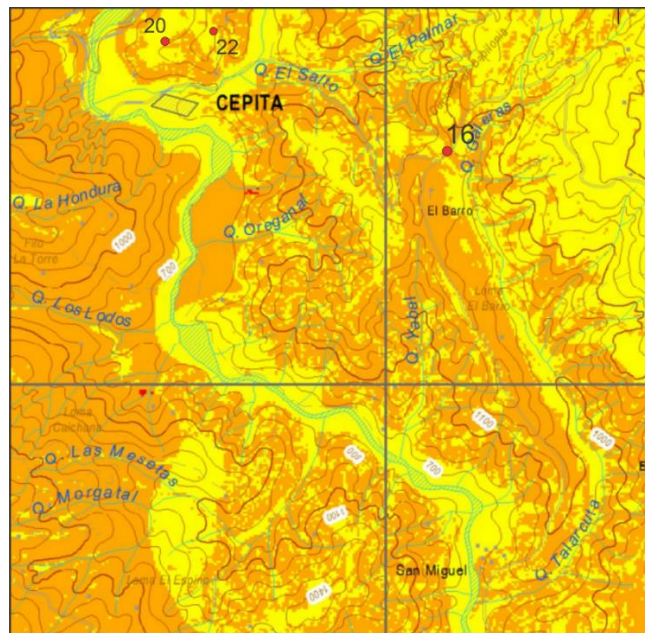
Mapa de amenaza relativa en la vereda La Mesa, lugar de la estación.



El recuadro representa las imágenes ilustradas en la Figura 11. Las zonas rojas del recuadro representan amenaza alta de movimientos en masa, en donde hay deslizamientos y escarpes de erosión.

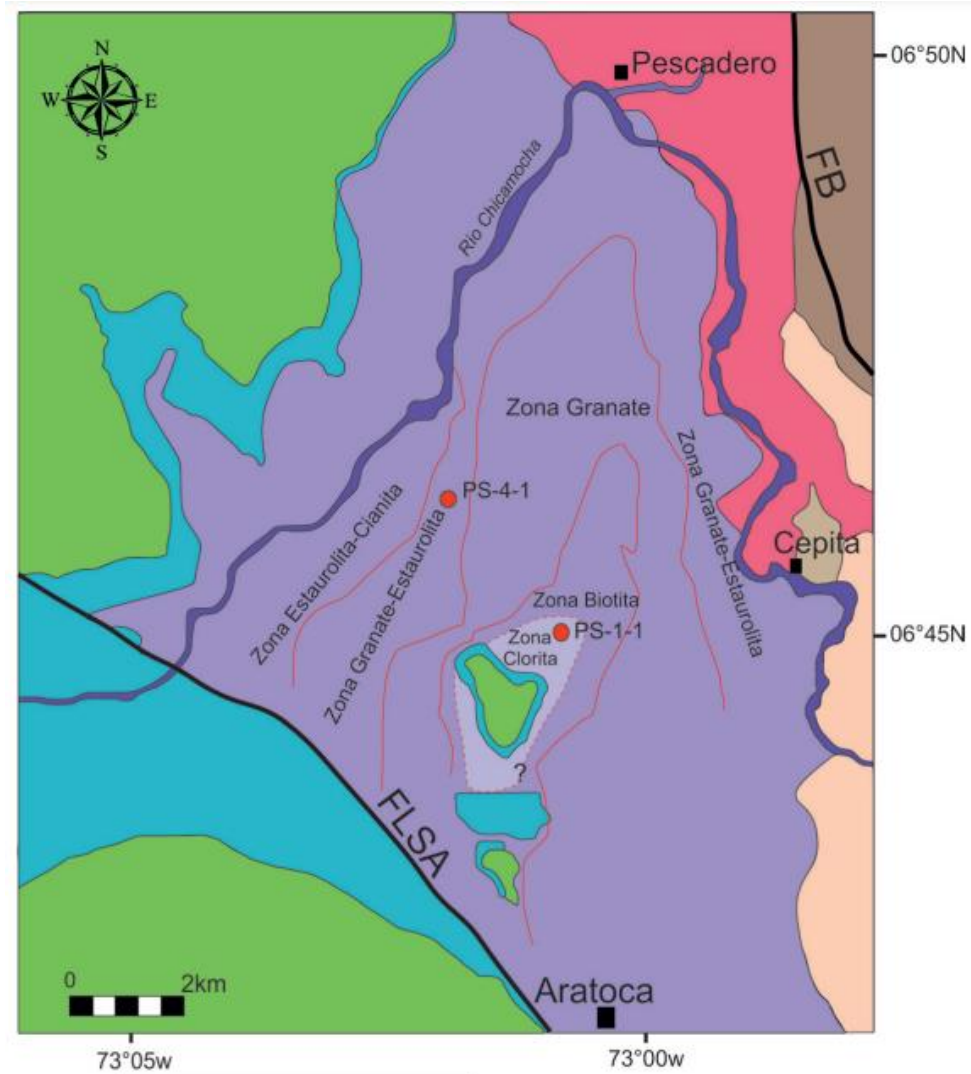
Apéndice J

Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa en la zona de Cepitá (Modificado de SGC, 2014). Las estaciones 16, 20 y 22 están señaladas en puntos rojos.



Apéndice K

Mapa geológico de la franja Pescadero-Aratoca, indicando la localización de las muestras estudiadas PS-1-1 y PS4-1. FB-Falla de Bucaramanga; FLSA-Falla Los Santos-Aratoca. Modificado de Ríos et al. (2003) en Mantilla et al. (2016).



LEYENDA

	Rocas sedimentarias del Cretácico
	Rocas sedimentarias del Jurásico
	Cuarzomonzonita de Mogotes
	Granito de Pescadero
	Filitas de San Pedro (antes Formación Sigará según Ward et al.; 1973)
	Esquistos del Chicamocha (antes Formación Sigará según Ward et al.; 1973)
	Gneis de Bucaramanga

CONVENCIONES

	Limite de Zona de Metamorfismo
	Falla
	Contacto Litológico
	Localización Muestras