

Caracterización Geológica y Geomorfológica de la mina San Tomas, municipio de San Cayetano, Norte de Santander, Colombia.

Cristian Nicolay Cagua Jaimes

**Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Básicas
Programa de Geología**

Tutor Académico

Msc. Ilich Sebastián Villamizar Solano

Tutor Empresarial

Esp. Marcelo Amado Calderón Nieves

Villa Del Rosario, Norte de Santander

2023

Caracterización Geológica y Geomorfológica de la mina San Tomas, municipio de San Cayetano, Norte de Santander, Colombia.

Cristian Nicolay Cacia Jaimes

Tutor Académico

Msc. Ilich Sebastián Villamizar Solano

Tutor Empresarial

Esp. Marcelo Amado Calderón Nieves

**Trabajo de grado, modalidad práctica empresarial
Presentado como requisito para optar al título de Geólogo**

Universidad De Pamplona

Villa del Rosario, Norte de Santander

2023

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a mis padres por tanto esfuerzo y apoyo que me brindaron, a toda mi familia que estuvo conmigo y me brindó su apoyo y enseñanzas para poder formarme como persona y como profesional.

Agradezco a la Universidad de Pamplona, al Departamento de Física y Geología y al Programa de Geología por haberme permitido ser parte de esta universidad y poder formarme como geólogo asimismo agradecer a todos los profesores del programa de geología por todos sus conocimientos brindados, también agradecer a mi director académico y director del programa de Geología Ilich Sebastián Villamizar Solano por su disposición y asesorías.

Finalmente agradecer a la empresa M.C Consultoría S.A.S por su calurosa acogida y por supuesto agradecer también a mi director Empresarial Marcelo Amado Calderón Nieves por todo su apoyo, orientaciones y conocimientos.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	7
Abstract.....	8
1. Introducción.....	9
2. . Objetivos.....	10
2.1. Objetivo General.....	10
2.2. Objetivos Específicos.....	10
3. Generalidades.....	11
4. Metodología.....	12
4.1. Etapa I: Recolección Bibliográfica.....	12
4.2. Etapa II: Trabajo de Campo.....	13
4.3. Etapa III: Trabajo de Oficina.....	14
4.4. Etapa IV: Redacción de Informe Final.....	14
5. Marco Teórico.....	15
5.1. Geología Regional.....	15
5.1.1. <i>Estratigrafía</i>	15
5.2. Tectónica Regional.....	18
5.2.1. <i>Falla el Pórtico</i>	19
5.2.2. <i>Falla Panamá</i>	19
5.2.3. <i>Falla San Pedro</i>	20
5.3. Geomorfología Regional.....	20
5.3.1. <i>Ambiente Estructural</i>	20
5.3.2. <i>Ambiente Denudacional</i>	21
5.3.3. <i>Geoformas de Origen Fluvial</i>	21
6. Resultados.....	23
6.1. Cartografía de la Mina San Tomas.....	24
6.2. Geomorfología Local.....	26
6.2.1. Sierra Homoclinal (Ssh).....	27
6.2.2. Ladera Estructural de Sierra Homoclinal (Sshle).....	27
6.2.3. Ladera de Contrapendiente de Sierra Homoclinal (Sshlc).....	28
6.2.4. Ladera Estructural erosionada de Sierra Homoclinal (Sshlee).....	28
6.2.5. Ladera de Contrapendiente erosionada de Sierra Homoclinal (Sshlce).....	29
6.3. Geología Local.....	30

6.3.1.	<i>Formación Los Cuervos (E1lc)</i>	31
6.3.2.	<i>Formación Mirador (E2m)</i>	36
6.3.3.	<i>Formación Carbonera (E2c)</i>	38
6.3.4.	<i>Depósitos Coluviales (Qco)</i>	38
6.4.	Tectónica Local	39
6.4.1.	<i>Falla San Tomera</i>	39
6.4.2.	<i>Falla San Tomas I</i>	40
6.4.3.	<i>Falla Las Isabelas</i>	40
7.	Conclusiones	41
8.	Recomendaciones	42
9.	Referencias	43

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de localización área de estudio	11
Figura 2: Diagrama de la metodología	12
Figura 3: Mapa de Fallas Regionales del departamento Norte de Santander	18
Figura 4: Mapa de Estaciones Mina San Tomas	23
Figura 5: Ortomosaico de la Mina San Tomas	24
Figura 6: Cartografía Actualizada Mina San Tomas	25
Figura 7: Mapa Geomorfológico Mina San Tomas.....	26
Figura 8: Fotografía Ladera Estructural de Sierra Homoclinal	27
Figura 9: Fotografía Ladera de Contrapendiente de sierra Homoclinal	28
Figura 10: Laderas Estructural y de contrapendiente erosivas	29
Figura 11: Mapa Geológico Mina San Tomas.....	30
Figura 12: Afloramiento de Areniscas de la Fm. Cuervos.	31
Figura 13: Columna Estratigráfica Fm. Los Cuervos.....	32
Figura 14: Afloramiento de M5 inferior y M5 Superior	33
Figura 15: Fotografía a detalle de capas de lodolitas de la Fm. Los Cuervos.	33
Figura 16: Fotografía de Nivel 0 donde se observa M5	34
Figura 17: Fotografía a detalle de M30	35
Figura 18: Fotografía del Contacto entre la Fm. Los Cuervos y la Fm. Mirador.....	36
Figura 19: Afloramiento Areniscas blancas Fm. Mirador	37
Figura 20: Fotografía a detalle de las areniscas grises de la Fm. Mirador	37
Figura 21: Contacto Fm. Mirador y Fm. Carbonera.....	38
Figura 22: Fotografía de la falla San Tomera.....	39
Figura 23: Fotografía Falla San Tomas I.....	40

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo la caracterización geológica y geomorfológica de la mina San Tomas ubicada en la vereda Ayacucho del Municipio de San Cayetano y en el sector Sur del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander, esto con el fin de que exista una información actualizada y detallada de las diferentes estructuras tanto geológicas como geomorfológicas presentes en la mina. Todo esto a través de la elaboración de unos mapas basados en la recopilación de información geológica y geomorfológica de todo el título minero a partir de salidas de campo, imágenes generadas con un dron y descripciones litológicas. Como resultados principales se tiene un modelo geológico donde se observa la diferenciación y cuantificación de tres unidades geológicas de edad terciaria y 4 estructuras geomorfológicas actuales en la zona de estudio.

Palabras Clave: Caracterización Geológica, Caracterización Geomorfológica, Mina San Tomas, Formación los Cuervos, Formación Mirador, Formación Carbonera

Abstract

This work has as objective the geological and geomorphological characterization of the San Tomas mine located in the Ayacucho village of the Municipality of San Cayetano and in the southern sector of the Municipality of San José de Cúcuta, Norte de Santander, this in order to have a updated and detailed information on the different geological and geomorphological structures present in the mine. All this through the elaboration of maps based on the compilation of geological and geomorphological information of the entire mining title from field trips, images generated with a drone and lithological descriptions. As main results, there is a geological model where the differentiation and quantification of three geological units of Tertiary age and 4 current geomorphological structures in the study area are observed.

Keywords: Geological Characterization, Geomorphological Characterization, San Tomas Mine, Los Cuervos Formation, Mirador Formation, Carbonera Formation

1. Introducción.

El presente trabajo tiene como objetivo principal la caracterización de las unidades geológicas y geomorfológicas de la Mina San Tomas, ubicada en el municipio de San Cayetano, Norte de Santander. Para la realización de este trabajo se plantearon unos objetivos específicos los cuales son generar una base cartográfica actualizada de la mina, posteriormente determinar las diferentes unidades geológicas y geomorfológicas presentes en el área. Para el cumplimiento de estos objetivos se generaron unos productos principales como lo son un mapa cartográfico actualizado de la mina, un mapa geológico y un mapa geomorfológico a escala 1:5.000, todo esto para generar un mejor entendimiento del modelo geológico y geomorfológico de la zona.

Como justificación para la realización de este trabajo se tiene como punto de partida la poca información geológica y geomorfológica de esta zona, aunque esta zona cuenta con varios títulos mineros no se encuentra información geológica y geomorfológica al público, lo cual dificulta la recolección bibliográfica para realizar trabajos en la zona. La mina San Tomas aunque lleva más de 20 años en fases de exploración y explotación esta misma no cuenta con un modelo geológico y geomorfológico actualizado que pueda ayudar a tener un mejor entendimiento de la geología, geomorfología y tectónica del área.

Este estudio conto con una metodología que se dividió en cuatro etapas: la primera etapa consto de una recolección bibliográfica del área de estudio. Para la segunda etapa que fue el trabajo de campo se realizaron diversas estaciones de control en toda el área donde se observó las diferentes unidades geológicas y geomorfológicas. En la tercera etapa que fue de oficina se analizó toda la información recolectada y se generaron el mapa geológico y geomorfológico de la zona. Por último se realizó este informe donde se plasmó toda la información recolectada, además de las diferentes conclusiones y recomendaciones para posteriores trabajos en el área.

2. . Objetivos

En este apartado se presentaran los diferentes objetivos tanto generales como específicos.

2.1. Objetivo General.

Caracterizar Geológica y geomorfológicamente la mina San Tomas ubicado en el Municipio de San Cayetano, Norte de Santander.

2.2. Objetivos Específicos.

- Generar una base cartográfica más actualizada de la mina San Tomas mediante el uso de Orto mosaicos.
- Determinar y describir las diferentes formaciones geológicas presentes en la Mina San Tomas.
- Determinar y describir las diferentes unidades geomorfológicas que se encuentren en la zona de estudio.

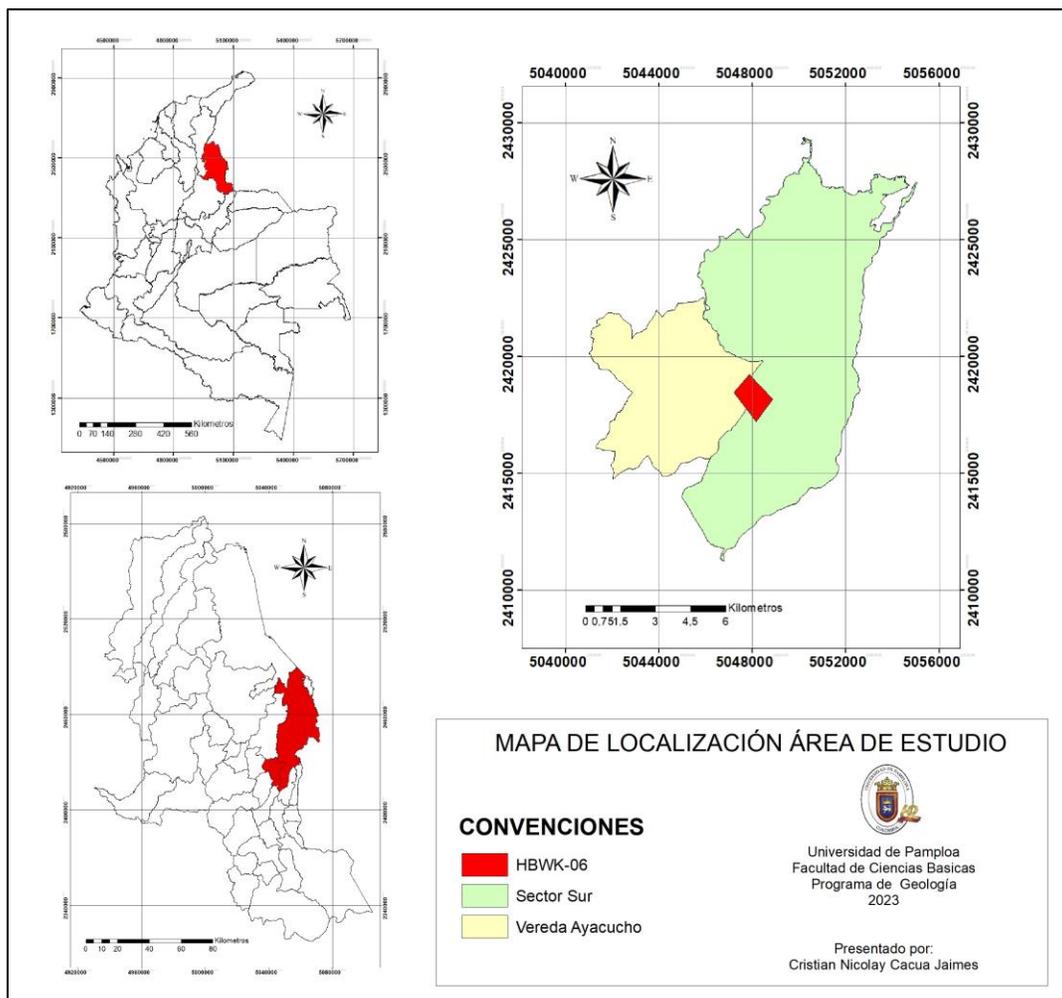
3. Generalidades.

En este apartado se mostraran las diferentes generalidades como los son la localización Geográfica.

3.1. Localización Geográfica de la zona de estudio.

La zona de estudio el título HBWK-06 conocido como “Mina San Tomas” se encuentra ubicada sobre la vereda Ayacucho del municipio de San Cayetano y el sector sur del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander. Esta presenta un área aproximada de 1,65 km² y un perímetro de 5272 metros.

Figura 1: Mapa de localización área de estudio



Nota. Fuente: El autor

4. Metodología

La metodología utilizada para la realización de la caracterización geológica y geomorfológica de la Mina San Tomas se dividió en cuatro etapas las cuales se detallan a continuación:

Figura 2: Diagrama de la metodología



Nota. Fuente: El Autor

4.1. Etapa I: Recolección Bibliográfica

En esta primera etapa se realizó una recolección de toda la bibliografía referente a la Mina San Tomas, así como del área circundante. En esta búsqueda se incluyeron lo que fueron Artículos Científicos, Imágenes Satelitales, Trabajos Realizados en esta Área, Planchas Geológicas, Planchas Topográficas e Informes de la mina.

Para toda esta información se consultaron principalmente en las bases del Servicio Geológico Colombiano (SGC), el instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Agencia Nacional de Minería (ANM), y demás documentos encontrados en sitios web referentes a la zona de estudio o sus alrededores. Toda esta primera etapa se realizó para tener un conocimiento geológico preliminar de la zona de estudio así como las problemáticas en cuestiones sociales y de acceso a la zona.

4.2. Etapa II: Trabajo de Campo

En la segunda etapa del trabajo se realizó primeramente una pequeña etapa de pre-campo donde se delimitó la zona de estudio sobre una base cartográfica la cual fue la plancha 99 del Instituto Agustín Codazzi delimitándola según el polígono del título HBWK-06 que se encuentra en las bases de la Agencia Nacional de Minería, también se utilizaron imágenes satelitales proporcionadas por google earth pro para observar las diferentes vías de acceso que no estuvieran actualizadas en la plancha.

Posteriormente se comenzaron con las salidas de campo a las zonas que se tuviera acceso, en estas salidas de campo se realizaron puntos de control en los cuales se tomaron descripciones de los afloramientos, datos estructurales con la ayuda de una brújula tipo Brunton, toma de muestras representativas de los afloramientos, toma de coordenadas con la ayuda de GPS y fotos de los afloramientos, registrando toda esta información en la libreta de campo y en el teléfono.

Por ultimo en esta etapa se realizó un vuelo con el dron EVO II PRO V3, esto para generar un orto mosaico de todo el título minero, para el vuelo de este dron se tuvieron unas especificaciones de vuelo como lo fue la altura que fue de 250 m y una velocidad de 14 km/h, todo esto para que las imágenes quedaran de excelente calidad y fueran más fácil de procesar, para el vuelo se tomaron un total de 568 fotos, un área de 276.7863 Ha y en un tiempo de 131 minutos.

Todas estas especificaciones fueron generadas desde la aplicación AUTEL EXPLORER de la misma marca del Dron Autel Robotics.

4.3. Etapa III: Trabajo de Oficina.

En esta tercera etapa se realizó el análisis y correlación de la información bibliográfica encontrada en la primera etapa y la información recolectada en la fase de campo, aquí se realizó primeramente una descripción de las diferentes muestras recolectadas, posteriormente se elaboró y digitalizo una columna estratigráfica. Luego se procesaron las imágenes suministradas con el dron en el programa Agisoft Metashape para generar el orto mosaico y las curvas de nivel, después de tener el orto mosaico se comenzó con la digitalización del mapa geológico y geomorfológico correlacionando la información de los puntos de control y el orto mosaico, para la digitalización de los mapas se utilizó el programa ArcMap versión 10.8.

4.4. Etapa IV: Redacción de Informe Final.

Para esta última etapa se realizó un análisis e interpretación de toda la información bibliográfica, la información recolectada en campo y los diferentes productos generados en la tercera etapa, plasmando toda esta información en un informe elaborado con normas APA 7a Edición, donde se escribieron los diferentes resultados, observaciones, recomendaciones y conclusiones relacionados con la geología y geomorfología de la Mina San Tomas.

5. Marco Teórico.

En este apartado se definen las características geológicas y geomorfológicas de la zona de estudio a una escala regional.

5.1. Geología Regional

A continuación se describe la información geológica y tectónica regional referente al área carbonífera Zulia- Chinácota en el sector de San Pedro. Este sector se encuentra ubicado al suroeste de la ciudad de Cúcuta, ocupando un área de 150 km², donde este sector presenta una gran importancia económica debida las formaciones geológicas presentes allí como lo son la Formación los Cuervos y la Formación Carbonera.

5.1.1. Estratigrafía

En el sector de San Pedro se encuentran cuatro formaciones geológicas las cuales presentan unas edades del cenozoico que según Van Der Hammen (1960) van desde el Paleoceno hasta el Oligoceno medio. Estas formaciones representativas de este sector son la Formación los Cuervos, Formación Mirador, Formación Carbonera y Formación León.

5.1.1.1. Formación los Cuervos (E11c). Esta unidad fue definida por Notestein *et al.* (1944), para denominar una alternancia de arcillolitas y lodolitas con capas de areniscas y de carbón. En la Concesión Barco, la sección tipo se encuentra ubicada en la Quebrada Los Cuervos afluente del Río Catatumbo, arriba de Puerto Barco, Norte de Santander.

En general la unidad está compuesta en la parte inferior por arcillas pizarrosas y arcillolitas carbonáceas, las cuales se encuentran intercaladas con areniscas de grano fino y mantos de carbón. Hacia la parte superior está compuesta por arcillolitas grises y grises verdosas parcialmente limolíticas y con esferulitas de siderita; las arcillas más superiores se caracterizan por ser de color

rojo, amarillo y púrpura. Los mantos de carbón presentan espesores entre 0.10 y 2.50 m de espesor (Royero & Clavijo, 2001).

Para esta formación se reportan espesores de 200 a 750 metros. La Formación Los Cuervos yace concordantemente sobre la Formación Barco. Hacia tope, el contacto con la Formación Mirador está marcado por la aparición de grandes capas de arenisca, aparentemente es concordante, aunque según Notestein *et al.*, (1944), De Porta, *et al.*, (1974) y Bioestratigráfica (1998), es localmente discordante. Para la edad de la formación los cuervos se le asignan edades de Paleoceno-Eoceno inferior (Van Der Hammen, 1960).

5.1.1.2. Formación Mirador (E2m). Formación descrita y nombrada por Sutton (1946) en el Cerro Mirador del Anticlinal Tarra en el estado de Zulia, Venezuela. Posteriormente Notestein *et al.* (1944), definen esta unidad en Colombia en su estudio de la Concesión Barco. Esta unidad se compone principalmente de areniscas cuarzosas de color blanco a gris claro de grano fino a medio, ligeramente conglomeráticas, carbonosas con algunos intraclastos lodolíticos. Hacia la parte media superior se encuentran arcillolitas de color gris, carbonosas, con intercalación de areniscas cuarzosas de grano fino. Hacia la parte superior se compone de areniscas ligeramente conglomeráticas, feldespáticas y ferruginosas. (Fuquen *et al.*, 2011).

Las areniscas de la Formación Mirador yacen concordantemente sobre las arcillolitas de la Formación Los Cuervos. Aunque ha sido descrito como discordante localmente. El límite superior de la unidad está situado en el contacto concordante entre las areniscas sin estratificación y los shales arenosos de la parte baja de la Formación Carbonera. La edad asignada para esta formación es Eoceno inferior a medio, Hubach (1957) y Van Der Hammen (1958)

5.1.1.3. Formación Carbonera (E2c). Definida por Notestein *et al.*, (1944), el nombre de Formación Carbonera deriva de la Quebrada Carbonera, afluente del Río Zulia, en el flanco

oriental del anticlinal La Petróleá de la Concesión Barco. En general está compuesta por una secuencia de lodolitas grises a gris verdosas, con intercalaciones de areniscas arcillosas; presenta capas de carbón en las partes inferior y superior (Royero, 2001). En su sección tipo se presentan además algunas capas delgadas de caliza en los intervalos carboníferos y raras zonas glauconíticas de limitada extensión lateral (Ward *et al.*, 1973).

El espesor de esta unidad en el área se estima en 100 m aproximadamente. Su espesor total varía entre 410 y 560 m (De Porta *et al.*, 1974). Royero & Clavijo

(2001) estiman un espesor entre 410 y 720 m. La Formación Carbonera descansa concordantemente sobre la Formación Mirador; este límite está marcado por la presencia de las primeras areniscas gruesas de la Formación Mirador (INGEOMINAS, 1967). Notestein *et al.*, (1944) le asigna a esta unidad Eoceno superior a Oligoceno inferior.

5.1.1.4. Formación León (E31). Inicialmente, esta unidad fue definida en 1931 por Hedberg (en De Porta *et al.*, 1974) y, posteriormente, redefinida por Notestein *et al.* (1944) en el área de la Concesión Barco, La localidad tipo se encuentra en la quebrada León, afluente del río Zulia, donde está compuesta predominantemente por lodolitas grises y gris verdes, con escasas intercalaciones de areniscas de cuarzo, grises, grano fino a medio. (Royero, 2001).

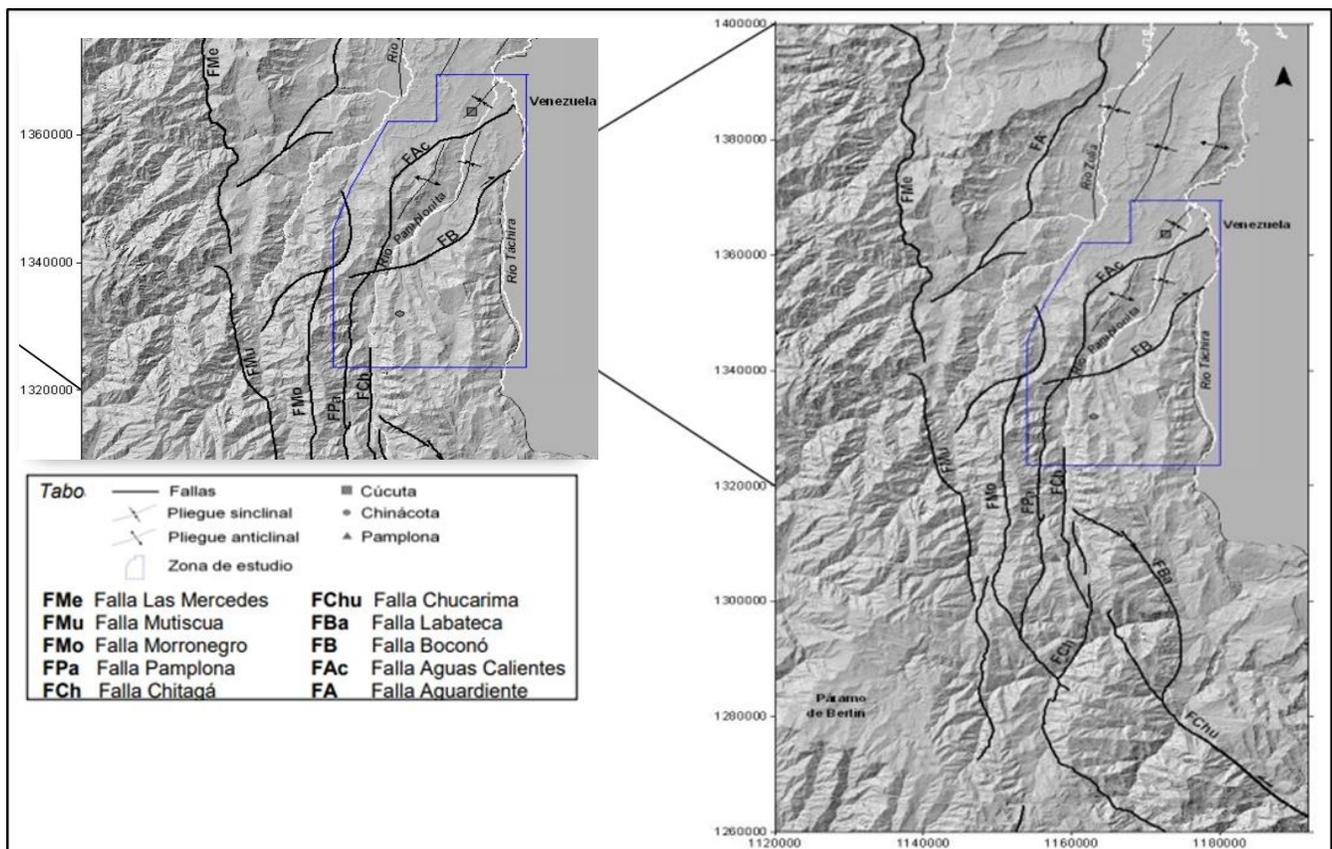
El espesor determinado en el área de estudio no pudo ser determinado. INGEOMINAS (1967) presenta un espesor promedio de 545 m. El contacto inferior con la Formación Carbonera es normal y se marca donde ocurre el cambio de las areniscas de esta a las lodolitas de la Formación León. El contacto superior es concordante con el Grupo Guayabo (INGEOMINAS, 1967).

Notestein *et al.*, (1944) con base en fauna y Van Der Hammen (1958) con datos palinológicos establecen una edad Oligoceno medio.

5.2. Tectónica Regional

El sector de San Pedro se encuentra en una zona que tiene una alta complejidad estructural esto debido a que la principal estructura en este sector es el anticlinal de Cúcuta el cual se observa al occidente del sector con una dirección general N25°-35°E. Esta alta complejidad estructural también se encuentra marcada debido al sistema de fallas de Aguascalientes, este sistema de fallas es la prolongación del sistema que es conocido con este nombre en Venezuela. Tiene una orientación NE-SW y su entrada a Colombia es por la ciudad venezolana de Ureña donde hacia ambos lados de la misma pasa una traza del sistema.

Figura 3: Mapa de Fallas Regionales del departamento Norte de Santander



Nota. Mapa de las fallas regionales del departamento Norte de Santander, detallando el sistema de fallas de Aguascalientes. Fuente: Mapa Geológico generalizado del Departamento Norte de Santander. (INGEOMINAS, 1997)

Para el sector de San Pedro existen tres fallas que pertenecen al sistema de fallas de Aguascalientes las cuales son la falla el Pórtico, la falla Panamá y la falla San Pedro. Describas a continuación:

5.2.1. Falla el Pórtico

Esta falla es la continuación de la Falla Aguascalientes al lado occidental del Río Pamplonita comienza cerca del caserío El Pórtico. La topografía al lado occidental asciende inicialmente relativamente suave sobre depósitos terciarios de las formaciones León y Carbonera para luego ascender más abruptamente hacia una cresta formada por las arenitas resistentes de la Formación Mirador que marca el flanco oriental del llamado Anticlinal de Cúcuta el eje del cual sigue un rumbo NNE y ocupa el terreno alto del Alto Isabela, Cerro Magro y Pico Gavilán a alturas en el orden de 1200 m. El eje tiene cabeceo hacia el Norte y la terminación septentrional de la estructura coincide con la zona de la Falla Aguascalientes. Esta zona de falla está representada por dos ramales en un arreglo anastomosando que se han denominado como la Falla El Pórtico y la Falla Panamá. (Diederix *et al.*, 2009)

5.2.2. Falla Panamá

Esta falla se encuentra a un kilómetro al Sur de la Falla El Pórtico pasa otra rama del Sistema de Fallas Aguascalientes que se ha separado de la Falla El Pórtico y que se ha designado como la Falla Panamá. Esta traza tiene una expresión muy visible en las fotos aéreas en el lugar donde trunca la Formación Mirador que buza fuertemente hacia el Este constituyendo el flanco oriental del Anticlinal de Cúcuta. Este anticlinal tiene un fuerte cabeceo hacia el norte que es terminado contra esta estructura, donde está atravesado por el Sistema de Falla Aguascalientes. Es evidente que la falla pasa por este lugar, hecho que está corroborado ya que directamente al norte

la secuencia terciaria de las formaciones los Cuervos, Mirador y Carbonera buzcan en dirección opuesta con 45° hacia el Oeste evidenciando el desplazamiento lateral derecho del flanco occidental del Anticlinal de Cúcuta por la acción de la falla. (Diederix *et al.*, 2009)

5.2.3. Falla San Pedro

Entre el flanco oriental del Anticlinal de Cúcuta en el oeste y el Río Pamplonita en el oriente al Sur de la vereda El Pórtico y a mitad de la ladera que marca aproximadamente el límite entre la Formación León al Este y la Formación Carbonera al Oeste, se encuentra un contra escarpe con dirección N-S. Este contra-escarpe define el límite occidental de una cobertura de terrazas cuaternarias y asociado a éste se observó un desplazamiento vertical de la parte oriental de las terrazas. Se considera que este contra escarpe es la expresión de una falla activa en el Cuaternario. No se pudo establecer si esta falla además de tener un componente vertical también ha tenido movimiento transcurrente y menos en qué sentido. La falla define el límite, pero no completamente, de la cobertura de los remanentes de una terraza cuaternaria antigua. (Diederix *et al.*, 2009)

5.3. Geomorfología Regional

En el sector de San Pedro se tienen tres procesos que enmarcan la geomorfología de la zona, predominando los procesos estructurales, denudacionales y Fluviales.

5.3.1. Ambiente Estructural

Estas geoformas son generadas por el tectonismo ocasionado a partir de las fuerzas internas de la naturaleza con poca intervención denudacional. Las geoformas se caracterizan por la disposición estructural, fallas, estratificación, lineamientos, pliegues, diaclasas y fracturamiento de las rocas aflorantes. Se presentan afectadas por procesos erosivos intensos y se caracterizan por

su relieve predominantemente colinado a montañoso de pendientes abruptas y escarpadas. (SGC, 2015).

5.3.1.1. Ladera de Contrapendiente de Cuesta (Sc1c). Superficie vertical a subvertical muy corta a corta, de forma irregular o escalonada, de pendiente muy escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno. En la zona se presenta al Oeste del Municipio Los Patios de la Formación Mirador y Carbonera. (SGC, 2015)

5.3.1.2. Ladera Estructural de Cuesta (Sc1e). Superficie con estratos dispuestos a favor de la pendiente, cuya inclinación puede variar entre 10°- 25°, de longitud larga a extremadamente larga, de forma recta a irregular, con pendientes inclinadas a muy inclinadas, relacionada a una estructura de cuesta. (SGC, 2015)

5.3.2. Ambiente Denudacional.

Es un ambiente formado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente productor de meteorización, erosión y remoción en masa sobre geoformas existentes. (Carvajal, 2011)

5.3.2.1. Ladera Ondulada (D1o). Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales. (SGC, 2015)

5.3.3. Geoformas de Origen Fluvial.

Asociadas a procesos exógenos degradacionales y agradacionales relacionados al efecto erosivo y acumulativo en la base de las laderas de morfología plana, en las corrientes de los ríos y

las cuencas de sedimentación. En la zona las geformas de origen fluvial están relacionadas a la erosión fluvial. (SGC, 2015)

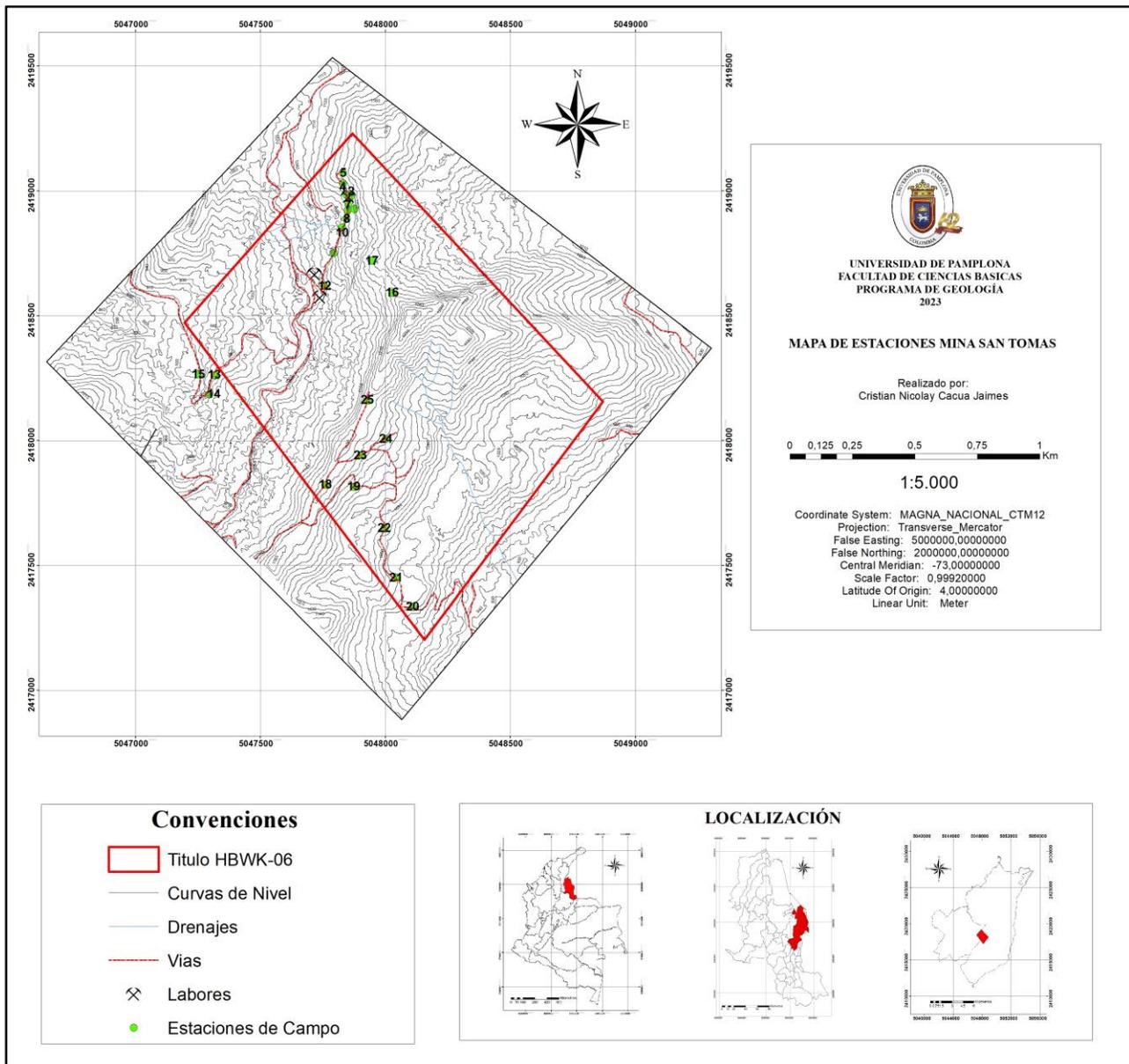
5.3.3.1. Plano o llanura de inundación (Fpi). Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza, al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal. (SGC, 2015)

5.3.3.2. Terraza de acumulación antigua (Ftan). Superficie alomada en forma de abanico de extensión kilométrica, laderas moderadamente largas, cóncavas a convexas. Se caracterizan por presentar pendientes de 5° a 10° en las partes altas, limitadas por escarpes de disección en forma de “V” que localmente pueden alcanzar inclinaciones de 20°. De manera general, se presentan colgadas, inclinadas y discordantes sobre unidades antiguas. (SGC, 2015)

6. Resultados

En el siguiente apartado se mostraran todos los resultados obtenidos de la caracterización geológica y geomorfológica de la mina San Tomas. Para esta caracterización se realizaron 25 estaciones de campo (ver mapa de estaciones) donde se pudieron determinar la presencia de tres formaciones geológicas y 4 subunidades geomorfológicas.

Figura 4: Mapa de Estaciones Mina San Tomas

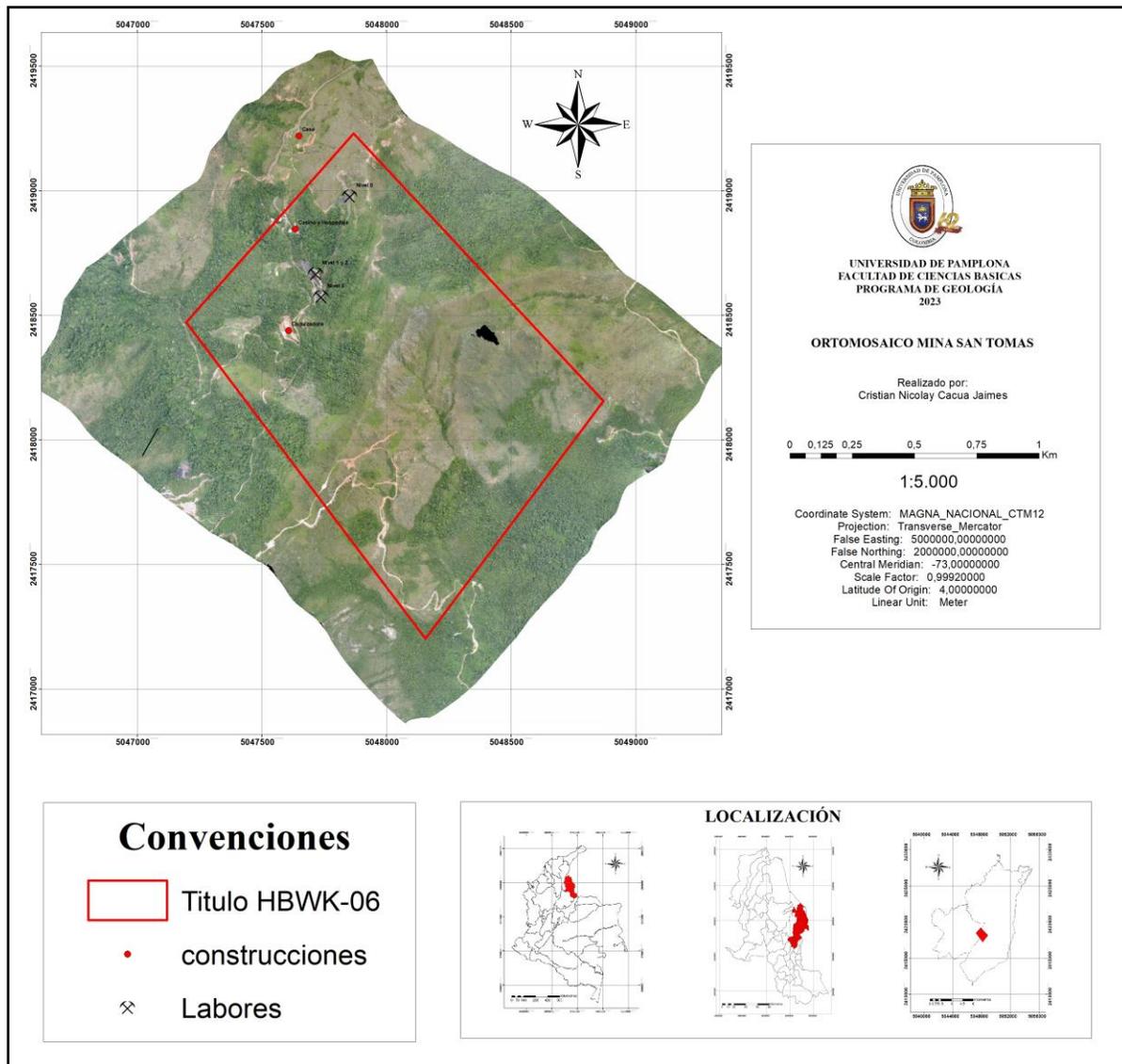


Nota. Fuente: El autor

6.1. Cartografía de la Mina San Tomas

Para la realización de la actualización de la cartografía de la Mina San Tomas se realizó mediante la creación de un Ortomosaico generado a partir de imágenes tomadas por un dron EVO II PRO V3 el cual realizo un vuelo sobre el titulo minero, donde se obtuvo el siguiente ortomosaico:

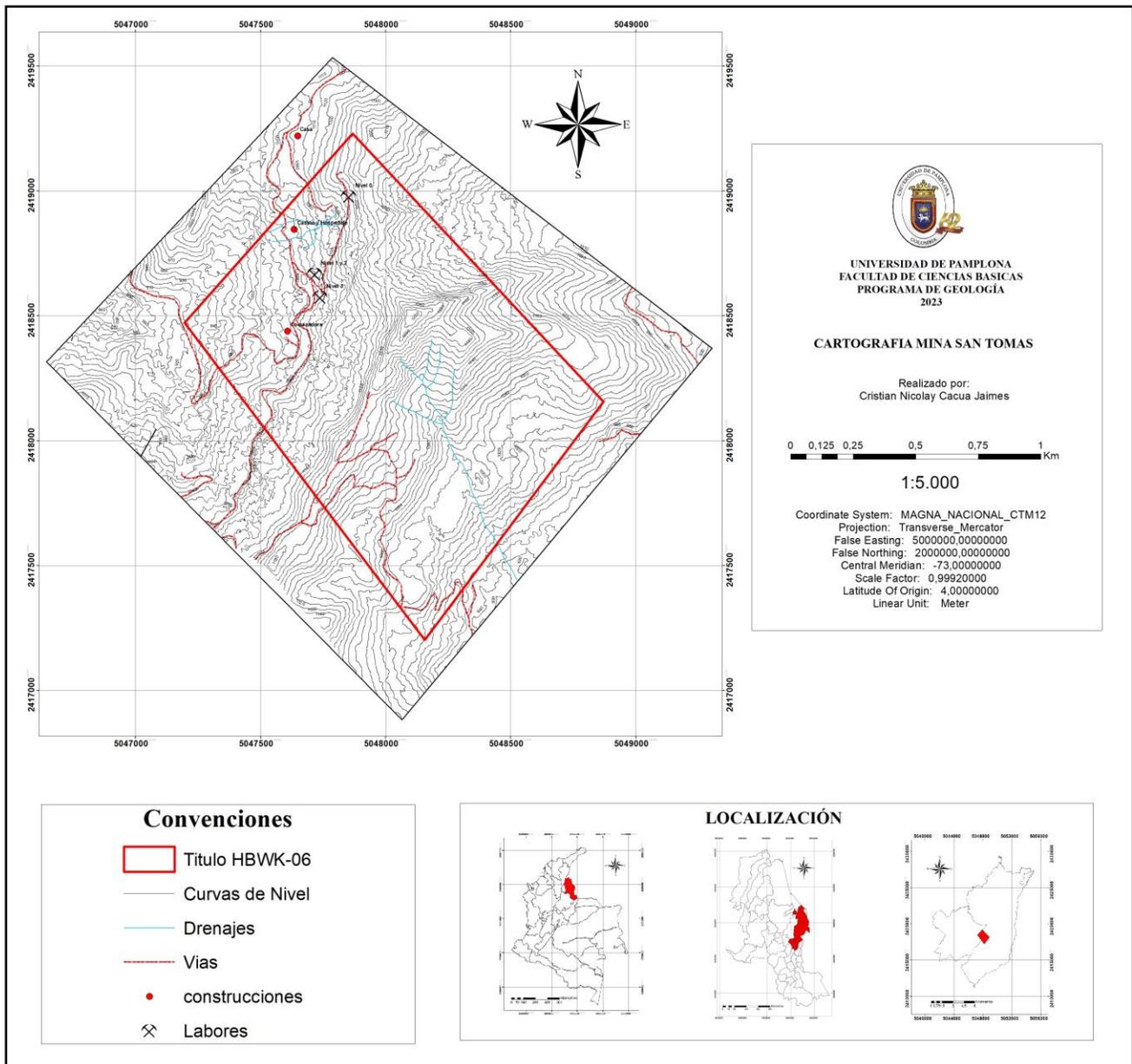
Figura 5: Ortomosaico de la Mina San Tomas



Nota. Ortomosaico generado a partir de imágenes suministradas por un dron y procesadas en el software Agisoft Metashape. Fuente: El autor

Posteriormente con el ortomosaico y las curvas de nivel se llevaron estos productos al software ArcMap 10.8 donde se generó un mapa con una cartografía más actualizada del área de estudio y se pudo determinar las diferentes labores de extracción, vías y construcciones, todo esto plasmado en el siguiente mapa:

Figura 6: Cartografía Actualizada Mina San Tomas

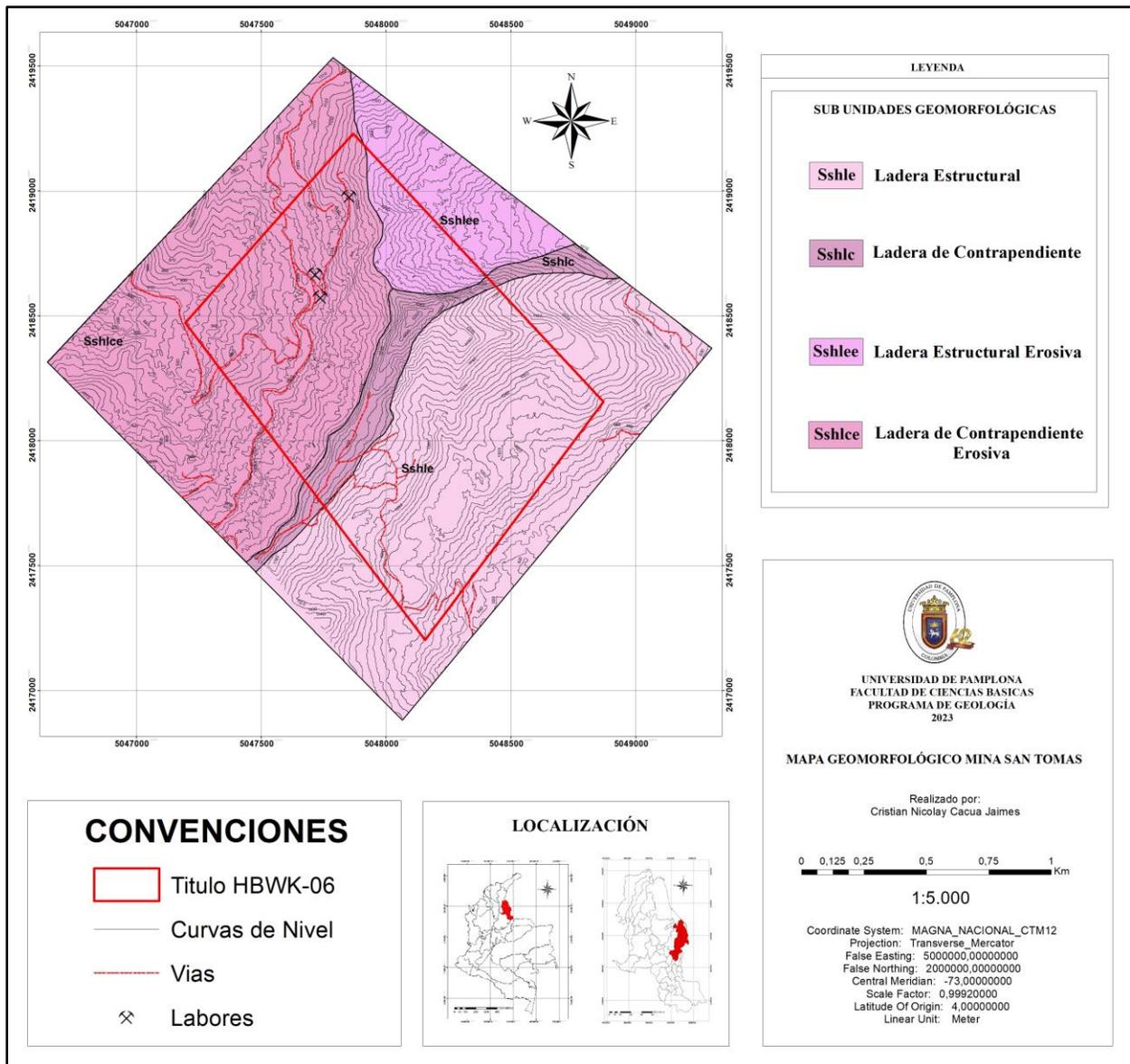


Nota. Fuente: El autor

6.2. Geomorfología Local.

La zona de estudio se encuentra enmarcada por procesos estructurales, conformándose así por subunidades geomorfológicas de ambiente estructural como lo son laderas estructurales, laderas de contrapendiente, laderas estructurales erosivas y laderas de contrapendiente erosivas, a continuación se pueden detallar cada una de las estructuras.

Figura 7: Mapa Geomorfológico Mina San Tomas



Nota. Fuente: El Autor

6.2.1. Sierra Homoclinal (Ssh)

Prominencia topográfica simétrica o ligeramente simétrica elongada y de morfología montañosa a colinada de cimas agudas, definida por una secuencia de estratos o capas apilados e inclinados ($> 35^\circ$) en una misma dirección. Generalmente es producto del desarrollo o erosión de un solo flanco de una estructura geológica. (SGC, 2015).

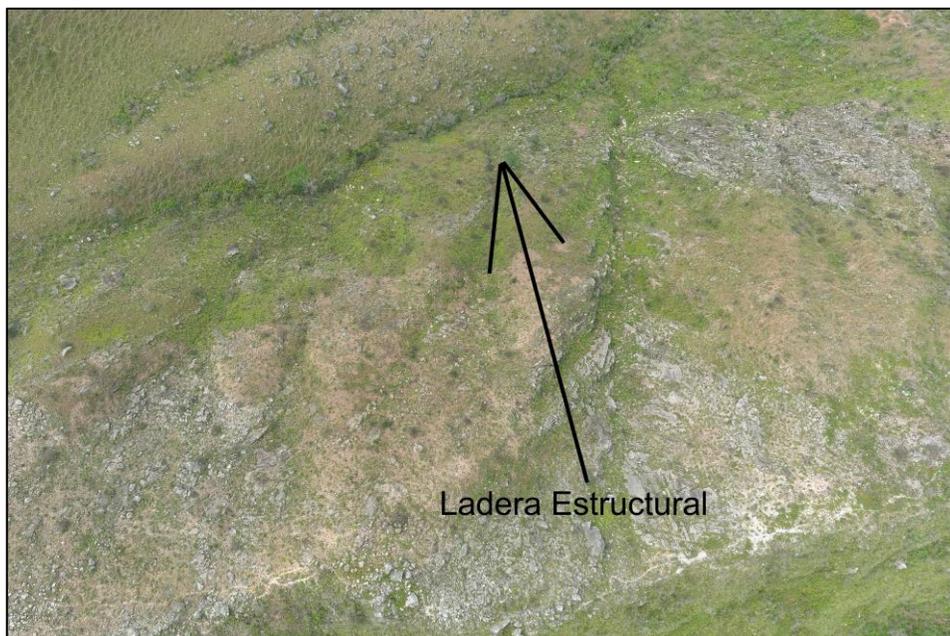
En el caso de la zona de estudio la estructura geológica es el anticlinal de Cúcuta el cual producto de la erosión del flanco oriental genero esta estructura geomorfológica.

6.2.2. Ladera Estructural de Sierra Homoclinal (Sshle)

Superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud corta a moderada larga, formas rectas a convexas y pendientes escarpadas a muy escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal (SGC, 2015).

En el área de estudio esto sucede hacia la parte SE del título en las rocas de la formación Mirador, donde allí la inclinación de los estratos está a favor de la pendiente.

Figura 8: *Fotografía Ladera Estructural de Sierra Homoclinal*



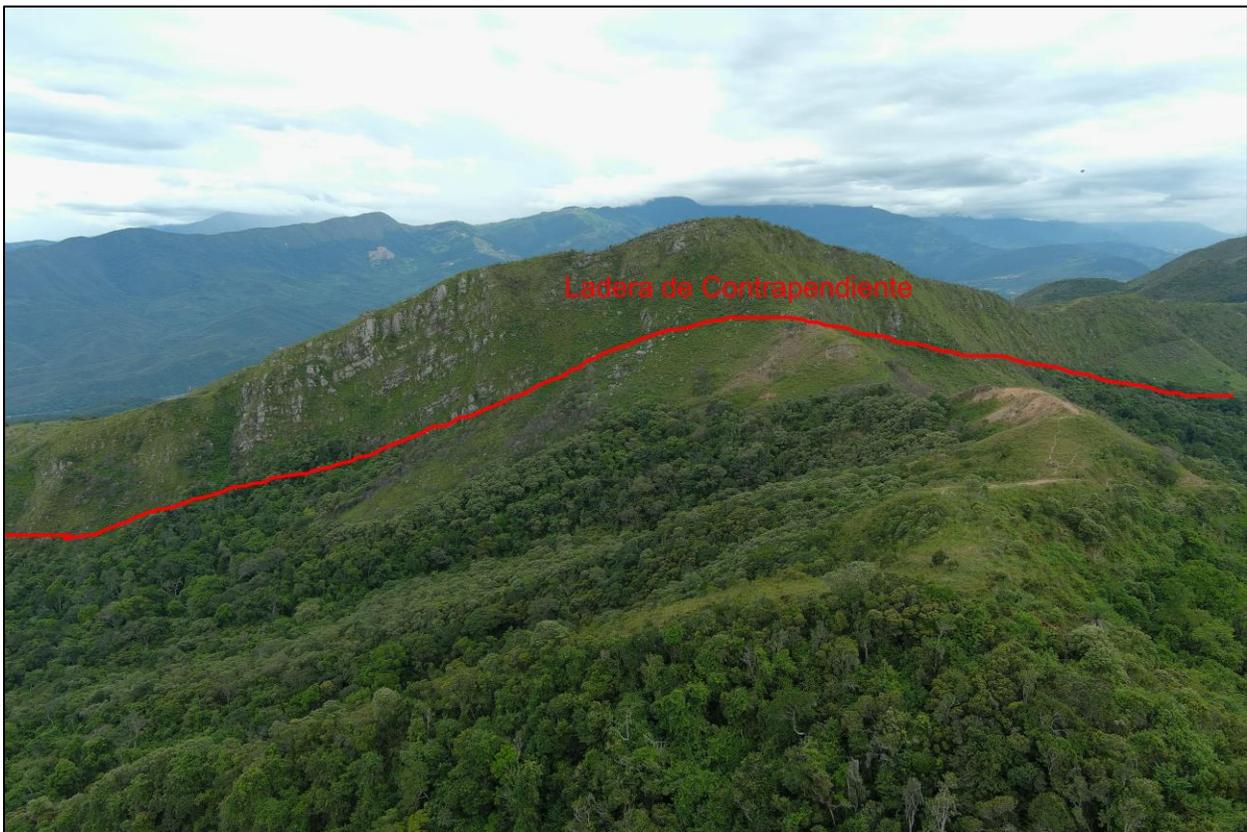
Nota. Fuente: El Autor

6.2.3. Ladera de Contrapendiente de Sierra Homoclinal (Sshlc)

Superficie vertical a subvertical moderada a larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una sierra homoclinal (SGC, 2015).

En la mina San Tomas esta estructura geomorfológica se puede observar en la parte más alta de la montaña donde se puede observar los estratos en contra de la pendiente.

Figura 9: *Fotografía Ladera de Contrapendiente de sierra Homoclinal*



Nota. Fotografía tomada con el dron donde se evidencia la ladera con los estratos que van en contra de la pendiente. Fuente: El Autor

6.2.4. Ladera Estructural erosionada de Sierra Homoclinal (Sshlee)

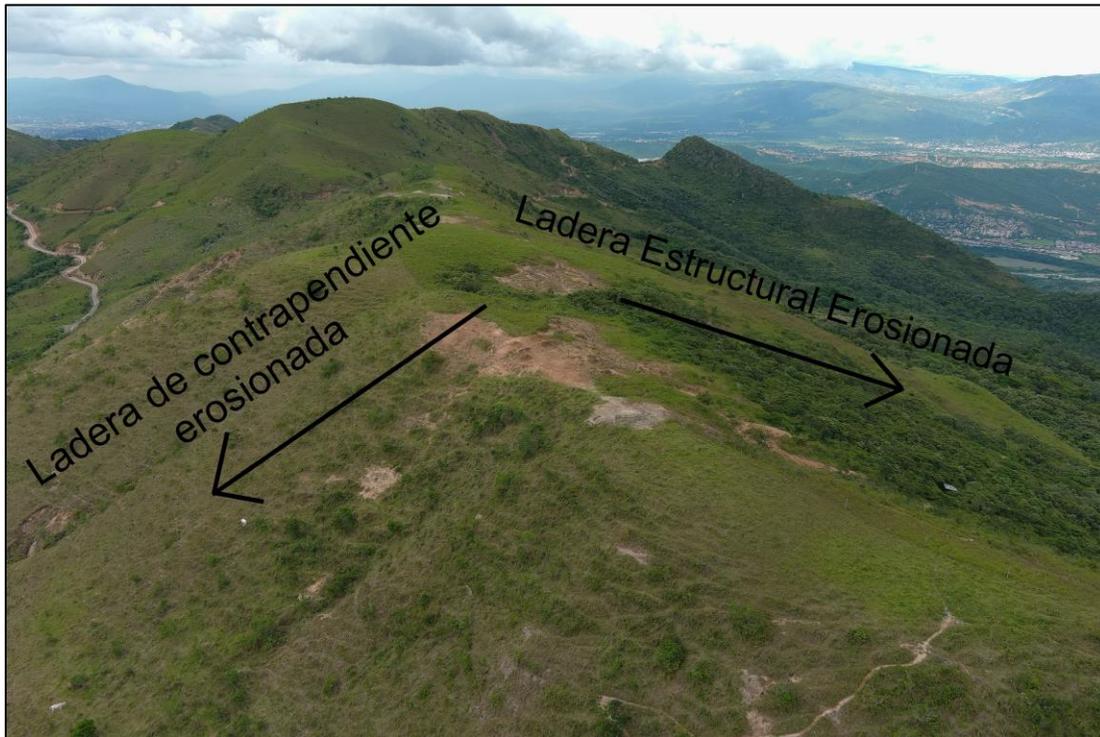
Es una superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud corta a moderada larga, formas rectas a cóncavas y pendientes abruptas relacionada a

procesos erosivos que generan estas estructuras geomorfológicas. En la zona de estudio se encuentran hacia la parte NE del título donde se observan estos estratos a favor de la pendiente y con pendientes abruptas generadas por erosión y que afectan a las rocas de la formación Los cuervos.

6.2.5. Ladera de Contrapendiente erosionada de Sierra Homoclinal (Sshlce)

Superficie sometida a procesos erosivos que se presentan de forma vertical a subvertical moderada a larga, de forma cóncava, con pendientes abruptas producto de los estratos en contra de la pendiente y de los procesos erosivos. En la zona de estudio se puede observar esta estructura hacia la parte NW del título afectando a las rocas de la Formación Los cuervos.

Figura 10: *Laderas Estructural y de contrapendiente erosivas*



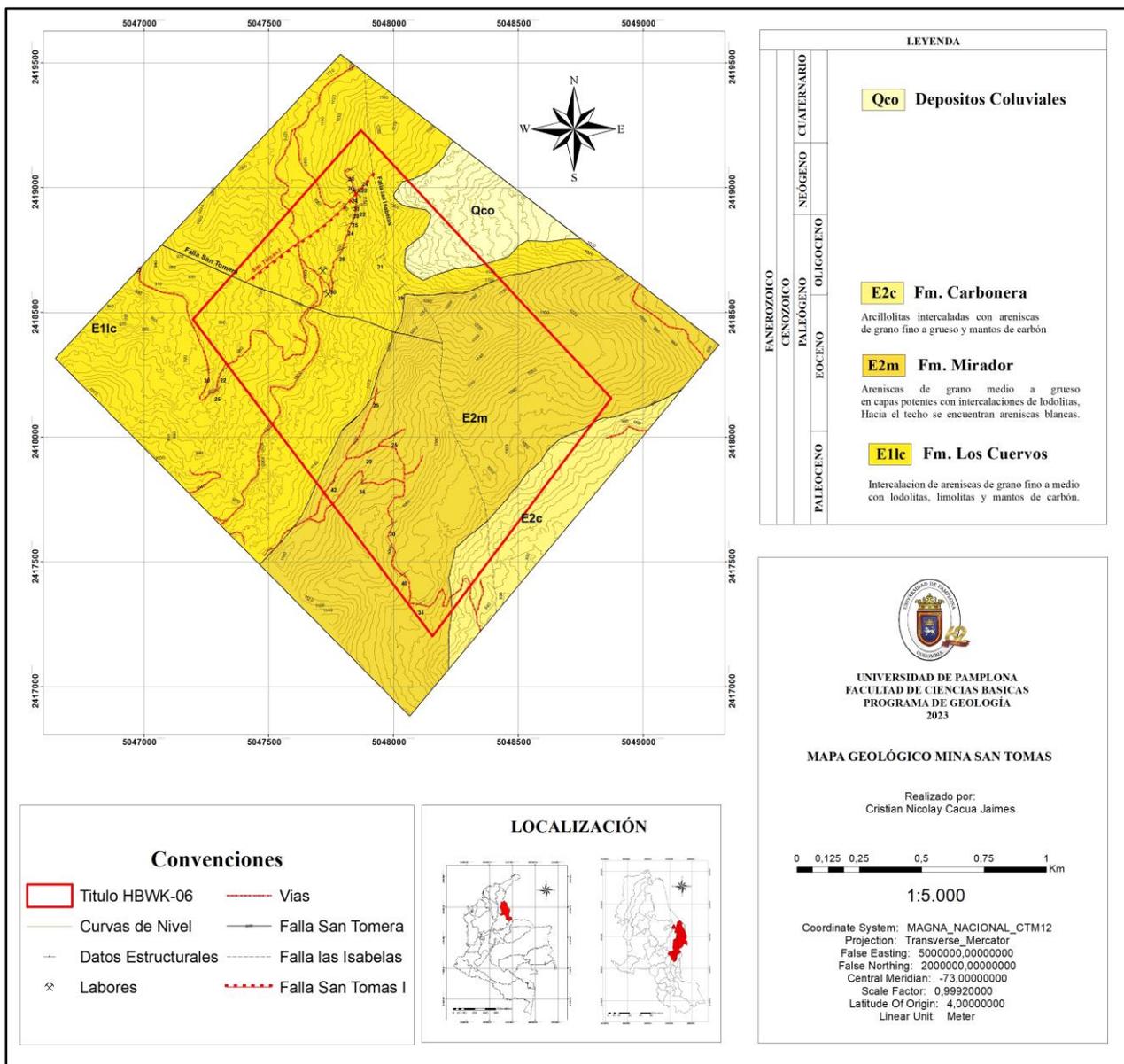
Nota. Fotografía tomada con el dron donde se evidencia dos estructuras geomorfológicas como lo son la ladera de contrapendiente erosionada y la ladera estructural erosionada.

Fuente: EL Autor

6.3. Geología Local.

La zona de estudio corresponde al título HBWK-06 conocido como “Mina San Tomas” está constituida geológicamente por tres formaciones las cuales ubicadas geocronológicamente de la más antigua a la más nueva corresponden a la Formación los Cuervos, Formación Mirador y Formación Carbonera.

Figura 11: Mapa Geológico Mina San Tomas



Nota. Fuente: El Autor

6.3.1. Formación Los Cuervos (Elle).

La formación Los Cuervos es la formación con mayor interés en el área no solo por el área que abarca que aproximadamente es más del 40% si no que es muy importante ya que en esta formación se encuentran mantos de carbón económicamente explotables, se encuentra hacia el noroeste del título y se encuentra compuesta de base a techo por areniscas de coloraciones amarillentas con tamaño de grano que va de fino a medio, con intercalaciones de lodolitas y limolitas de color gris. En la parte media se compone de intercalaciones de lodolitas y limolitas grises a negras con contactos difusos, también presenta capas delgadas de areniscas de color gris a amarillento, con forma tabular, tamaño de grano que va de fino a muy fino con contactos netos con las intercalaciones de lodolitas y limolitas, presenta mantos de carbón explotables. Para el techo se compone por intercalaciones de arcillolitas y lodolitas de color gris con estructuras internas semi onduladas y contactos difusos.

Figura 12: Afloramiento de Areniscas de la Fm. Cuervos.



Nota. Estratos tabulares de areniscas de grano fino de color amarillento correspondientes a la formación Los cuervos. Fuente: El autor.

Figura 14: *Afloramiento de M5 inferior y M5 Superior*



Nota. Fotografía panorámica donde se observa la intercalación de lodolitas entre M5 Inferior y M5 Superior, también se observa el techo de M5 que es un estrato de Arenisca de grano fino.

Fuente: El autor.

Figura 15: *Fotografía a detalle de capas de lodolitas de la Fm. Los Cuervos.*



Nota. Afloramiento donde se observa a detalle la intercalación de lodolitas y arcillolitas, además de unas capas de areniscas de grano fino correspondientes a la Formación Los Cuervos.

Fuente: El autor.

Esta formación presenta diferentes mantos de carbón coquizables los cuales están diferenciados con números, para el caso de la mina San Tomas se tienen cinco mantos los cuales son:

M5: Es un manto de carbón económicamente explotable el cual se encuentra dividido en dos siendo M5 inferior que presenta un espesor de 40 cm y M5 superior con un espesor de 55 cm los cuales están divididos por una capa de lodolitas de 35 cm. Presenta una dirección N30°E/40°SE, este manto no se encuentra actualmente de labores de explotación.

Figura 16: Fotografía de Nivel 0 donde se observa M5



Nota. Fotografía de la labor de extracción Nivel 0, donde se observa la diferenciación de M5 inferior y M5 superior. Fuente: El Autor.

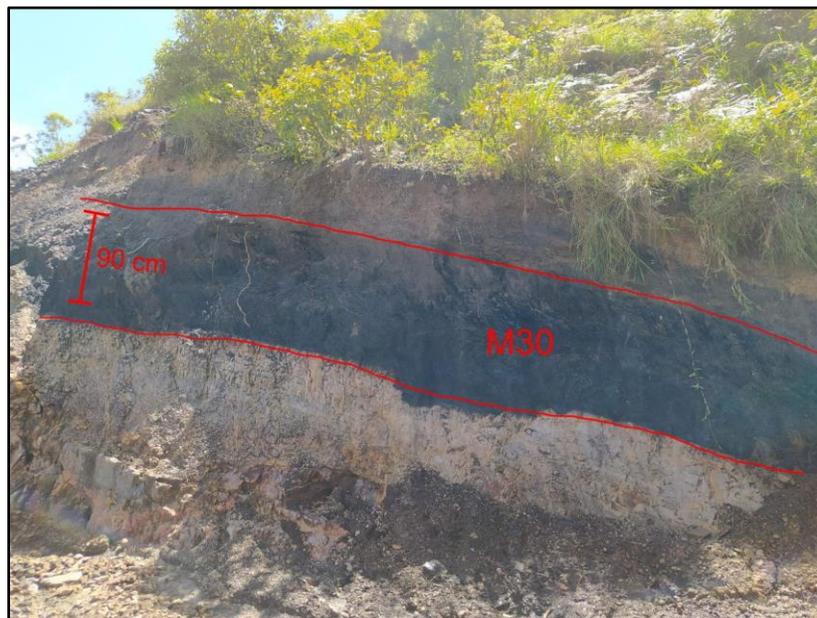
M7: Este es un manto que se presente de forma tabular y como un solo estrato, este tiene un espesor de 60 cm, al igual que M5 presenta una dirección $N30^{\circ}E/40^{\circ}SE$, este manto se encuentra en labor de explotación actualmente en el Nivel 1 de la Mina.

M10: Manto de carbón de un solo estrato con un espesor de 60 cm, estrato tabular con un techo de arenisca amarillenta de grano fino, actualmente este manto se encuentra en labores de explotación en los niveles 0, 1 y 2 de la mina.

M20: Manto tabular con un espesor muy pobre de aproximadamente 30 cm, no explotable, con una dirección $N45^{\circ}E/45^{\circ}SE$, actualmente no se cuentan con labores de explotación en este manto.

M30: Manto de mayor interés económico por su espesor de 90 cm, tabular, con orientación $N45^{\circ}E/45^{\circ}SE$, actualmente es el manto más explotado realizándose labores en los niveles 0, 1 y 2 de la mina.

Figura 17: Fotografía a detalle de M30



Nota. Fotografía donde se observa el espesor a detalle del manto de carbón de mayor espesor

conocido como M30. Fuente: El Autor.

6.3.2. Formación Mirador (E2m).

La Formación Mirador se encuentra suprayaciendo a la formación los cuervos, esta formación representa más del 50% del área total del título minero. Esta formación se encuentra hacia la parte SW de la mina, esta formación cuenta con pocos afloramientos dentro del título, esta presenta todos sus afloramientos en la parte más alta. Esta formación presenta una litología compuesta principalmente por capas de areniscas de color blanco a amarillento, de tamaño de grano medio. Hacia el techo se compone por capas de areniscas tabulares de colores grises en parte meteorizados y blancos a amarillentos en muestra fresca, con tamaño de grano medio a grueso, se compone también por intercalaciones de capas de areniscas tabulares de color blanco y lodolitas grises plano paralelas.

Figura 18: Fotografía del Contacto entre la Fm. Los Cuervos y la Fm. Mirador



Nota. Fotografía tomada con el dron donde se observa el contacto entre la Fm. Los Cuervos y la

Fm. Mirador. Fuente: El autor.

Figura 19: *Afloramiento Areniscas blancas Fm. Mirador*



Nota. Afloramiento donde se observa las capas de areniscas blancas características de la Formación Mirador. Fuente: El Autor.

Figura 20: *Fotografía a detalle de las areniscas grises de la Fm. Mirador*



Nota. Fotografía a detalle de las areniscas de color gris en roca meteorizada y blanca en roca fresca. Fuente: El Autor

6.3.3. Formación Carbonera (E2c).

La formación Carbonera se encuentra en la parte SW del título con un área aproximada del 4% del área total del título, siendo esta formación con menor presencia en el título. Esta formación se compone por unas intercalaciones de lodolitas grises y areniscas arcillosas de grano fino a grueso también presenta capas de carbón en las partes inferior y superior.

Figura 21: *Contacto Fm. Mirador y Fm. Carbonera*



Nota. Fuente: El Autor

6.3.4. Depósitos Coluviales (Qco).

Son depósitos caóticos de escombros con bloques muy grandes, generalmente de areniscas, mezclado con material fino y/o arcilloso y material de suelos. El espesor de estos depósitos varía entre un metro hasta más de 10 metros. (Diederix *et al.*, 2009)

En el área de estudio se encuentra en la parte NE del título.

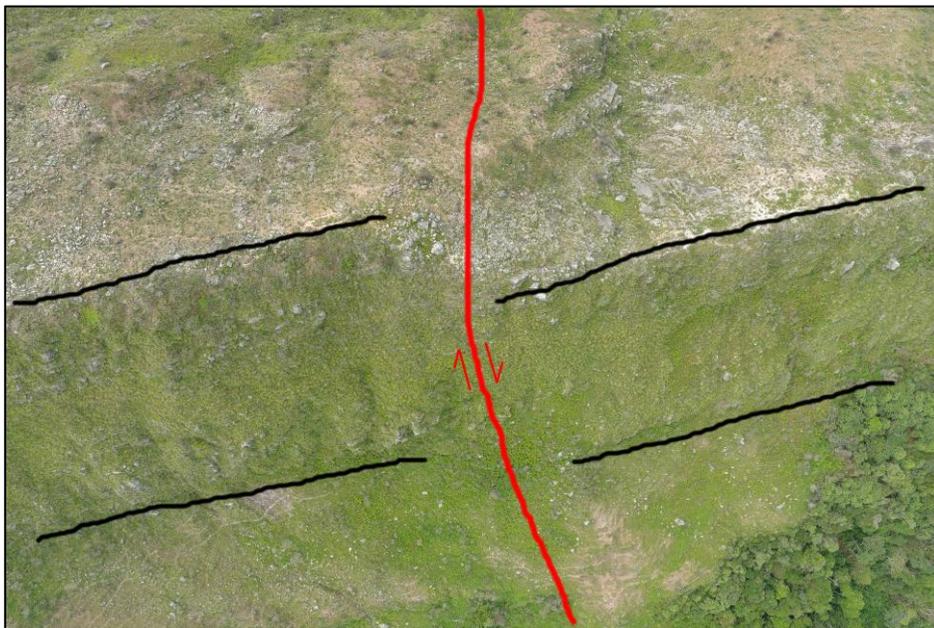
6.4. Tectónica Local.

La mina San Tomas se encuentra ubicada en una zona muy especial tectónicamente ya que esta se encuentra en la cordillera oriental y más específicamente en el flanco oriental del anticlinal de Cúcuta, demostrando que esta zona presenta una tectónica más compleja. En esta zona se encuentran diferentes fallas locales que han sido descritas y documentadas tanto a nivel superficial como en labores subterráneas, en el título se encuentra tres fallas importantes en la zona como lo son la falla San Tomera, la Falla San Tomas I y la Falla las Isabelas.

6.4.1. *Falla San Tomera.*

Es una falla que se puede observar con imágenes satelitales, esta es una falla de rumbo dextral con componente normal, con orientación E-W, la cual afecta a las formaciones Los Cuervos y Mirador.

Figura 22: *Fotografía de la falla San Tomera*



Nota. Fotografía donde se observa la falla San Tomera. Fuente: El Autor

6.4.2. *Falla San Tomas I*

Esta es una falla de tipo normal, con orientación $190^{\circ}/76^{\circ}$, Se encuentra en la labor de explotación del “nivel 0”, en donde se puede observar el desplazamiento del M5.

Figura 23: *Fotografía Falla San Tomas I*



Nota. Fotografía donde se evidencia el desplazamiento de M5 debido a la falla de tipo normal San Tomas I. Fuente: El autor

6.4.3. *Falla Las Isabelas*

La falla las Isabelas es una falla de rumbo sinistral cubierta ya que esta no se puede observar de manera superficial, pero si se puede ser observada al interior de la mina, la cual tiene un comportamiento normal, con orientación SE-NW. Esta falla posee un desplazamiento de 41 metros, dejando en contacto M5, con M10.

7. Conclusiones.

En el título minero HBWK-06 “Mina San Tomas” afloran tres formaciones geológicas de edad terciaria como lo son la formación Los Cuervos, Formación Mirador y Formación Carbonera. También se encuentran tres fallas dos de rumbo como lo son la falla “San Tomera” y la falla “Las Isabelas” y Una falla normal como lo es la Falla “San Tomas I” que desplaza a M5

La formación los cuervos es la formación de mayor interés económico debido que contiene diferentes mantos de carbón que son explotables, principalmente M5 y M30 por sus espesores, la formación mirador a pesar de que presenta una mayor extensión en el título no representa ningún interés económico para la Mina San Tomas.

La zona de estudio se encuentra geomorfológicamente en un ambiente principalmente estructural y montañoso generando estructuras principalmente de laderas en la formación mirador y cuervos, hacia la parte NW y NE se encuentran laderas las cuales han sido afectadas por procesos erosivos y procesos tectónicos principalmente en rocas de la Formación Los Cuervos.

La tectónica de la mina San Tomas es compleja debido a que se encuentra en el flanco oriental del anticlinal de Cúcuta, además de que pasan diferentes fallas de rumbo y normales por el título afectando a las formaciones Los Cuervos y Mirador, generando que en las labores de extracción subterránea en la formación Los Cuervos no se tenga una buena continuidad.

Las labores de explotación de la mina San Tomas se encuentran focalizadas en cuatro bocaminas las cuales son nivel 0, inclinado 1, inclinado 2 y el inclinado 3 todos estos en la parte NW del título, en la formación los cuervos y se encuentran labores de extracción en los mantos M5, M7, M10 Y M30, dejando de lado M20 debido a la calidad del carbón y a su espesor.

8. Recomendaciones

Realizar más labores de exploración y explotación hacia el sector sur del título siguiendo los mantos ya encontrados.

Generar una actualización más a detalle de las diferentes fallas que afecten a las labores de explotación como lo son Tambores, cruzadas y niveles.

Generar un mapa de riesgos y amenazas por movimientos en masa que puedan afectar a los tambores de ventilación y a las bocaminas.

Realizar un estudio hidrogeológico a detalle de las aguas que se filtran por los diferentes niveles y tambores.

9. Referencias

- Carvajal, H. (2011). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Bogotá, Colombia*. Ministerio de Mina y Energía.
- Diederix, H., Torres, E., Hernandez, C., Bohorquez O., (2009). *Evolucion tectónica y morfodinamica durante el cuaternario en la zona de Cucuta y alrededores, Norte de Santander*. Instituto Colombiano de Geología y Minería
- INGEOMINAS, (1998). *Memoria del cuadrángulo G-13 Cúcuta*. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear.
- Jaime, A. Fúquen, M. (2011). *Geología de las planchas 98 Durania y 99 Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia*. Servicio Geológico Colombiano.
<https://recordcenter.sgc.gov.co/B13/23008010024473/documento/pdf/2105244731101000.pdf>.
- Mejía, L. (2014). *EL CARBÓN Origen, atributos, extracción y usos actuales en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. <https://unilibros.co/gpd-el-carbon-origen-atributos-extraccion-y-usos-actuales-en-colombia.html>.
- Rincón Mesa, M. A., & Monroy V., W. O. (Eds.). (2010), *El carbón Muestreo, análisis y clasificación de Recursos y Reservas*. Publicaciones Geológicas especiales, Edición 2 (Vol. volumen 30). Libros del Servicio Geológico Colombiano.
<https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/download/77/73/559?inline=1>.
- Rincón Mesa, M. A., & Monroy V., W. O. (Eds.). (2012). *El carbón colombiano. Recursos, reservas y calidad* (Vol. volumen 32). Libros del Servicio Geológico Colombiano.
<https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/64>

Royero, J. Clavijo, J. (2001). *Memoria explicativa del Mapa Geológico generalizado departamento de Santander*. INGEOMINAS.

<https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010040002295/documento/pdf/0101022951101000.pdf>

SGC, (2015). *Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en más escala 1:100.000 plancha 099 – Villa del Rosario*. Servicio Geológico Colombiano.

Van Der Hammen, T., (1960). *Estratigrafía del terciario y maestrichtiano continentales y tectonogénesis de los Andes Colombianos*. Inventario Geológico Nacional. Boletín Geológico 6 (1-3).