



Cartografía geológica en la hacienda
Cañaverales, municipio de Sardinata,
Norte de Santander.

1

Cartografía Geológica A Escala 1:5000 De Un Área De 6 Km², Ubicados En La Hacienda Cañaverales Del Municipio De Sardinata, Norte De Santander

Melisa Cruz Marin

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

**Tutor Académico
Msc. Ilich Sebastian Villamizar Solano**

**Tutor Empresarial
Ing. Juan Estheban Rolón Montejo**

**Villa Del Rosario, Norte De Santander
2023**



**Cartografía Geológica A Escala 1:5000 De Un Área De 6 Km², Ubicados En La Hacienda
Cañaverales Del Municipio De Sardinata, Norte De Santander.**

Melisa Cruz Marin

**Tutor Académico
Msc. Ilich Sebastian Villamizar Solano**

**Tutor Empresarial
Ing. Juan Estheban Rolón Montejo**

**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

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a Dios por haberme permitido alcanzar este objetivo. A mis padres, que me han brindado todo su apoyo, amor y comprensión en todos los momentos de mi vida, gracias a ellos he podido lograr mis sueños, hoy más que nunca sé que sin ustedes no sería lo que soy, ustedes son el motor de mi vida; a mi hermana, quien ha sido un ejemplo de dedicación, lucha y esfuerzo, enseñándome que rendirse no es una opción y que las cosas siempre se pueden lograr si uno se compromete a hacerlas, negris eres mi orgullo.

A mi novio por su apoyo incondicional siempre, por estar en las buenas y sobre todo en los malos momentos, por no dejarme sola y siempre apoyarme a pesar de las múltiples circunstancias, como te digo siempre te amo infinitamente; a mis amigos, quienes han estado presentes en todos los procesos que he tenido que pasar para llegar hasta aquí, ustedes han sido un gran apoyo en mi vida y me han enseñado que el amor y la verdadera amistad existe y que la distancia de la familia puede ser más llevadera si se cuenta con personas tan maravillosas como ustedes.

Asimismo, quiero agradecer a la Universidad de Pamplona y al Programa de Geología, por haberme permitido formar parte de su comunidad académica, donde pude conocer excelentes profesionales, que me guiaron e incentivaron el amor por esta profesión, a todos ellos mil gracias y bendiciones.

Finalmente, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la empresa FOSFONORTE S.A. y a todo el personal que trabaja en la planta de producción, todos ellos fueron de gran enseñanza para mi futura vida profesional e hicieron que esta última experiencia como estudiante de geología y mi primer paso en la vida laboral fuera muy grata.



Contenido

Resumen	7
1. Introducción	7
2. Objetivos	9
2.1. General	9
2.2. Específicos	9
3. Generalidades	10
3.1. Localización geográfica	10
3.2. Hidrografía	10
3.3. Clima	11
3.4. Vegetación	11
4. Metodología	12
4.1. Fase inicial	12
4.1.1 Etapa I. Recopilación de bibliografía.	12
4.1.2 Etapa II. Pre-Campo y delimitación del área de estudio.	13
4.1.3 Etapa III. Salidas de Campo a la Zona.	14
4.2. Fase final	15
4.2.1 Etapa IV. Análisis e interpretación de la cartografía.	15
4.2.2 Etapa V. Realización de informe final.	15
5. Marco teórico	16
5.1. Geología local	17
5.2. Geología estructural	18
5.3. Características de la roca fosfórica	18
6. Resultados	20
6.1. Formación Cogollo	20
6.2. Formación La Luna	25



6.3. Formación Colón-Mito Juan	35
6.4 Depósitos Coluvión	39
6.5 Depósitos Aluviales	41
7. Conclusiones	45
8. Recomendaciones	47
9. Bibliografía	48
10. Apéndice	50
Apéndice A. Mapa de localización y red hidrográfica del área a escala 1:5000.	50
Apéndice B. Mapa de estaciones a escala 1:5000.	50
Apéndice C. Mapa geológico del área de estudio a escala 1:5000.....	50
Apéndice D. Corte geológico de A-A' realizado a escala 1:5000.....	50
Apéndice E. Columna estratigráfica, realiza a escala 1:500.	50



Lista de figuras

Figura 1: Mapa de localización y red hidrográfica del área de estudio. -----	10
Figura 2: Metodología a seguir para la realización de la cartografía geológica. -----	12
Figura 3: Aplicaciones a utilizar durante los trabajos de campo.-----	14
Figura 4: Columna Estratigráfica Generalizada de la Cuenca del Catatumbo. -----	16
Figura 5: Esquema de la formación de las rocas fosfóricas sedimentarias. -----	19
Figura 6: Mapa de Estaciones.-----	20
Figura 7: Mapa geológico del área de estudio. -----	21
Figura 8: Corte geológico del área de estudio. -----	22
Figura 9: Afloramientos de la Formación Cogollo. -----	22
Figura 10: Lutitas y Lodolitas de la Formación Cogollo. -----	23
Figura 11: Columna estratigráfica -----	24
Figura 12: Contacto entre la Formación Cogollo y Formación La Luna. -----	25
Figura 13: Afloramiento de la base de la Formación La Luna. -----	26
Figura 14: Caliza tipo Mudstone observada en la base de la Formación La Luna. -----	27
Figura 15: Chert de la base de la Formación La Luna. -----	27
Figura 16: Afloramiento de la parte media de la Formación La Luna. -----	28
Figura 17: Muestra de caliza tipo Packstone y calcita de la Formación La Luna. -----	29
Figura 18: Afloramiento del techo de la Formación La Luna. -----	30
Figura 19: Afloramiento de la Formación La Luna, ubicado sobre la Quebrada La Arenosa. ---	31
Figura 20: Trinchera realizada para la extracción de la roca fosfórica, Formación La Luna. ----	32
Figura 21: Caliza fosfórica tipo Mudstone.-----	33
Figura 22: Muestras de chert del techo de la Formación La Luna.-----	33
Figura 23: Limolita fosfática.-----	34
Figura 24: Limolita arenosa fosfática.-----	35
Figura 25: Capas de arcillolita pizarrosa de la Formación Colón-Mito Juan. -----	36
Figura 26: capa de arcillolita pizarrosa de color negro.-----	37
Figura 27: Arcillolita con presencia de pirita.-----	38
Figura 28: Arcillolita de color gris claro con azufre.-----	39
Figura 29: Depósitos de coluvión. -----	40
Figura 30: Bloques de los depósitos de coluvión. -----	40
Figura 31: Litología y estructura interna de los depósitos coluvión.-----	41
Figura 32: Llanura de inundación. -----	42
Figura 33: Depósitos aluviales sobre el río San Miguel y la quebrada La Arenosa.-----	42
Figura 34: litologías de los depósitos aluviales. -----	43



Resumen

El presente trabajo, modalidad práctica empresarial, ha sido elaborado con apoyo de la empresa FOSFONORTE S.A. entidad que lleva a cabo la explotación de roca fosfórica hace más de cuarenta años en la región y que en la actualidad no cuenta con una cartografía geológica actualizada, que les permita tener un conocimiento exacto de los recursos a explotar.

Por consiguiente, el enfoque principal de este proyecto fue llevar a cabo la realización de una cartografía geológica a escala 1:5000, de un área de 6Km² en la hacienda Cañaverales, en el municipio de Sardinata, Norte de Santander, en donde basándonos en información bibliográfica, realización de estaciones geológicas y comparación de estos datos, se pudo identificar tres formaciones geológicas nombradas de la más antigua a la más joven como la Formación Cogollo ubicada al sureste del área, la Formación La Luna unidad de mayor interés en la zona y la Formación Colón-Mito Juan ubicada al norte del área, junto con la identificación de dos depósitos cuaternarios de tipo coluvial y aluvial.

Esta información fue plasmada en un mapa geológico, corte geológico y columna estratigráfica, donde las características litológicas y estructurales se dan a conocer en este documento, presentando así una posible contribución del conocimiento geo-científico, de las siguientes exploraciones y explotaciones tanto de roca fosfórica como de otros recursos minerales que se tienen en la zona de interés y que pueden ser explotados por la empresa.



1. Introducción

Según la Agencia Nacional de Minería (ANM, 2021), Norte de Santander es uno de los tres departamentos que explotan fosfatos en Colombia, junto con Boyacá y Huila, es por esto que el conocimiento de las unidades litoestratigráficas que afloran en la región, es de gran importancia, tanto para la empresa como para la población en general. Debido a esto, desde el año 1942 se iniciaron estudios geológicos para determinar la presencia de roca fosfórica, localizándose un yacimiento con reservas estimadas en cinco millones de toneladas que podrían ser explotadas a cielo abierto (MOJICA, 1975). La explotación de este yacimiento se ha llevado a cabo por la empresa FOSFONORTE S.A. pero en la actualidad no se cuenta con una cartografía geológica detallada que les permita conocer las unidades aflorantes.

En consecuencia, se determinó elaborar una cartografía geológica, en la cual se identificarán las unidades geológicas que afloran en un área de 6km² y las características litológicas y estructurales de dichas formaciones, utilizando un método de investigación comparativo, en donde con la información bibliográfica y la información recolectada en campo, se relacionará la litología presente en el área con las formaciones geológicas de la cuenca del Catatumbo, determinándose así la presencia de la Formación Cogollo, Formación La Luna y la Formación Colón-Mito Juan e identificando cinco niveles fosfáticos en la Formación La Luna y pirita junto con azufre en la Formación Colón-Mito Juan.

Toda esta información se plasmó en este documento, el cual se espera que servirá como insumo informativo y no legal para las siguientes exploraciones y explotaciones que se llevarán a cabo tanto de roca fosfórica como de los demás recursos que se presentan en el área de interés.



2. Objetivos

En el siguiente apartado, se presentan los objetivos a cumplir en el desarrollo del proyecto

2.1. General

Cartografiar geológicamente a escala 1:5000, un área de 6 Km² ubicados en la hacienda Cañaverales del municipio de Sardinata, Norte de Santander.

2.2. Específicos

Determinar la distribución espacial de los materiales litoestratigráficos a escala 1:5000 en la zona de estudio.

Describir la composición y textura de las unidades litoestratigráficas en la zona de estudio.

Definir la disposición estructural de las unidades geológicas presentes en la zona de estudio

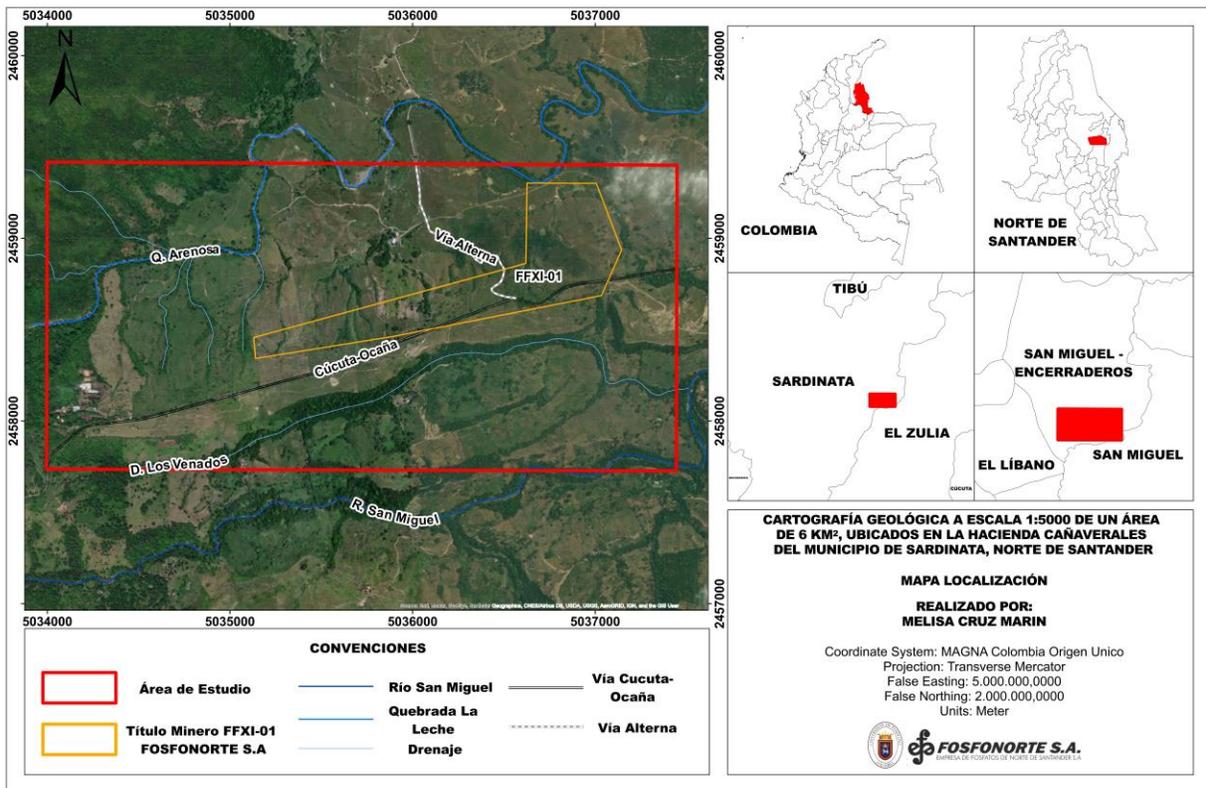
3. Generalidades

En el siguiente apartado, se presenta la localización geográfica, la hidrografía, el clima y la vegetación del área de estudio.

3.1. Localización geográfica

La zona de estudio se encuentra dentro del título minero 013-89M perteneciente a la empresa FOSFONORTE S.A. ubicado en el Km 53 de la vía que conduce del municipio de Cúcuta al municipio de Sardinata, en la hacienda Cañaverales de la vereda San Miguel–Encerraderos, Norte de Santander (**Figura 1**).

Figura 1: Mapa de localización y red hidrográfica del área de estudio.



Fuente: El Autor

3.2. Hidrografía

Las principales fuentes hídricas que se encuentran en la zona son el Río San Miguel, ubicado al sur y la Quebrada la Arenosa al norte (**Figura 1**).



3.3. Clima

En el área se presenta un clima cálido, con una temperatura promedio de 24° C, alta evapotranspiración y precipitaciones muy bajas, donde los mayores niveles de lluvias se dan de abril a mayo y octubre a noviembre (IDEAM, 1996).

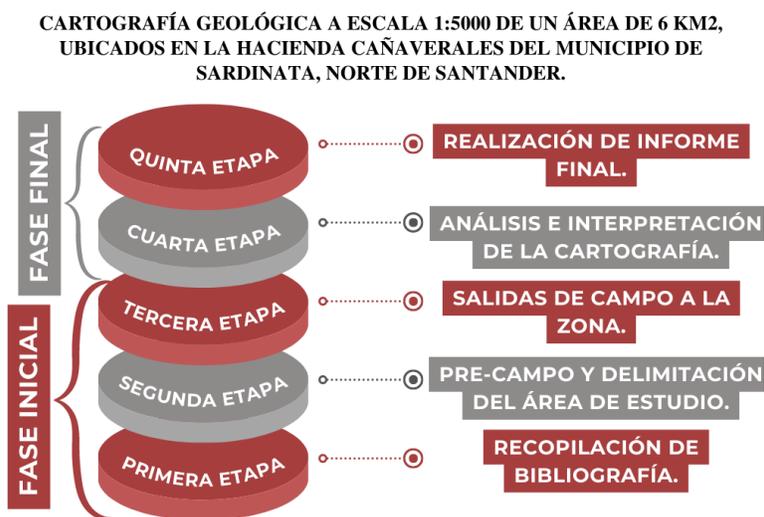
3.4. Vegetación

En la zona de estudio predomina la vida de Bosque Seco Tropical, siendo esta una vegetación de tipo bosque seco secundario Arbustivo bajo semidenso, con pequeñas áreas de bosques arbóreas de hasta 20 m de altura, con un 80% de intervención sobre el bosque natural y rastrojo asociado a pastos. En el área se observa dos tipos de cobertura influenciada por intervención antrópica, esto debido al uso de los suelos para ganadería (Corponor, 2003).

4. Metodología

Para llevar a cabo el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos para esta práctica, se establecieron cinco etapas, en donde se realizaron diferentes actividades, tanto de campo como de oficina, para así poder dar un cumplimiento satisfactorio, con lo esperado de este trabajo, a continuación, se describen las etapas a realizar.

Figura 2: Metodología a seguir para la realización de la cartografía geológica.



Fuente: El autor

4.1. Fase inicial

En esta fase, se llevó a cabo la recopilación bibliográfica de los estudios e investigaciones enfocados a la geología y yacimientos de roca fosfórica del área, a su vez se realizó un reconocimiento de la zona para delimitar el área a cartografiar. A continuación, se describe cada una de las etapas de esta fase:

4.1.1 Etapa I. Recopilación de bibliografía.

En esta etapa se realizó la búsqueda, revisión y recopilación de información bibliográfica sobre la zona de estudio, incluyendo informes, artículos, tesis, publicaciones y mapas enfocados a



la geología y a las investigaciones de la roca fosfórica realizadas en el municipio de Sardinata, como en los diferentes municipios del país donde se ha desarrollado la explotación de esta.

Se tomaron como fuentes principales para realización de estas consultas, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), La Agencia Nacional de Minería (ANM), los artículos y documentos publicados, como ponencias en congresos geológicos y semanas técnicas de geología, junto con consultas web relacionadas con los temas de interés. Todo esto se realizó con el fin de tener un conocimiento previo de la zona de estudio y las características que tiene, plasmando esta información en el marco teórico del presente trabajo, delimitando en este la geología regional y geología local del área de interés.

4.1.2 Etapa II. Pre-Campo y delimitación del área de estudio.

En la etapa de Pre-Campo y delimitación del área de estudio, se llevó a cabo la realización de una base cartográfica a una escala 1:5000 de la zona, con base a información tomada del IGAC e imágenes satelitales, las cuales permitieran generar curvas de nivel en el programa ArcGIS 10.5. De igual manera se realizó, la revisión de los planos en AutoCAD con los que cuenta el título minero, identificando así las zonas de explotación actuales y las anteriores, obteniendo con esto un enfoque geológico y minero del área.

Debido a las condiciones de orden público y a los designios de la empresa, la zona de estudio se estableció cerca de una zona de explotación, evitando los lugares boscosos y las zonas poco pobladas. Por esta razón, se realizó en esta etapa salidas al área para conocer las zonas de explotación y determinando qué tan viable era realizar en estos sectores el estudio, de igual manera se utilizó el programa Google Earth, en el cual se llevó a cabo, observaciones satelitales del área de interés, para así evitar las zonas boscosas.

Dentro de esta etapa, también se evaluó la posibilidad de utilizar herramientas digitales gratuitas para apoyo en la cartografía, como Avenza Maps, Clino y Timestamp Camera, con el objetivo de simplificar el proceso de digitalización de los datos recopilados en campo.

Figura 3: Aplicaciones a utilizar durante los trabajos de campo.



Fuente: El autor

4.1.3 Etapa III. Salidas de Campo a la Zona.

La etapa inicial de este proyecto, culminó con la realización de las salidas a campo previstas, las cuales se llevaron a cabo con el objetivo de establecer las estaciones de control necesarias que cubrieran el área de estudio, determinando así las características estratigráficas de las unidades geológicas presentes en la zona de interés. Los datos de localización y los datos estructurales, se recopilaban con la ayuda del GPS Garmin y la Brújula Brunton, estos se plasmaron junto con la información de la descripción de cada estación en la libreta de campo. Asimismo, se utilizó la aplicación Avenza Maps, en la que se registró toda la información recopilada, con sus respectivos códigos, descripciones y fotografías tomadas.

A su vez, durante esta etapa se tomaron diversas muestras, las cuales fueron recolectadas mediante martillo geológico, cincel y maceta, dependiendo de la dureza de las litologías y fueron analizadas con lupa de 10x. Tanto las muestras como las estaciones llevaban una codificación de la siguiente manera: E-PE-MCM para las estaciones y E-PE-M-MCM para las muestras, donde (E) represento el número de la estación, (PE) práctica empresarial, (M) número de muestra, (MCM) iniciales de nombre y apellidos del estudiante, todo esto se realizó con el fin de generar un orden en toda la información recolectada.



4.2. Fase final

Durante la fase final del proyecto se realizó la interpretación y correlación de la información recopilada en campo, con la información revisada en la bibliografía. En esta etapa se generaron productos como un mapa geológico, un corte geológico, una columna estratigráfica y un informe final, en el cual se presentan los resultados de la cartografía.

4.2.1 Etapa IV. Análisis e interpretación de la cartografía.

La fase final se dividió en dos etapas; en la etapa IV se llevó a cabo todo el análisis de la información recolectada en campo; aquí se realizó la descripción macro de las muestras recolectadas, correlacionando la información obtenida con la información bibliográfica, con el fin de tener una buena descripción para la elaboración de una columna estratigráfica. Asimismo, se elaboró y se rectificó el mapa geológico que se había estado elaborando en las etapas de salidas de campo, lo que permitió identificar la zona más adecuada para el trazado de una línea de corte.

En esta etapa, toda la información recopilada en el programa Avenza se exportó como un archivo KML para tener una versión digital, con esta información y el mapa geológico físico, se procedió a digitalizar la información del corte geológico y el mapa, realizando esto en el programa ArcGIS y Global Mapper.

4.2.2 Etapa V. Realización de informe final.

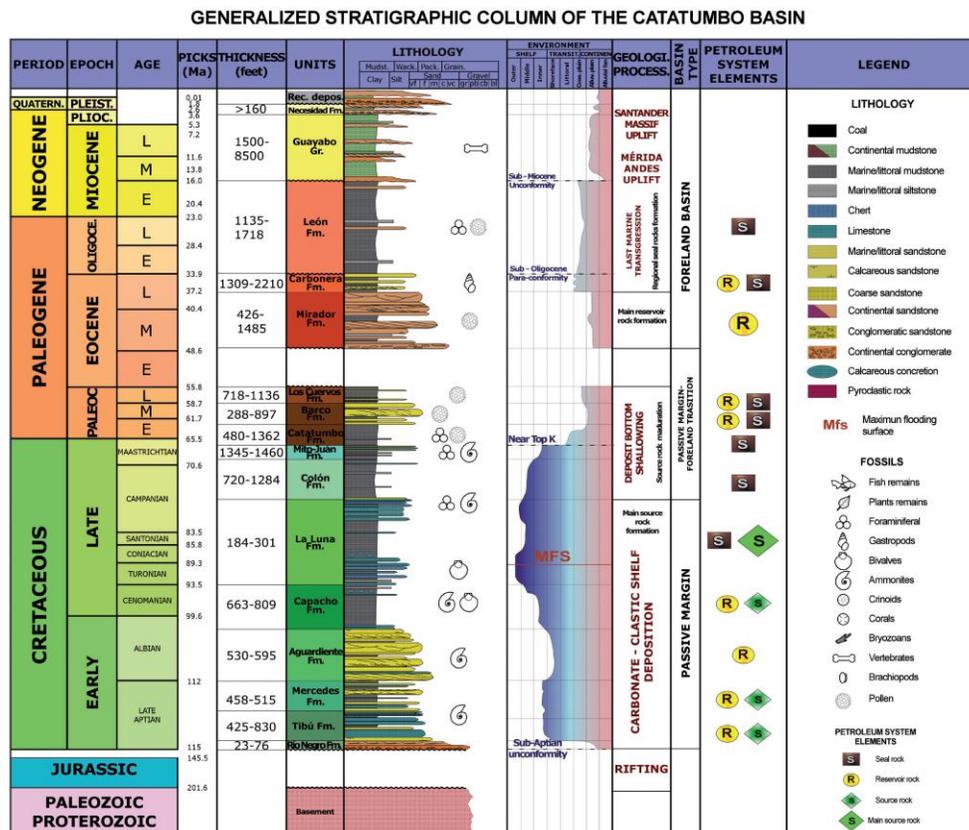
En esta etapa se llevó a cabo el análisis, interpretación y correlación de la información recopilada en campo, de los productos obtenidos en las etapas anteriores con la información bibliográfica revisada. Aquí se elaboró un informe en normas APA 7^a edición, en el que se plasmaron los resultados, conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en relación con la geología y explotación de la roca fosfórica que ejecuta la empresa FOSFONORTE S.A.

5. Marco teórico

El municipio de Sardinata, Norte de Santander, se encuentra ubicado al margen este de la cordillera oriental, formando parte del sector oeste de la cuenca sedimentaria del Catatumbo, la cual está delimitada por la Serranía de Perijá al norte, el Macizo de Santander al oeste, los Andes de Mérida al sureste y la convergencia de estos últimos elementos estructurales al sur (ANH, 2011).

Estratigráficamente, está constituida por un basamento cristalino datado del precámbrico-paleozoico, rocas sedimentarias del cretácico al pleistoceno y depósitos cuaternarios (**Figura 4**). Las litologías presentes tienen gran interés económico, ya que en la zona se da la extracción de carbón, caliza y en lo que concierne al área de estudio, la explotación de roca fosfórica a cielo abierto, de la Formación La Luna (Ochoa Y, García P, & Martínez P et al, 2016).

Figura 4: Columna Estratigráfica Generalizada de la Cuenca del Catatumbo.



Fuente: (ANH, 2011)



5.1. Geología local

A continuación, se presentan las unidades definidas para el área de estudio, describiéndose de las más antigua a la más joven como:

Formación Cogollo: unidad del Cretácico superior de edad según (Renz, 1959) del Cenomaniano al Turoniano. Litológicamente, la Formación Cogollo está conformada por capas de rocas de shales bituminosos calcáreos, calizas fosilíferas, limolitas y lutitas interestratificadas (NOTESTEIN F et al, 1944). Esta litología se encuentra suprayaciendo a la Formación Aguardiente concordantemente (Ochoa Y, García P, & Martínez P et al, 2016).

Formación La Luna: en Colombia este término fue introducido para la Concesión Barco por (NOTESTEIN F et al, 1944), sugiriendo una edad entre el Turoniano y el Coniaciano con base a los estudios de fósiles. En Norte de Santander, según (INGEOMINAS, 2001), esta unidad está compuesta por calizas y lodolitas calcáreas con grandes concreciones, capas delgadas de chert y capas de roca fosfórica en el techo de la unidad. Esta litología se encuentra suprayaciendo a la Formación Cogollo concordantemente (Ochoa Y, García P, & Martínez P et al, 2016).

Formación Colón-Mito Juan: estas unidades están definidas por separado, pero debido a que sus límites son difíciles de establecer diversos autores, como (Rod & Maync, 1954), los engloban en una sola unidad, asignándosele una edad del Campaniano al Maastrichtiano. Litológicamente, la unidad está compuesta por areniscas glauconíticas, arcillas pizarrosas muy piríticas, arcillas pizarrosas gris verdosa, arcillas limolíticas y arcillas arenosas. Esta litología suprayace a la Formación La Luna concordantemente (Ochoa Y, García P, & Martínez P et al, 2016).

Depósitos Coluvión (Q2c): se define como la acumulación de material, el cual proviene de zonas adyacentes a laderas con alta pendientes y asociados a zonas de falla donde exhiben



morfología ondulada, la composición de estos va a depender del área de ocurrencia y de las rocas fuentes, texturalmente se componen de sedimentos tamaño arcilla y bloques (Ochoa Y, García P, & Martínez P et al, 2016).

Depósitos Aluviales (Qal): son depósitos conformados por la acumulación de rocas y sedimentos transportados por ríos, arroyos y quebradas, suelen presentar tamaños de grano que va desde los lodos a gravas, con clastos redondeados de baja esfericidad y matriz arenosa de granos medios a gruesos (Ochoa Y, García P, & Martínez P et al, 2016). En la zona de estudio estos depósitos están generados por los causes del río San Miguel y la quebrada La Arenosa.

5.2. Geología estructural

Geológicamente, la zona de estudio se encuentra ubicada en el flanco septentrional del Domo de Santiago, el cual da lugar a un amplio monoclin, conformado por rocas sedimentarias de edades cretácicas, que presentan una dirección general Este-Oeste con un buzamiento suave hacia el Norte. Aparte de esto, el área de interés no presenta ninguna afectación estructural (fallamientos o plegamientos), que afecten la continuidad de los estratos (Abozaglo, 1973).

5.3. Características de la roca fosfórica

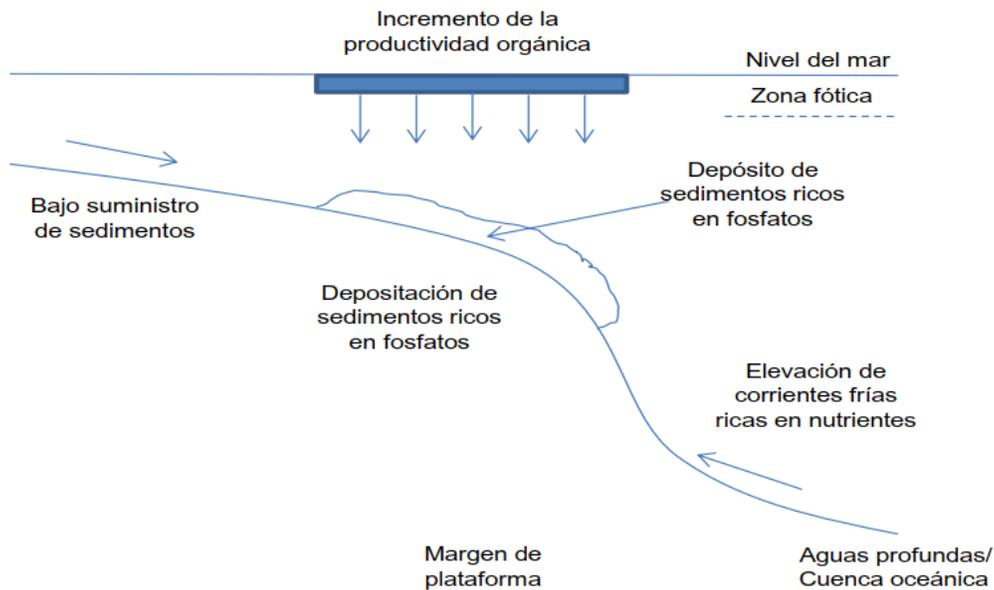
Las rocas fosfatadas están conformadas por fluorofosfato de calcio, donde el mineral más importante es el apatito, estas suelen dividirse en dos grupos importantes, las que albergan menas con apatito (rocas ígneas y metamórficas) y las fosforitas que son las que acumulan las menas sedimentarias y son las rocas de interés en esta investigación (UPME, 2005).

En sí las fosforitas son definidas como una formación sedimentaria compuesta por diferentes minerales y fosfatos, suelen presentar texturas variables, como concrecionaría, masiva, granular y bioclástica, estas dos últimas son las observadas en el área de estudio, las cuales se

presentan con oolitos, conchas y braquiópodos, unidos por cemento ferro-arcilloso o calcáreo (UPME, 2005).

La formación de las fosforitas se debe a origen químico, los grandes depósitos de estas se produjeron en zonas marinas con ambiente tranquilo y poco aporte de sedimentos terrígenos. Las aguas frías de los fondos marinos son más ricas en fósforo que las calientes, cuando las primeras ascienden arrastran cierta cantidad de nutrientes que atraen numerosos organismos que aportan más fósforo (Dirección General de Desarrollo Minero, 2018).

Figura 5: Esquema de la formación de las rocas fosfóricas sedimentarias.

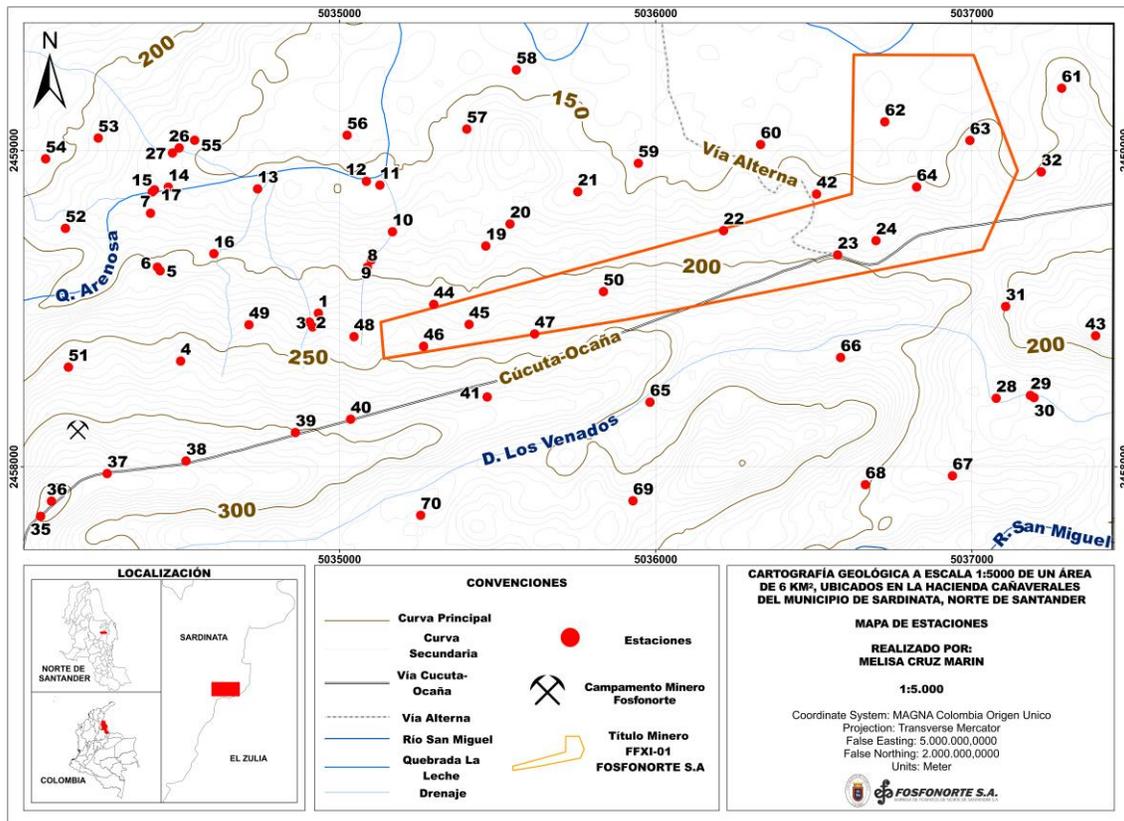


Nota: Tomado (Dirección General de Desarrollo Minero, 2018).

6. Resultados

En la siguiente sección se presentan los resultados de la cartografía geológica a escala 1:5.000, de un área de 6Km² en la hacienda Cañaverales, del municipio de Sardinata, Norte de Santander. En esta zona se realizaron setenta estaciones (Figura 6), que permitieron determinar la presencia de tres unidades geológicas del cretácico superior y dos del cuaternario, ubicadas geocronológicamente de la más antigua a la más joven, como la Formación Cogollo, Formación La Luna, Formación Colón-Mito Juan, Depósitos Coluviales y Depósitos aluviales descritos a continuación.

Figura 6: Mapa de Estaciones.



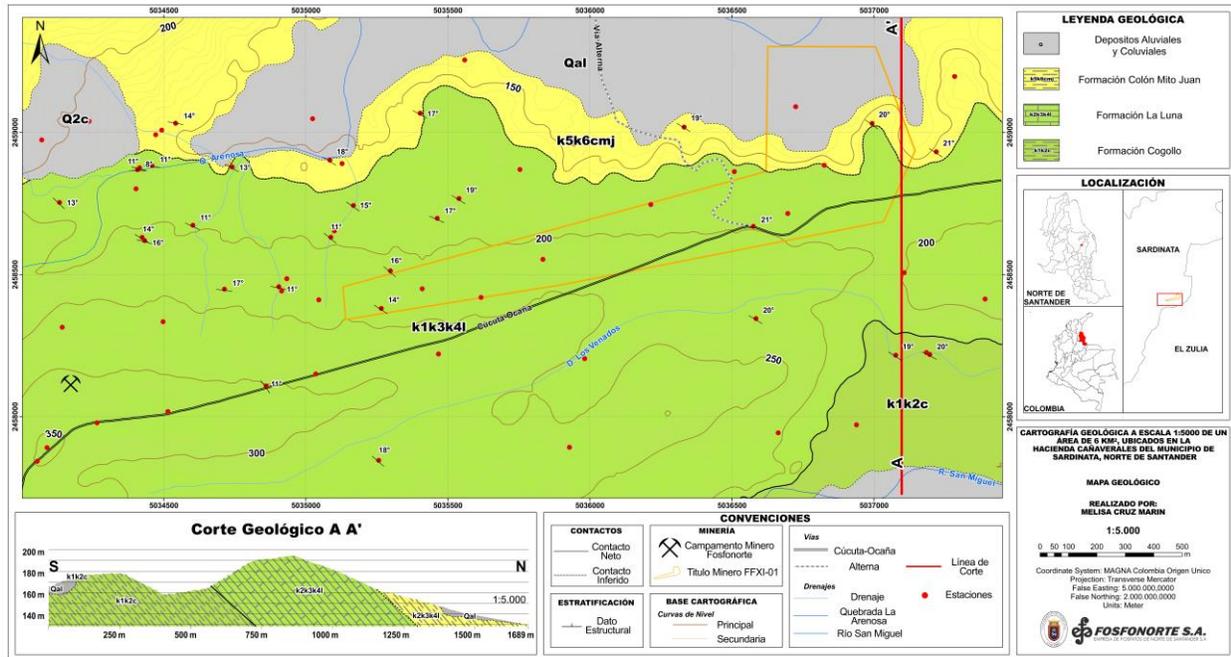
Fuente: El autor

6.1. Formación Cogollo

Unidad cartografiada más antigua, en el área de estudio esta formación se presenta hacia el sureste, sobre las vertientes del río Miguel y el drenaje los Venados (Figura 7), se encuentra

superpuesta por la Formación La Luna, observándose un contacto neto entre ellas, evidenciado por el cambio abrupto de las litologías.

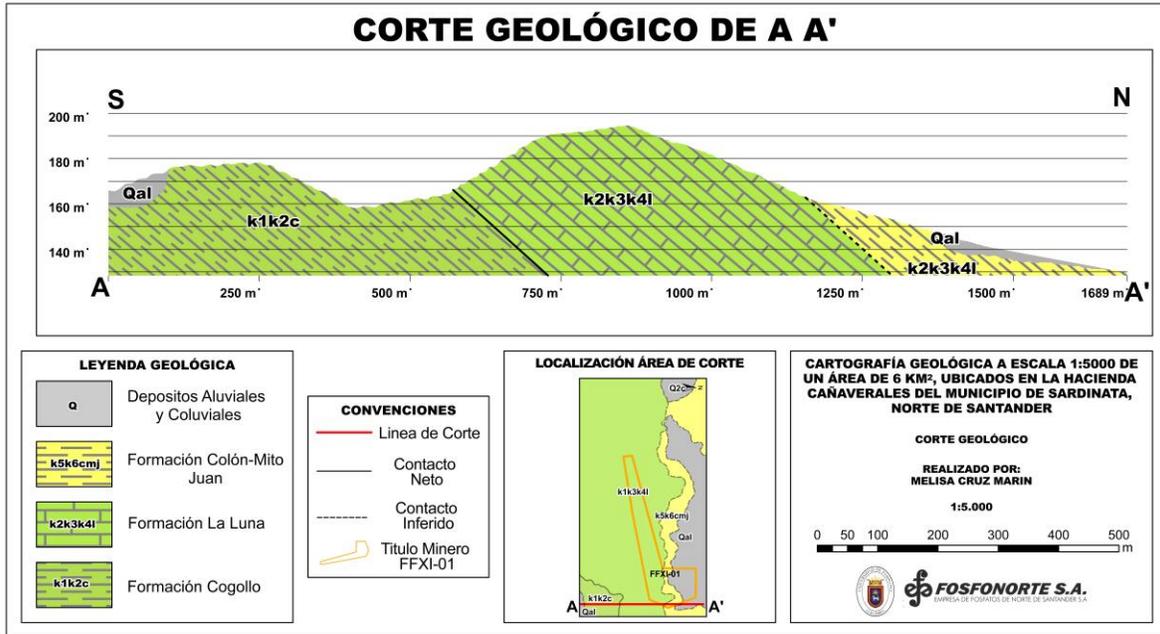
Figura 7: Mapa geológico del área de estudio.



Fuente: El autor.

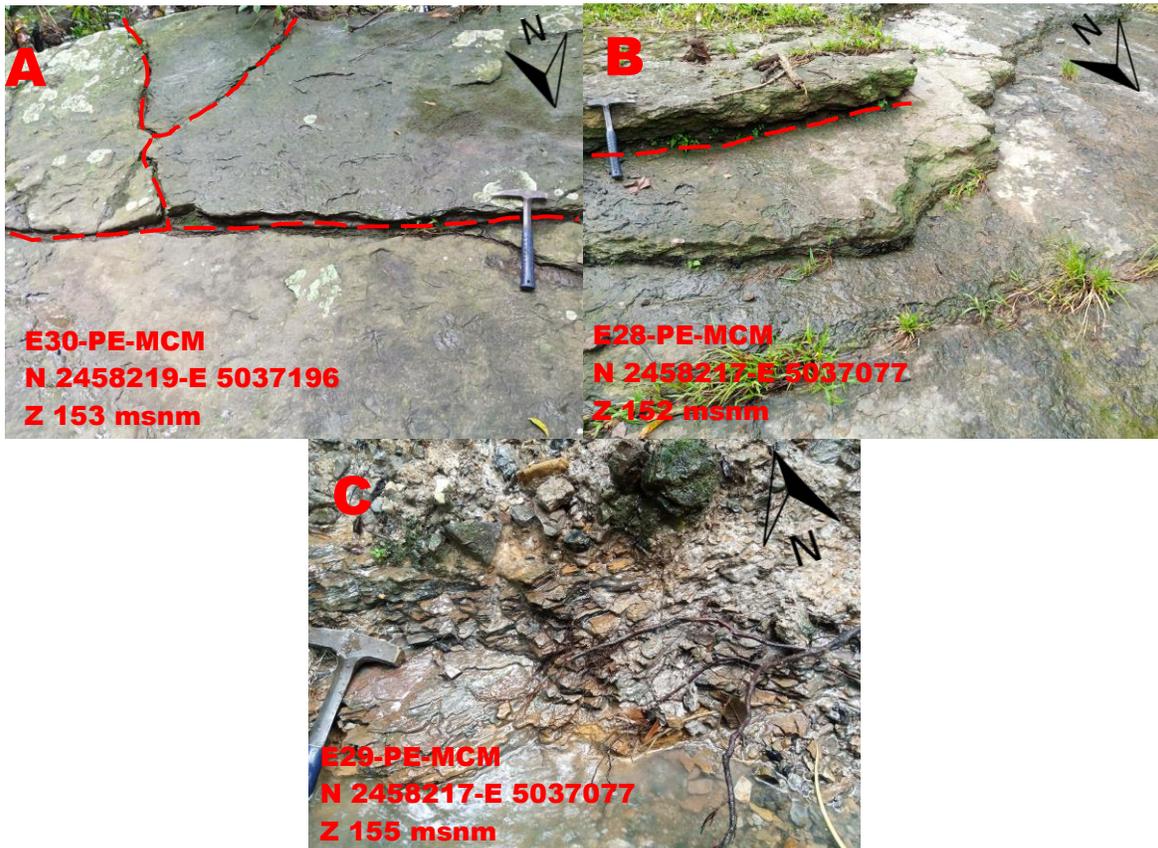
En el área de estudio, en las estaciones E28-PE-MCM ubicado en las coordenadas N2458217-E5037077 y E30-PE-MCM ubicado en las coordenadas N2458219-E5037196, se determinaron capas de lutitas de la Formación Cogollo, estas capas se disponen en pendientes de moderadas a suaves, con un rumbo este-oeste en ángulos de buzamiento de 19° hacia el Noreste (Figura 8), de espesor grueso y geometría tabular, estas capas se encuentran en contacto concordante neto, con capas de lodolitas observadas en la estación E29-PE-MCM en las coordenadas N2458226- E5037185, la forma del contacto entre estas litologías es plano-paralelo, teniendo las capas de lodolitas espesores gruesos a muy gruesos y una geometría tabular, la estratificación interna de las capas es masiva, observándose una alta meteorización causada por el agua y la vegetación en las capas de lodolitas (Figura 9).

Figura 8: Corte geológico del área de estudio.



Fuente: El autor

Figura 9: Afloramientos de la Formación Cogollo.

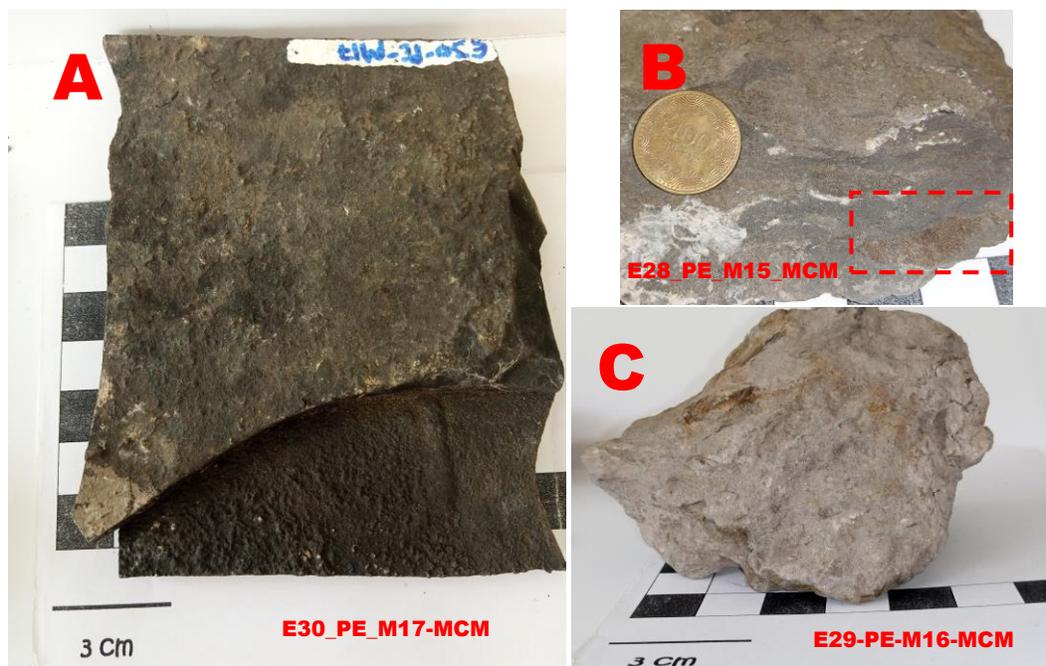


Nota: En las figuras A y B se observan capas de lutitas; figura C afloramiento de lodolita muy meteorizado.

Fuente: El autor.

En las muestras tomadas en campo de la Formación Cogollo, se pudo determinar una lutita de color negro, en donde hay un predominio de los tamaños de grano limo (90%) y en menor porcentaje tamaño arcillas (10%), siendo estos muy bien seleccionados y con un grado de consolidación muy bueno; morfológicamente los granos se encuentran muy redondeados y con una alta esfericidad, presentando un empaquetamiento clastosoportados, con una matriz inferior al 15%, cemento silíceo; composicionalmente los granos de limo y arcilla de la roca son de cuarzo predominantemente, presentando minerales accesorios como micas (5%) y óxidos de hierro los cuales generan pátinas de oxidación en la muestra, en la muestra se puede observar el fracturamiento en lajas típico de las lutitas (**Figura 10**)

Figura 10: Lutitas y Lodolitas de la Formación Cogollo.

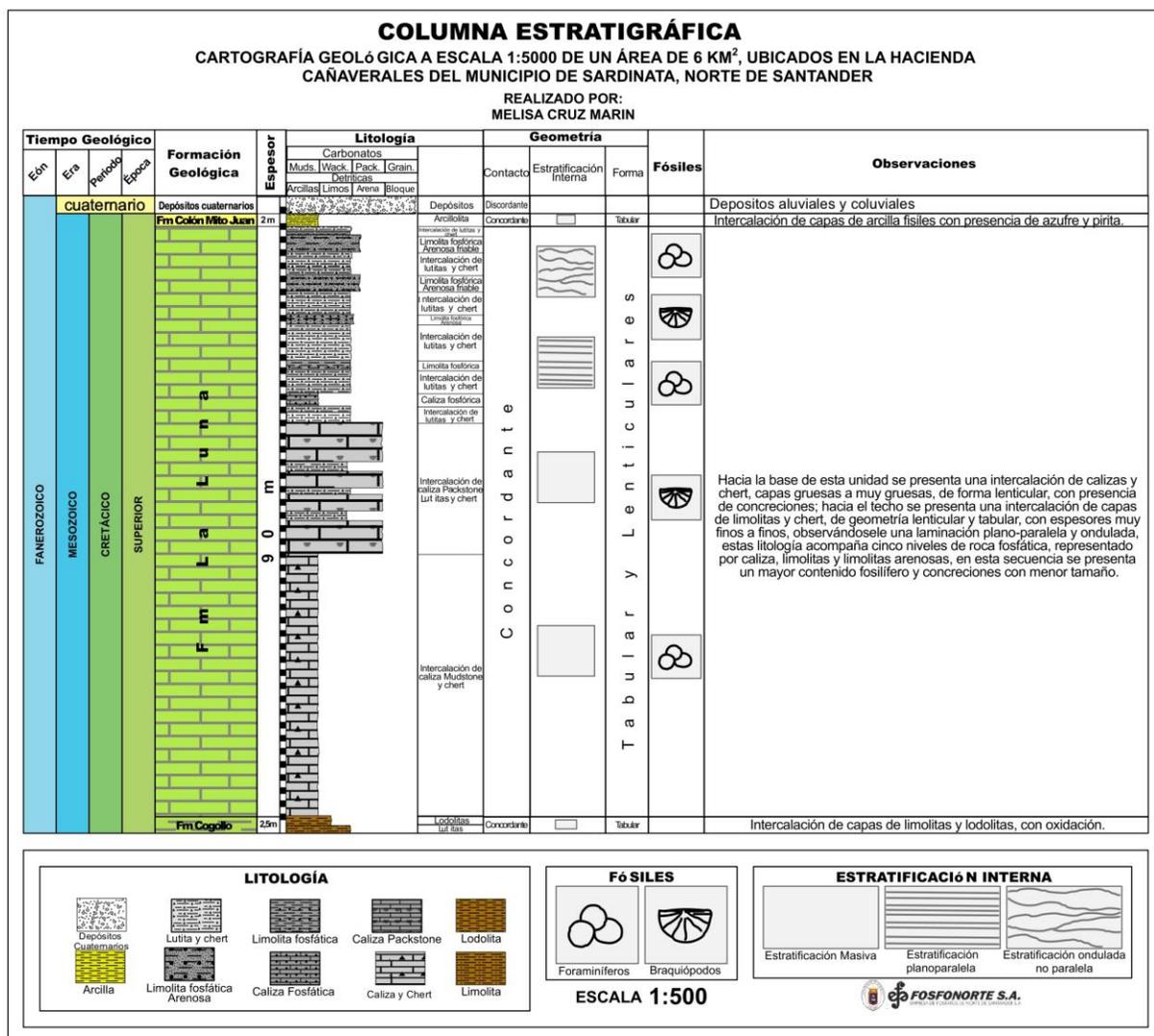


Nota: En la figura A y B se presentan las muestras de roca de lutitas, donde se puede observar el fracturamiento en laja y las pátinas de oxidación; la figura C se presenta una muestra de lodolita de color gris claro, con pátinas de oxidación naranja. Fuente: El autor.

Las muestras de lodolita, tomada en la estación E29, presenta un color gris claro, con un tamaño de grano de arcilla (65%) y limo (25%), estando estos muy bien seleccionados con un

grado de consolidación bueno y una porosidad alta; morfológicamente los granos se encuentran muy redondeados y con una alta esfericidad, presentando un empaquetamiento clastosoportados, con una matriz inferior al 15%, cementando por sílice; composicionalmente los granos de limo y arcilla de la roca son de cuarzo, presentando minerales accesorios como micas (7%) y óxidos de hierro los cuales generan pátinas de oxidación en la muestra (**Figura 10**). Estas litologías fueron representadas en la columna estratigráfica con un total de 2.5 metros (**Figura 11**).

Figura 11: Columna estratigráfica



Fuente: El autor

6.2. Formación La Luna

La siguiente unidad cartografiada presenta una edad del Turoniano al Coniaciano, se encuentra suprayaciendo a la Formación Cogollo, en un contacto neto definido por el cambio abrupto de lutitas y lodolitas a calizas y chert de la Formación La Luna hacia el sureste (**Figura 12**) y superpuesta por la Formación Colón Mito Juan, donde el contacto entre estas dos unidades es inferido por el cambio de las litologías; en la zona de interés, esta formación se presenta de este a oeste, abarcando la mayor parte del polígono (**Figura 7**).

Figura 12: Contacto entre la Formación Cogollo y Formación La Luna.

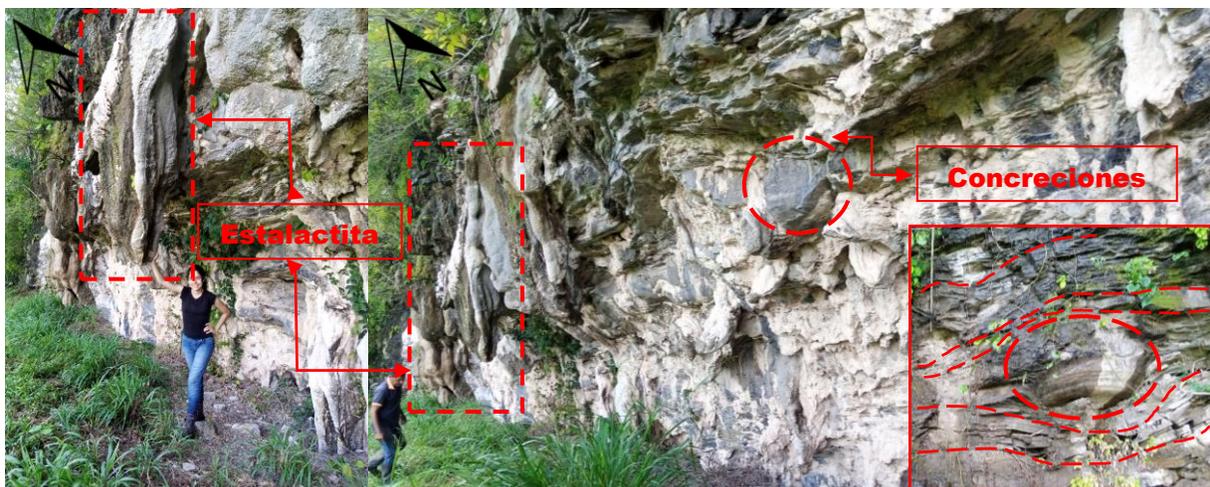


Nota: En la imagen se observa el escarpe de calizas y chert de la Formación La Luna, en contacto con la Formación Cogollo. Fuente: El autor.

En el área de estudio, esta unidad se dividió en base, parte media y techo, hacia la base en la estación E31-PE-MCM ubicada en las coordenadas N2458507-E5037107, se apreció una intercalación de capas de calizas y cherts, las cuales forman un escarpe de aproximadamente 60 metros de alto, estas presentan un rumbo este-oeste, con un ángulo de buzamiento de 18° hacia el

Noreste (**Figura 8**), estas capas tienen espesores variables, observándose capas finas a muy gruesas, la geometría es acuñada y lenticular, teniéndose presencia de concreciones con unos tamaños que varían entre los 33 cm y 10 cm. El contacto entre estas litologías es concordante difuso, observándose de forma ondulada a semi-ondulados, presenta una estratificación interna masiva y presencia de foraminíferos y bioclastos, además de esto fue posible determinar estalactitas, causados por procesos de meteorización y lavado de las rocas (**Figura 13**).

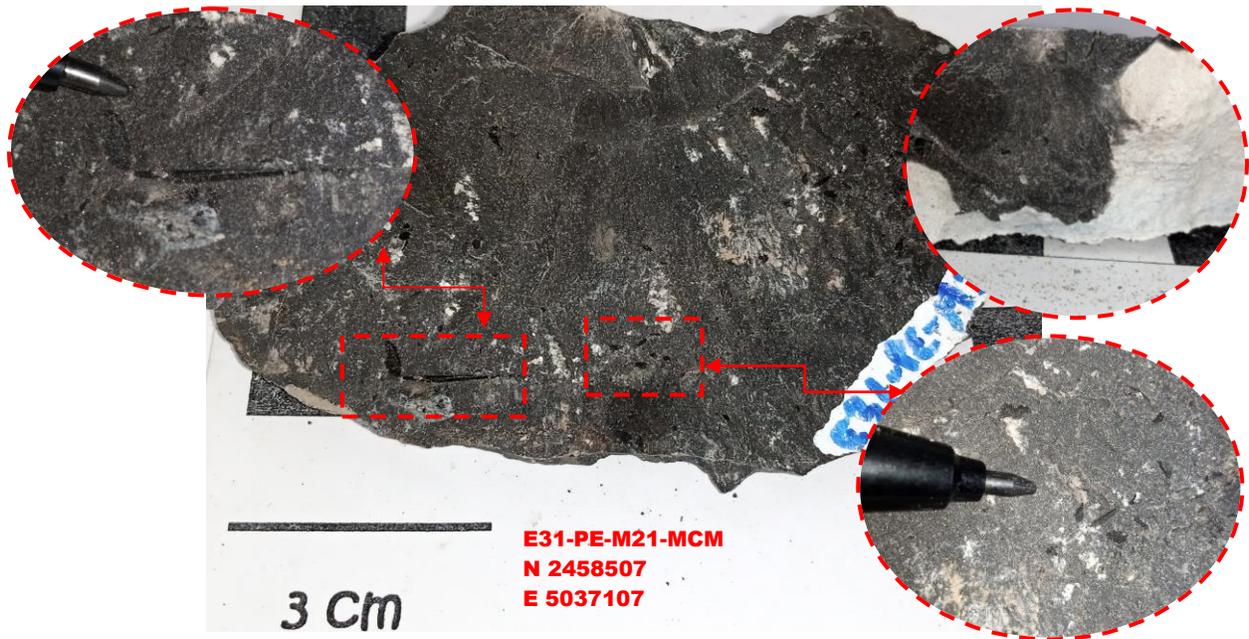
Figura 13: Afloramiento de la base de la Formación La Luna.



Nota: base de la unidad, donde se puede observar la intercalación de capas de caliza y chert con una geometría acuñada y lenticular; a su vez se observan concreciones y las estalactitas. **Fuente:** El autor.

En las muestras tomadas en campo de esta estación se pudo determinar la presencia de calizas tipo Mudstone de color negro, con tamaños de grano que varían entre limo y arcilla, presenta una estructura masiva, muy compactada lo que genera una baja porosidad, además de esto en la muestra se pudo observar una fractura concoide; la roca se encuentra compuesta por micrita >90%, con presencia de bioclastos (5%) con unas dimensiones entre los 0,2 mm y 2 cm y minerales accesorios; adicional a esto se pudo determinar pátinas de color blanco de carbonatos de calcio, los cuales son producto de los procesos de meteorización y lavado en la roca.

Figura 14: Caliza tipo Mudstone observada en la base de la Formación La Luna.



. Fuente: El autor.

Intercalado con estas calizas, como ya se mencionó, se presentan capas de chert de color negro, este presenta una estructura interna masiva y su típico fracturamiento concoide, en las muestras fue posible observar la presencia de foraminíferos y patinas de carbonato de calcio, lo cual genera una coloración azulada, blanca y transparente en las muestras.

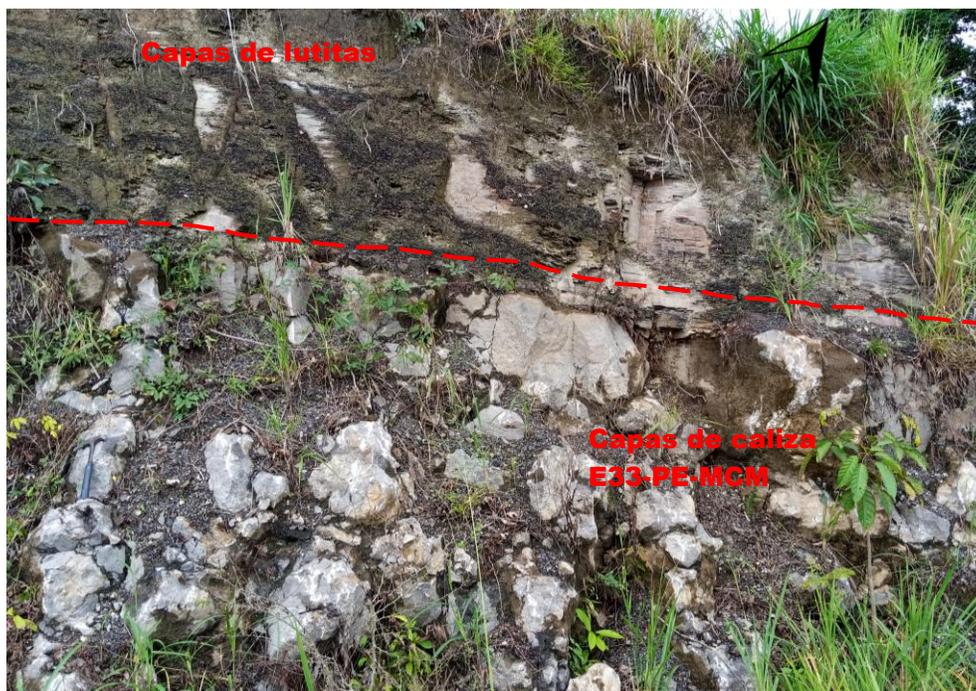
Figura 15: Chert de la base de la Formación La Luna.



Fuente: El autor

Hacia la parte media de la unidad, en la estación E33-PE-MCM ubicada en las coordenadas N2457417-E5033037, se apreció una intercalación de capas de calizas, lutitas y chert muy meteorizadas, estas capas se disponen en pendientes escarpadas, presentando un rumbo este-oeste, con un ángulo de buzamiento de 15° hacia el Noreste (**Figura 8**), presentan espesores gruesos a muy gruesos, con geometría tabular, el contacto entre las litologías es concordante neto, con una forma semi-ondulados. La estratificación interna es masiva, con presencia de fósiles y cristalización de calcita (**Figura 16**).

Figura 16: Afloramiento de la parte media de la Formación La Luna.



Nota: en el afloramiento se observa capa de caliza hacia la base, en contacto concordante neto con lutitas. Fuente: El autor

En las muestras tomadas en campo de esta estación se pudo determinar la presencia de calizas tipo Packstone color gris, con presencia de bioclastos (65%) con tamaños entre los 0,5-2 mm, estos se encuentran dentro de una matriz limo-arcillosa, lo cual genera en la muestra una textura grano soportada; la roca presenta una baja porosidad y estructura interna masiva (**Figura 17**).

Figura 17: Muestra de caliza tipo Packstone y calcita de la Formación La Luna.

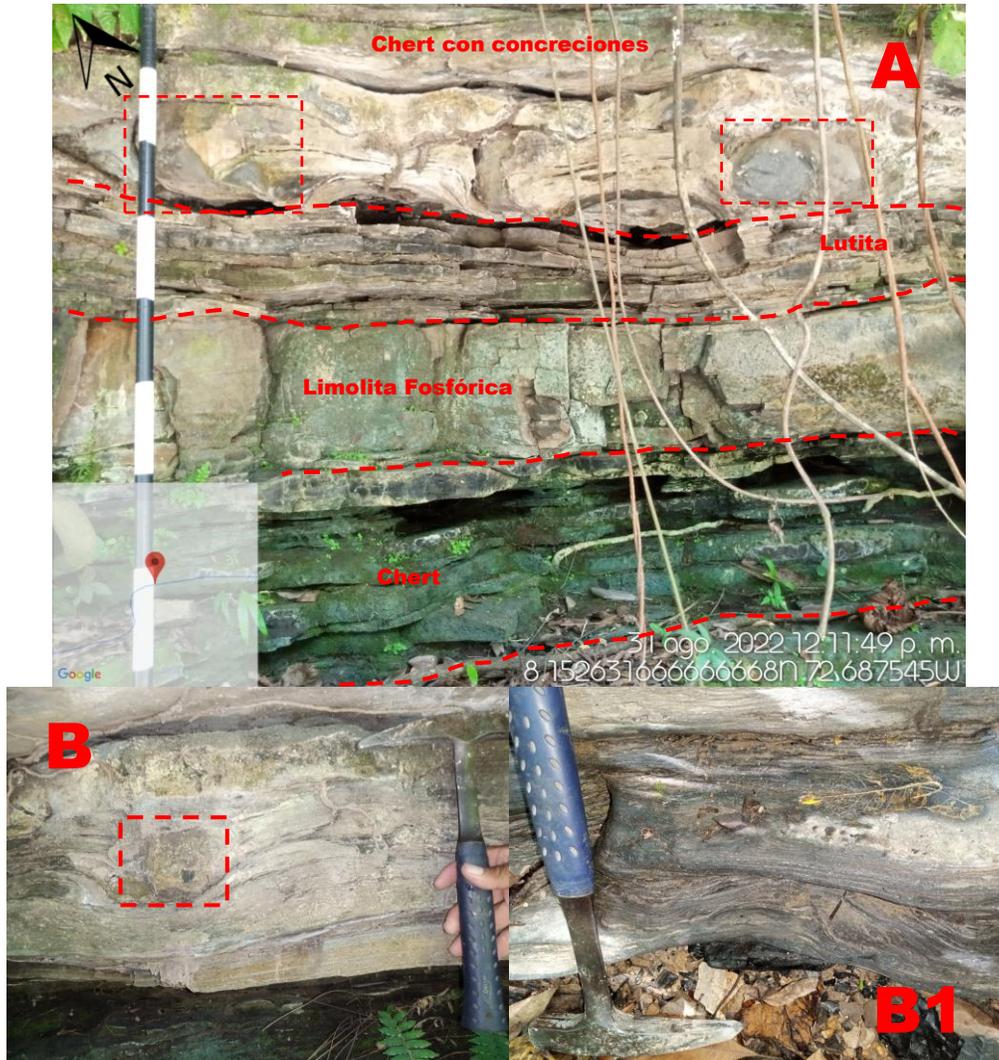


Nota: **Figura A**, caliza tipo Packstone, donde es posible observar la presencia de bioclastos; en la **Figura B y B1** se muestra la calcita de color blanco amarillento. **Fuente:** El autor.

Hacia el techo de la unidad, se presenta cinco niveles fosfáticos, acompañados por una intercalación de lutitas y chert, estas capas se disponen en pendientes altas a moderadas, con un rumbo este-oeste y una dirección de buzamiento de 11° Noreste (**Figura 8**). Uno de los afloramientos más representativos, fue observado en la estación E17-PE-MCM ubicada en las coordenadas N2458876- E5034415 sobre la quebrada la arenosa, con unas dimensiones de aproximadamente 15 metros de ancho con unos 3 metros de alto, presenta una intercalación de capas con espesores variables de medio a muy grueso, la geometría es tabular y acuñada, teniendo presencia de concreciones de aproximadamente 10 cm, determinándose una disminución en el tamaño de estas a las de la base de la unidad. El contacto entre las litologías es concordante neto, observándose de forma ondulada a semi-ondulados, presenta una estratificación interna paralela y cruzada, evidenciándose esta más que todo en las capas de chert, además de esto

también se pudo determinar la presencia de bioclastos y un aumento en el contenido de foraminíferos.

Figura 18: Afloramiento del techo de la Formación La Luna.



Nota: intercalación de capas de chert, limolita fosfórica y lutita, las capas presentan unos espesores de medios a gruesos, geometría tabular y acuñada, en contacto concordante neto entre sus litologías; estas capas presentan una estructura interna paralela y cruzada, junto con concreciones de menor tamaño que las de la base de la unidad.

Fuente: El autor.

En otro de los afloramientos observado en la estación E15-PE-MCM, ubicado en las coordenadas N2458869-E5034407 sobre la quebrada la arenosa, se pudo apreciar una intercalación de capas de caliza fosfórica, lutitas y chert, con meteorización media causada por la vegetación y

el agua, estas litologías se disponen con un rumbo este-oeste con un ángulo de buzamiento de 8° Noreste, presentan un espesor que varían entre finos a gruesos, la geometría de las capas es tabular y acuñada, presentando unos contactos concordantes difusos, en forma ondulada a semi-ondulados, la estratificación interna es plano-paralela y cruzada, además de esto se pudo determinar la presencia de foraminíferos y un fuerte olor a fósforo en las capas de lutitas y chert (Figura 19).

Figura 19: Afloramiento de la Formación La Luna, ubicado sobre la Quebrada La Arenosa.



Nota: en la fotografía se observa la intercalación de capas de caliza fosfórica, chert y lutitas, donde se aprecia los contactos difusos, semi-ondulados de las litologías y el fracturamiento en laja de las lutitas. Fuente: El autor.

Asimismo en una trinchera, realizada por la extracción de la roca fosfórica, en la estación E45-PE-MCM, ubicado en las coordenadas N2458450-E5035409, se pudo apreciar la intercalación de capas de limolita fosfórica, lutitas y chert, este afloramiento presenta un grado de meteorización alto, sus capas se disponen con un rumbo este-oeste con un ángulo de buzamiento de 13° noreste, presenta unos espesores que varían de finos a medios, la geometría de sus campas es tabular, presentándose algunos acuñamientos en las capas de chert y limolitas, los contactos son

concordantes difusos, debido al alto grado de meteorización, estos tienen una forma plano-paralela a semi-ondulada, se observó una estratificación interna paralela y contenido de bioclastos y foraminíferos en las litologías (Figura 20).

Figura 20: Trinchera realizada para la extracción de la roca fosfórica, Formación La Luna.



Nota: en la fotografía se observa capa de espesor medio de limolita fosfórica hacia la base, seguida por una intercalación de chert y lutitas con espesores finos. **Fuente:** El autor.

En las muestras tomadas en campo del techo de esta unidad, se pudieron determinar la presencia de caliza fosfórica tipo Mudstone de color negro, con tamaños de grano que varían entre limo y arcilla, su estructura interna suele ser variable, observándose en algunas muestras una estructura masiva y en otras paralela; estas rocas se encuentran muy compactadas generando esto una baja porosidad, su composición es mayoritariamente de micrita >90% con presencia de pellets que son reemplazados por minerales fosfáticos, lo que genera en la muestra un fuerte olor a fósforo (Figura 21).

Figura 21: Caliza fosfórica tipo Mudstone.



Fuente: El autor.

La litología de chert presentes en el techo de la Formación La Luna, presentan una coloración negra a gris, estas presentan una estructura interna paralela y cruzada, junto con un aumento en el contenido de foraminíferos, diferenciando esto de las capas de chert de la base de la unidad (Figura 22).

Figura 22: Muestras de chert del techo de la Formación La Luna.



Fuente: El autor.

Las muestras de limolitas tomadas en campo del techo de la unidad, presentan una variación textural y composicional, en ellas se pudo determinar una limolita fosfática de color gris, con un tamaño de grano limo (92%), arcilla (8%), estos se encuentran muy bien seleccionados,

con un grado de consolidación bueno, presentando baja porosidad; morfológicamente los granos se encuentran muy redondeados, con una alta esfericidad, presentando un empaquetamiento clastosoportados, cementado por carbonatos, con una matriz inferior al 15%: composicionalmente la muestra está conformada por cuarzo, minerales de carbonato de calcio y minerales fosfáticos, los cuales están reemplazando restos orgánicos. A medida que se va llegando al techo de la unidad se ve un cambio en el tamaño de grano de las limolitas y en el contenido de fósiles que estas presentan, observándose rocas de color gris a café, con unos tamaños de grano de limo (94%), arcilla (5%) y arenas muy finas (1%), morfológicamente los granos presentan una buena selección, muy redondeados y una alta esfericidad, estas muestras se encuentran cementadas por sílice, con una matriz inferior al 15%, la friabilidad y porosidad en la roca es media; el contenido de fósiles de estas muestras es alto, presentando estos unos tamaños aproximados entre los 0,5 mm y 5 mm; Composicionalmente se puede observar cuarzo, minerales carbonatados y el reemplazamiento de los fósiles por minerales fosfatados como el apatito (**Figura 23**).

Figura 23: Limolita fosfática.



Nota: Muestra de roca con restos de bioclastos que son reemplazados por minerales fosfáticos. Fuente: EL autor.

Hacia la zona más próxima de la superficie, se observaron limolitas fosfáticas de color gris a café claro, estas muestras presentan un tamaño de grano limo (90%), arena muy fina (6%) y arcilla (4%), morfológicamente los granos presentan una buena selección, muy redondeados y alta esfericidad, estas muestras se encuentran cementadas por sílice, con una matriz inferior al 15%, la friabilidad y porosidad en la roca es alta; el contenido de fósiles tales como restos de peces y pellets presentan unos tamaños de 0,1 mm a 1 mm. Composicionalmente, la muestra presenta cuarzo, minerales carbonatados y fosfatos, los cuales se encuentran reemplazando los organismos fosilizados (**Figura 24**).

Figura 24: Limolita arenosa fosfática.



Fuente: El autor.

Las litologías cartografiadas en la unidad La Luna, son representadas en la columna estratigráfica, con un espesor de 90 metros (**Figura 11**).

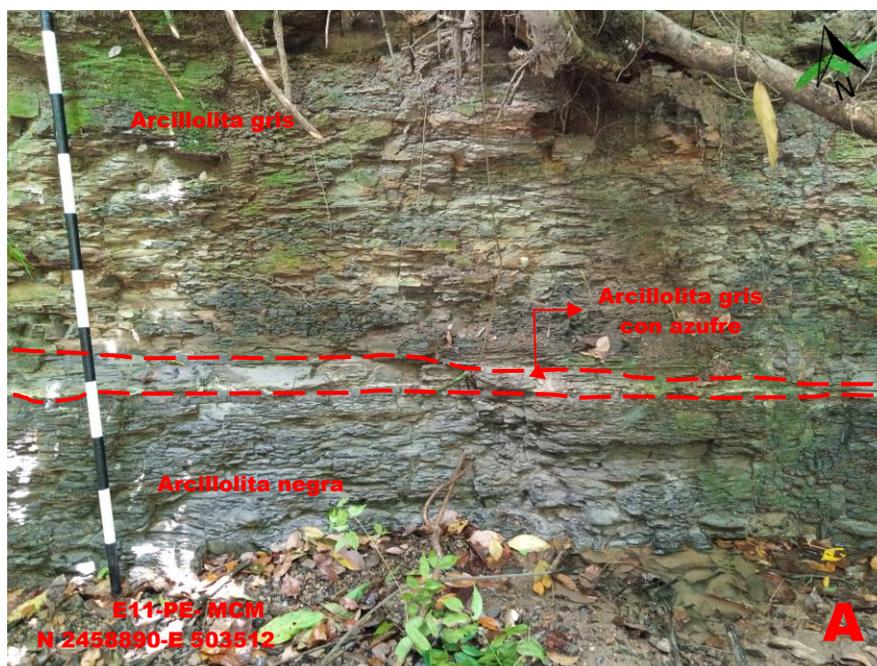
6.3. Formación Colón-Mito Juan

La siguiente unidad cartografiada presenta una edad del Campaniano al Maastrichtiano, esta se encuentra suprayaciendo a la Formación La Luna, en un contacto inferido, esto debido a que las litologías de areniscas glauconíticas las cuales menciona la literatura, no se observaron en

campo, es por esto que el contacto está marcado por el cambio de la litología de chert y lutitas de la Formación La Luna a arcillas pizarrosas piríticas y con azufre de la Formación Colón-Mito Juan, esta litología se encuentra hacia el norte del área, con un contacto que va de este a oeste con la Formación La Luna; a su vez en esta formación está en contacto discordante con depósitos de coluvión y depósitos aluviales, los cuales también cubren gran parte del área (**Figura 7**).

En el área de estudio, en la estación E11-PE-MCM ubicado en las coordenadas N2458890-E5035128, se determinaron capas de arcillolita pizarrosa de la Formación Colón-Mito Juan, estas capas se disponen en pendientes suaves, con un rumbo este-oeste en ángulos de buzamiento de 18° hacia el noreste (**Figura 8**), los espesores son variables presentándose de muy finos a gruesos, estos tienen una geometría tabular y acunada, observándose un contacto concordante neto entre las litologías, la forma del contacto es plano-paralelo a semi-ondulados; la estratificación interna de las capas es masiva, observándose una meteorización media, la cual ha generado pátinas de oxidación en la litología (**Figura 25**).

Figura 25: Capas de arcillolita pizarrosa de la Formación Colón-Mito Juan.





Nota: en la fotografía se muestran la disposición de las capas de arcillolita de la Formación Colón-Mito Juan, observándose en la figura B las capas más finas, las cuales contiene presencia de pirita y azufre. **Fuente:** El autor.

Asimismo, en la estación E27-PE-MCM ubicado en las coordenadas N2458991-E5034471 sobre un drenaje, se determinó una capa de arcillolita pizarrosa de color negro, esta capa presenta un espesor grueso, de geometría acuñada, en contacto discordante neto con depósitos cuaternarios, la forma del contacto es ondulado, presentándose una estratificación interna masiva; además de esto se observa depósitos aluviales y una alta meteorización causada por la vegetación (**Figura 26**).

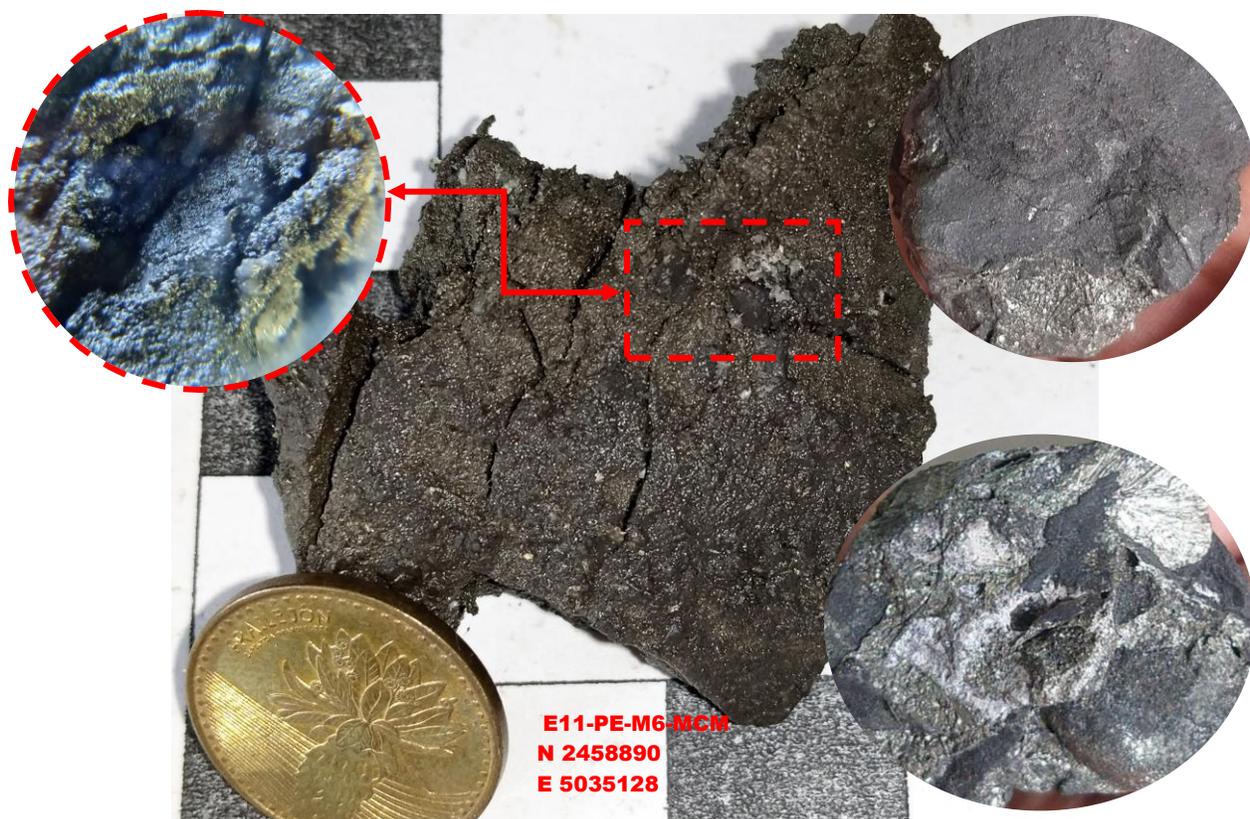
Figura 26: capa de arcillolita pizarrosa de color negro.



Nota: afloramiento ubicado sobre la quebrada la leche, donde se observa una capa de espesor medio en contacto con depósitos cuaternarios. **Fuente:** El autor

En las muestras tomadas en campo de la Formación Colón-Mito Juan, se pudo determinar una arcillolita de color negro, con tamaño de grano arcilla (94%) y limo (6%), la roca presenta una friabilidad y una porosidad alta, comportándose como plastilina al estar en contacto con agua, el peso específico de la muestra es alto, debido posiblemente al contenido de hierro; composicionalmente la muestra presenta cuarzo, minerales de arcilla y como minerales accesorios pirita cuál se presenta como patinas y con un mayor tamaño a los demás minerales (**Figura 27**).

Figura 27: Arcillolita con presencia de pirita.

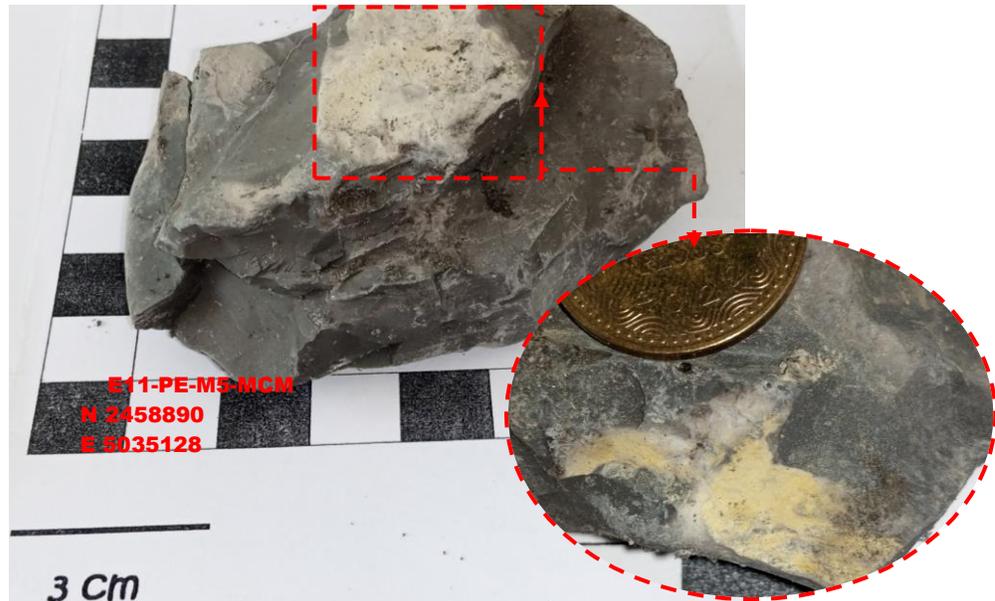


Fuente: El autor.

La otra muestra de arcillolita, tomada en la estación E11, presenta un color gris claro, con un tamaño de grano arcilla (100%), la roca presenta una friabilidad media y alta porosidad, comportándose como plastilina al estar en contacto con agua; composicionalmente esta muestra presenta minerales de arcilla y azufre, observándose patinas de color amarillo a blancuzco y

generando en la muestra un fuerte olor a este mineral (**Figura 28**). Estas litologías se encuentran representadas en la columna estratigráfica realizada del área de estudio (**Figura 11**).

Figura 28: Arcillolita de color gris claro con azufre.



Nota: muestra de arcillolita gris con patinas de azufre de color amarillo. Fuente: El autor.

6.4 Depósitos Coluvión

La siguiente unidad cartografiada, definidos como depósitos de coluvión del cuaternario, se presentan hacia el noroeste del área de estudio, estos depósitos se encuentran en unas pendientes moderadas, suprayaciendo discordantemente a la Formación La Luna y la Formación Colón-Mito Juan (**Figura 7**); el origen de esta acumulación se debió a los deslizamientos de rocas, de las laderas de alta pendiente conocida en la zona como el cerro la vieja, el cual está conformado por las unidades litológicas que según la columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria del Catatumbo suprayace las unidades de interés de este estudio.

Figura 29: Depósitos de coluvión.



Nota: Depósitos de coluvión sobre la formación Colón-Mito Juan. **Fuente:** El autor.

Estas rocas presentan unos tamaños que varían entre los 2 a 5 metros de alto con 2 a 3 metros de ancho, suelen presentarse bloques alargados y redondeados, con una estratificación interna plano paralelo inclinada, la meteorización suele ser alta, generada por la vegetación y el agua la cual deja grietas de desecación (**Figura 30**).

Figura 30: Bloques de los depósitos de coluvión.



Nota: en la imagen se puede observar los bloques del depósito, con su forma alargados y redondeados, presentando grietas de desecación. **Fuente:** El autor.

Litológicamente, estos bloques son nombrados como areniscas subarcóscicas, las cuales presentan una coloración rojiza, con unos tamaños de grano que varía entre arena fina a arena muy gruesa, generando capas como se evidencia en la **Figura 31**, en la cual se observa como una estratificación interna plano-paralela inclinada, sus granos se encuentran moderadamente seleccionados, presentando una buena consolidación y una porosidad moderada, morfológicamente sus clastos se observan redondeados a sub-angulosos, con una alta esfericidad; composicionalmente las rocas presentan minerales de cuarzo (79%), feldespatos potásicos (16%) y fragmentos líticos (5%).

Figura 31: Litología y estructura interna de los depósitos coluvión.



Fuente: El autor.

6.5 Depósitos Aluviales

La última unidad cartografiada en el área de estudio, es definida como depósitos aluviales del cuaternario, se presenta hacia el sureste sobre la vertiente del río San Miguel, esto se presentan en pendientes moderadas a suaves y se encuentran en contacto discordante con la Formación Cogollo y hacia el norte cubriendo gran parte de esta área, sobre la vertiente de la quebrada La Arenosa (**Figura 7**), los depósitos se presentan en pendientes suaves, formando llanuras de

inundación, en esta área se encuentra en contacto discordante con la Formación Colón-Mito Juan y la Formación La Luna (**Figura 32**).

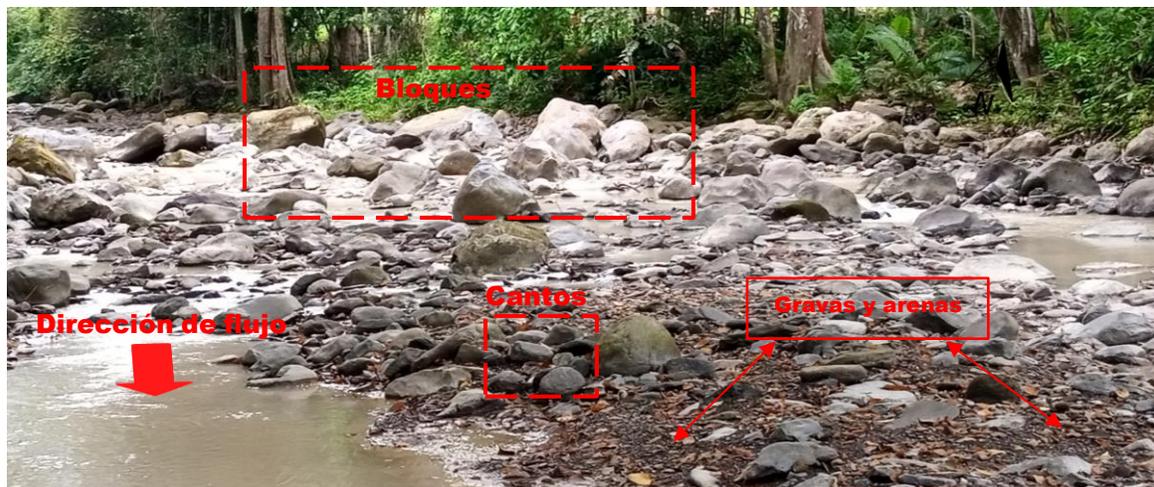
Figura 32: Llanura de inundación.



Nota: llanura de inundación generada por la quebrada La Arenosa. Fuente: El autor.

Texturalmente, en la zona se observaron bloques, cantos y gravas, junto con partículas de tamaño arena, presentando una forma de sus clastos redondeados a subangulares, la esfericidad suele ser media a alta, siendo estos pobremente clasificados; el origen de estos fragmentos se debe a los procesos de meteorización y arrastre que hacen las fuentes hídricas de las rocas sedimentarias de las unidades litoestratigráficas que se presentan en la zona, el grado de redondez que se observa en estas rocas nos indican el transporte que han tenido y la fuerza de las corrientes (**Figura 33**).

Figura 33: Depósitos aluviales sobre el río San Miguel y la quebrada La Arenosa.





Fuente: El autor.

Litológicamente, en los depósitos se pudo determinar la presencia de rocas sedimentarias, como chert, lutitas, calizas tipo Packstone y Mudstone, también se evidenció la presencia de areniscas, de grano muy fino a fino en los depósitos de la quebrada La Arenosa, las cuales contienen restos de carbón y arcillas, estas areniscas tienen una composición similar a las areniscas de los depósitos de coluvión que se presentan en esta área (Figura 34).

Figura 34: litologías de los depósitos aluviales.





Nota: En las imágenes se observan algunas de las litologías presentes en los depósitos aluviales del río San Miguel y la quebrada La Arenosa. Fuente: El autor



7. Conclusiones

- La ubicación y distribución de las unidades litoestratigráficas en el área de estudio presentan a la Formación Cogollo como la unidad más antigua, aflorando en menor proporción al sureste e infrayaciendo en contacto neto con la Formación La Luna, la cual aflora en mayor proporción e infrayace en contacto difuso a la Formación Colón-Mito Juan, que aflora al norte del área como la unidad más joven.
- La litología de las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio corresponden de base a techo a intercalación de capas gruesas y tabulares de limolitas negras y lodolitas grises de la Formación Cogollo; intercalación de capas gruesas a muy gruesas, lenticulares, de calizas Mudstone, Packstone y chert, con concreciones hacia la base, con intercalación de capas muy finas a finas, tabulares y lenticulares de limolitas y chert, junto con cinco niveles de capas gruesas a muy gruesas tabulares de roca fosfórica hacia el techo, de la Formación La Luna; intercalación de capas gruesas a muy gruesas, tabulares, de arcillolitas negras y grises con pirita y azufre de la Formación Colón-Mito Juan.
- Los depósitos cuaternarios en el área de estudio, son de tipo coluvión ubicado al noroeste del área de estudio, presentan una litología de areniscas subarcósicas, de tamaños finos a gruesos, lo cual genera una estratificación paralela inclinada en las litologías; y los depósitos aluviales ubicados al noreste sobre la vertiente del río San Miguel y al norte sobre la quebrada La Arenosa, litológicamente en estos depósitos se presentan calizas, chert, lutitas y areniscas con contenido de arcilla y carbón, el contacto con las demás unidades litoestratigráficas es discordante erosivo.



- Los cinco niveles fosfáticos en la Formación La Luna, están constituidos por calizas tipo Mudstone, limolitas y limolitas arenosas, el aprovechamiento mineral se realiza principalmente en los niveles limolíticos, debido al gran contenido de restos fósiles reemplazados por minerales fosfáticos, la alta porosidad y la friabilidad, que facilitan el aprovechamiento de la roca fosfórica.
- Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área se disponen estructuralmente como una secuencia normal de capas plano-paralelas no falladas, que buzan entre 10°-21° con tendencia noreste.



8. Recomendaciones

- Se sugiere realizar un estudio geológico el cual le permita a la empresa tener un calculo de reservas actualizado de roca fosfórica y el porcentaje de fosforó de estas.
- Teniendo en cuenta que dentro del área de estudio se presentan otros materiales de interés económico, se sugiere realizar estudios de exploración para analizar la viabilidad de explotación de calizas y arcillas, con el objetivo de aprovechar todos los recursos con los que cuentan y ofrecer mayor variedad de productos.
- De igual manera se sugiere contar con el apoyo y acompañamiento de un profesional en geología, con el propósito de realizar más trabajos de exploración y determinación de zonas de posible explotación de roca fosfórica y demás recursos, tanto en el municipio de sardinata como en otros municipios de Norte de Santander, que cuenten con el potencial de aprovechamiento para la empresa.



9. Bibliografía

- Abozaglo, J. (1973). Estudios Exploratorios del Yacimiento de Fosfatos de Sardinata (Norte de Santander). Bogotá.
- ANH. (2011). PETROLEUM GEOLOGY OF COLOMBIA CATATUMBO BASIN. En A. N. Hidrocarburos, & F. Cediél (Ed.).
- ANM. (Agosto de 2021). *Agencia Nacional de Minería*. Recuperado el 15 de Febrero de 2023, de <https://www.anm.gov.co/?q=distribucion-mineriaColombia>
- CATHCART, J. B. (1966). *Informe preliminar sobre los depósitos de fosfatos cerca a Sardinata, Norte de Santander*. República de Colombia, Ministerio de Minas y Petróleos.
- Corponor. (2003). *Estudio de Impacto Ambiental, Empresa de Fosfatos de Norte de Santander S.A.*
- Dirección General de Desarrollo Minero. (2018). *Perfil de Mercado de la Fosforita*. Mexico.
- Dumhan. (1962). *Clasificación Textural Deposicional Reconocible de Calizas*.
- Folk. (1974). *Triangulo para clasificación textural para rocas sedimentarias detriticas*.
- Hubach, E. (1952). *Estado actual de la exploración de fosfatos en Colombia*. Servicio Geológico Nacional.
- IDEAM. (1996). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.
- INGEOMINAS. (2001). Memoria Explicativa del Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander.
- MOJICA, P. (1975). *Roca Fosforica de Sardinata (Norte de Santander)*. Bogota: Ingeominas.
- NOTESTEIN F et al, .. (1944). *Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America*. Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 55, pp.1165-1215, 12 fig., 6 pl., New York.



Ochoa Y, A., García P, G. D., & Martínez P et al, .. (2016). *Cartografía Geológica de la Plancha 87–Sardinata, Departamento de Norte de Santander*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Renz, O. (1959). *Estratigrafía del Cretáceo en Venezuela occidental*. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Boletín Geológico, 5 (10) : 3-48. Caracas.

Rod, E., & Maync, W. (1954). *Revisión of lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela*. American Association Petroleum Geologists Bulletin, 38, (2) : 193-283. Tulsa.

UPME, U. d. (2005). *Análisis de la estructura productiva y de mercados de la roca fosfórica*. Bogotá.