

**ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA YESÍFERA DE LA FORMACIÓN
ROSABLANCA EN EL BORDE OCCIDENTAL DE LA MESA DE LOS SANTOS –
SANTANDER (COLOMBIA)**

MARÍA ISABEL PACHECO SEPÚLVEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD FÍSICOQUÍMICA
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

**ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA YESÍFERA DE LA FORMACIÓN
ROSABLANCA EN EL BORDE OCCIDENTAL DE LA MESA DE LOS SANTOS –
SANTANDER (COLOMBIA)**

MARÍA ISABEL PACHECO SEPÚLVEDA

**Proyecto de Grado para optar por título de
Geólogo**

Director:

**LUIS ALBINO LEÓN SILVESTRE
Geólogo MsC**

Co-Director:

**JAIRO CLAVIJO TORRES
Geólogo MsC**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD FISICOQUÍMICA
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

A la empresa INGEMINERA Ltda., en especial al Doctor Luis Albino León Silvestre, por su apoyo económico, sus enseñanzas y su gran disposición para culminar satisfactoriamente este trabajo.

A mis padres Pablo Emiro y Mary Isabel, junto con mi hermano Juan Pablo, por ser la razón de mí existir y quienes con su constancia y paciencia me dan la fuerza para seguir adelante.

A los docentes de la Escuela de Geología, de la Universidad Industrial de Santander, en particular a Jairo Clavijo Torres y Mónica Zegarra, por contribuir al desarrollo personal y profesional de la autora.

A familiares y amigos que con su apoyo incondicional, ayudaron a cumplir favorablemente los objetivos propuestos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	16
1.1 LOCALIZACIÓN	16
1.2 GEOMORFOLOGÍA	19
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	24
2.1.1 Estratigrafía	24
2.1.2 Geología estructural	28
2.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL	29
2.2.1 Estratigrafía	29
2.2.2 Geología estructural	41
3. EVAPORITAS Y YESO	44
3.1 YESO	44
3.2 DEPÓSITOS EVAPORÍTICOS	46
3.2.1 Evaporitas marinas	46
3.3 AMBIENTE DEL DEPÓSITO	46
3.3.1 Charcas evaporíticas	47
3.3.2 <i>Sabkhas</i> o Llanuras supramareales	48
3.4 TIPOS DE DEPÓSITO	49
3.4.1 Interestratificados	49
3.4.2 Eflorescentes	52
3.4.3 Cristales aislados, escamas y venillas	52
3.4.4 Venillas en enrejado	52
3.5 GEOQUÍMICA	53
3.6 VARIEDADES DE YESO	55

3.6.1 Yeso masivo	55
3.6.2 Alabastro	56
3.6.3 Selenita	56
3.6.4 Yeso fibroso	56
3.7 USO DEL YESO	56
4. METODO DE TRABAJO	58
4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SO ₃ EN UN YESO	58
4.1.1 Preparación de las muestras	59
4.1.2 Precipitación	59
4.1.3 Filtración	559
4.1.4 Calcinación	56
4.1.5 Cálculos	57
5. RESULTADOS OBTENIDOS	59
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
6.1 LICENCIA DE EXPLORACIÓN FJ4-101	65
6.2 LICENCIA DE EXPLORACIÓN 783-R	66
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
7.1 CONCLUSIONES	84
7.2 RECOMENDACIONES	85
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	86
ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización de la licencia FJ4-101, delimitada por el polígono rosado.	17
Figura 2. Localización de licencia 783-R, delimitada por el polígono rosado.	19
Figura 3. Geomorfología de la licencia FJ4-101. Se aprecia la topografía con pendientes empinadas que se encuentran a lo largo del Rio Chicamocha	20
Figura 4. Geomorfología de la licencia 783-R. Se aprecia la topografía suavemente empinada localizada a lo largo de la quebrada La Santera	21
Figura 5. Esquema estructural de departamento de Santander.	28
Figura 6. Contacto entre las Formaciones Girón, Los Santos y Rosablanca al noroeste de la licencia FJ4-101.	30
Figura 7. Contacto entre las Formaciones Girón (Jg), Los Santos (Kils) y Rosablanca (Kir) al sur-oeste de la licencia 783-R.	31
Figura 8. Nivel I. Calizas de la base de la Formación Rosablanca en la licencia FJ4-101.	32
Figura 9. Nivel I. Sobre la quebrada La Santera en la Licencia 783-R.	35
Figura 10. Nivel yesífero de la Formación Rosablanca en la Licencia FJ4-101.	36
Figura 11. Nivel yesífero de la Formación Rosablanca en la licencia 783-R.	37
Figura 12. Venas de yeso blanco en la licencia 783-R.	37
Figura 13. Entrada túnel 8 de la mina la Nacuma.	39
Figura 14. Columna litológica generalizada de los mantos de yeso de la mina la Nacuma.	38
Figura 15. Calizas masivas de color pardo amarillentas en la licencia FJ4-101.	42
Figura 16. Calizas masivas de la Formación Rosablanca en la licencia 783-R.	42
Figura 17. Cambio brusco en el buzamiento de las capas en las coordenadas X= 1'238.239 Y=1'100.170 Z=669.	44

Figura 18. Falla normal “chicamocha”, sobre el borde occidental del rio Chicamocha en la licencia FJ4-101.	44
Figura 19. Falla inversa “la santera” ubicada al norte de la quebrada La Santera en la licencia 783-R.	45
Figura 20. Mapa de las manifestaciones de yeso en Colombia.	47
Figura 21. Charca costera evaporítica, modificado de Renfro (1974), en Galvis, (1987).	48
Figura 22. Sabkha costero, modificado de Renfro (1974), en Galvis (1987).	49
Figura 23. Diagrama esquemático del ciclo diagenético del sistema Yeso – Anhidrita – yeso. Tomado de Murray 1964, en Galvis 1987.	55
Figura 24. Aspecto, color y textura de la muestra con 30.2% de SO ₃ con coordenadas X= 1'238.757, Y= 1'099.847, Z= 643m £=15m.	62
Figura 25. Aspecto, color y textura de la muestra con 3.45% de SO ₃ con coordenadas X= 1'238.734, Y= 1'099.865, Z= 670m£=10m.	62
Figura 26. Aspecto, color y textura de la muestra con 4.82% de SO ₃ con coordenadas X= 1'238.734, Y= 1'099.889, Z= 650m£=8m	63
Figura 27. Aspecto, color y textura de la muestra con 32.58% de SO ₃ con coordenadas X= 1'244.687, Y= 1'099.157, Z= 733m £=10m.	63
Figura 28. Aspecto, color y textura de la muestra con 0.28% de SO ₃ con coordenadas X= 1'244.684, Y= 1'099.550, Z= 736m £=12m.	64
Figura 29. Columna estratigráfica de la mina La Nacuma.	69
Figura 30. Columna estratigráfica de la mina La Caldera.	68
Figura 31. Columna estratigráfica de la mina El Diviso.	69
Figura 32. Columna estratigráfica de la mina Zapatoca.	70
Figura 33. Columna estratigráfica de la mina El Carrancho.	71
Figura 34. Correlación de las columnas estratigráficas levantadas en las minas aledañas.	74
Figura 35. Columna estratigráfica del zanjón.	75
Figura 36. Columna estratigráfica de la quebrada 1.	76
Figura 37. Columna estratigráfica de la quebrada 3.	77

Figura 38. Columna estratigráfica de la quebrada 4.	78
Figura 39. Correlación de las columnas estratigráficas levantadas en la licencia FJ4-101.	79
Figura 40. Columna estratigráfica de delta 1.	780
Figura 41. Columna estratigráfica de delta 2.	79
Figura 42. Columna estratigráfica de delta 3.	82
Figura 43. Correlación de las columnas estratigráficas levantadas en la licencia 783-R.	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Tabla de Coordenadas del polígono FJ4-101.	16
Tabla 2.Tabla de Coordenadas del polígono 783-R.	18
Tabla 3. Tipos de depósito de yeso.	51
Tabla 4.Porcentaje de SO ₃ de las muestras de la licencia FJ4-101.	63
Tabla 5.Porcentaje de SO ₃ de las muestras de la licencia 783-R.	63

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Mapa topográfico licencia FJ4-101	89
ANEXO B. Mapa geológico licencia FJ4-101	90
ANEXO C. Corte geológico A - A' licencia FJ4-101	91
ANEXO D. Mapa topográfico licencia 783-R	92
ANEXO E. Mapa geológico licencia 783-R	93
ANEXO F. Corte geológico A -A' licencia 783-R	94

RESUMEN

TITULO: ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA YESÍFERA DE LA FORMACIÓN ROSABLANCA EN EL BORDE OCCIDENTAL DE LA MESA DE LOS SANTOS – SANTANDER (COLOMBIA)*

AUTOR: MARÍA ISABEL PACHECO SEPÚLVEDA**

PALABRAS CLAVES: Formación Rosablanca, nivel yesífero.

Las licencias de exploración FJ4-101 y 783-R pertenecientes al área de estudio, se localizan en el municipio de Los Santos en el departamento de Santander. El área de estudio está conformada por rocas sedimentarias de la Cordillera Oriental Colombiana, específicamente de la cuenca del Valle Medio del Magdalena. Las edades de estas rocas van desde el Jurásico representado por las formaciones Jordán y Girón, el Cretácico constituido por las formaciones Los Santos, Rosablanca y Paja, hasta el más reciente perteneciente a los depósitos cuaternarios.

Las estructuras más importantes a nivel regional son las fallas de Los Santos y la del Suarez. El área de trabajo se caracteriza por fallas locales que afectan en mínima medida la estructura del lugar, esto se ve reflejado en el buzamientos de las capas con dirección NW e inclinación que varía entre 5° y 8° en sentido SW. Las estructuras más importantes a nivel local son las fallas “La Santera” y “Chicamocho”.

La zona de estudio corresponde a un yacimiento de tipo evaporítico que se formó en una especie de “*sabkhas*”. La mayoría de yeso producido es del tipo “yeso-roca” o “yeso-masivo”. Estudios geológicos realizados comprueban la existencia del mineral en la base de la Formación Rosablanca, con una tendencia a desaparecer debido a que se genera un adelgazamiento en los mantos de yeso al este, debido a la paleogeomorfología del lugar. No fue posible determinar el tenor de cada manto para hacer la respectiva comparación con las minas aledañas a la zona de estudio, pero si se logró localizar los niveles yesíferos de la zona basal de la Formación Rosablanca. Los análisis químicos tomados a las muestras de roca permiten concluir que se trata de un depósito económicamente explotable y de buena calidad.

* Proyecto de grado. Modalidad práctica empresarial.

** Facultad Físicoquímica. Escuela de geología. Luis A. León S., Jairo Clavijo T.

ABSTRACT

TITLE: ESTRATIGRAPHY OF GYPSUM ZONE ROSABLANCA FORMATION IN THE WESTERN EDGE OF LOS SANTOS – SANTANDER (COLOMBIA)*

AUTHOR: MARIA ISABEL PACHECO SEPULVEDA**

KEY WORDS: Rosablanca Formation, reserves, gypsum rock.

The exploration licenses FJ4-101 and 783-R pertaining to the study area are located at Los Santos, Santander. Geologically, consists by sedimentary rocks from the Middle Magdalena basin, at the Western Colombian ridge. The ages of these rocks include Jurassic, represented by Jordan Formation and Giron Formation, Cretaceous represented by Los Santos, Rosablanca and Paja formations and Quaternary ages.

The area is located within a tectonic style with minor characteristic features, product of local faults that affect in a tiny measurement the structure of the site, and this is reflected in the plunging of the layers, NW direction and 5SW. The main mappable structures are “La Santera” and “Chicamocha” faults.

The study zone corresponds to evaporitic deposits formed in a “sabkhas”; most produced gypsum is “gypsum rock” or “gypsum massive”. A geological study has proved the existence of the gypsum at the base of Rosablanca Formation, with a tendency to disappear due to a thinning in the gypsum layers at the west, due to the area’s geomorphology. It was not possible to determine the tenor of each mantle for a comparison of the close mines with the study zone, but the gypsum levels at the base of Rosablanca Formation were located. Chemical analysis taken from the samples allows us to conclude that is an economically exploitable.

* Degree Project. Practice modality managerial

** Physic-chemical Faculty, Geology School. Luis A. León S., Jairo Clavijo T.

INTRODUCCION

El auge en la industria de construcción genera una creciente demanda de productos como el cemento y yeso, creando la necesidad de explorar nuevas áreas, con el fin de aumentar las reservas existentes.

En Colombia, los depósitos de yeso más productivos son los de Batán – Villamaría y los de la Mesa de Los Santos localizados en el departamento de Santander. Sin embargo, la producción no alcanza a abastecer en su totalidad las necesidades de la nación y ha sido necesario importarlo. Debido a esto, surge el proyecto de exploración de las licencias FJ4-101 y 783-R de la empresa INGEMINERA LTDA., ubicadas en el municipio de Los Santos. Este proyecto tiene como objetivo principal identificar el nivel yesífero, mediante el levantamiento de columnas estratigráficas y cartografía detallada de la base de la Formación Rosablanca. Así mismo, busca realizar una recolección de muestras, para determinar por medio de análisis químicos el contenido de SO_3 , el cual indica la presencia de yeso en la roca. Basados en estos estudios se describe la génesis del yacimiento. Este proyecto se realizó pensando en una fase de explotación en un futuro cercano.

Finalmente con la información del área y las observaciones de campo, se hace un informe detallado comparando los niveles yesíferos de las minas: “El Carrancho”, “El Diviso”, “El Toro”, “La Caldera” y “La Nacuma” que son aledañas al área de las licencias de exploración.

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

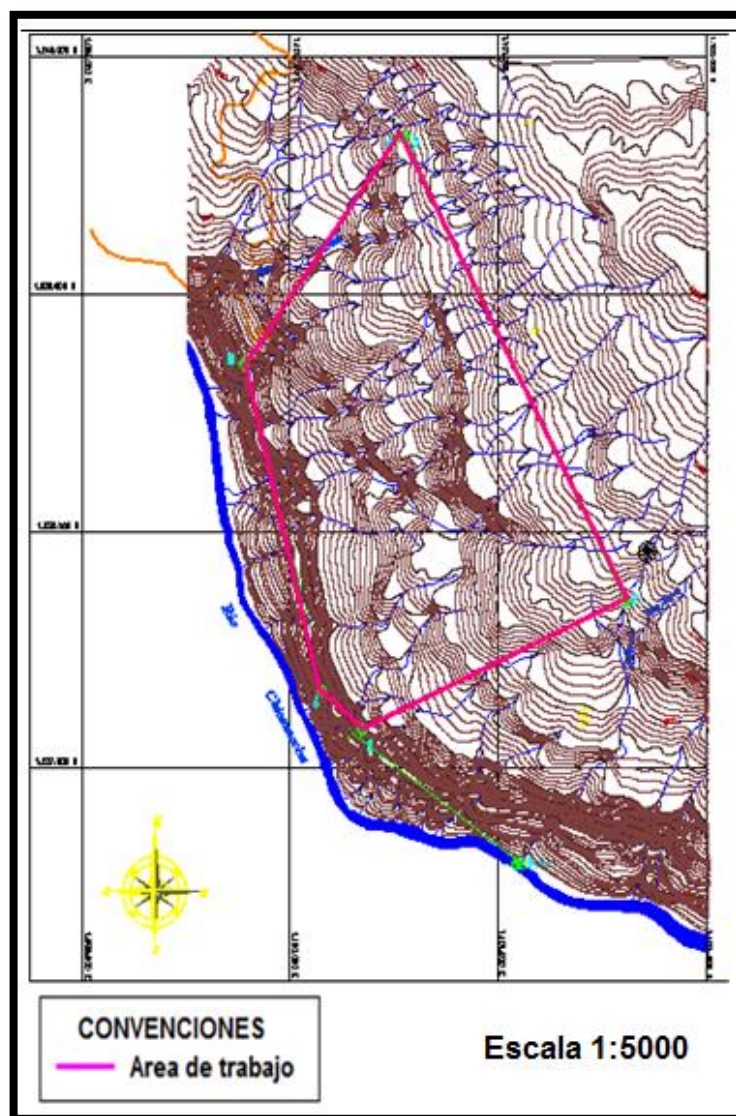
El contrato de concesión FJ4-101, cuyo titular es la empresa INGEMINERA LTDA., se encuentra localizado sobre la Cordillera Oriental, hacia el norte del Rio Chicamocha, tramo que confluye con el Rio Suarez para formar el Rio Sogamoso, en La Vereda la Loma, del municipio de Los Santos, en el departamento de Santander (**Figura 1**). Dicha licencia según la nomenclatura del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se localiza en la plancha 120-IV-C a escala 1:25.000 y en las planchas 120-IV-C-3 y 120-IV-C-4 a escala 1:10.000, las cuales fueron ampliadas a escala 1:5.000 dentro de las siguientes coordenadas para presentar la solicitud de licencia y la cartografía geológica general (**Tabla 1**):

Tabla 1. Tabla de Coordenadas del polígono FJ4-101.¹

PUNTO	COORDENADAS (m)	
	X	Y
P.A	1'236.595,7396	1'101.110,1430
1	1'237.150,00	1'100.299,00
2	1'237.713,00	1'101.608,00
3	1'239.666,00	1'100.551,00
4	1'239.666,00	1'100.529,00
5	1'238.703,00	1'099.776,00
6	1'237.325,00	1'100.176,00

¹ De acuerdo con la proyección de Gauss, con punto de origen en Bogotá, con coordenadas 1'000.000 N y 1'000.000 E.

Figura 1. Localización de la licencia FJ4-101, delimitada por el polígono rosado. Modificado de León, 2004.



La otra concesión corresponde a la licencia 783-R solicitada por la misma empresa, ubicada en la región sur-oeste del macizo de Santander, al NW del municipio Los Santos, más exactamente al norte de la vía que conduce a la minas “El Carrancho”, aledaña al cañón del Rio Sogamoso en el borde oriental de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (**Figura 2**). Esta licencia según la nomenclatura del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se localiza en la

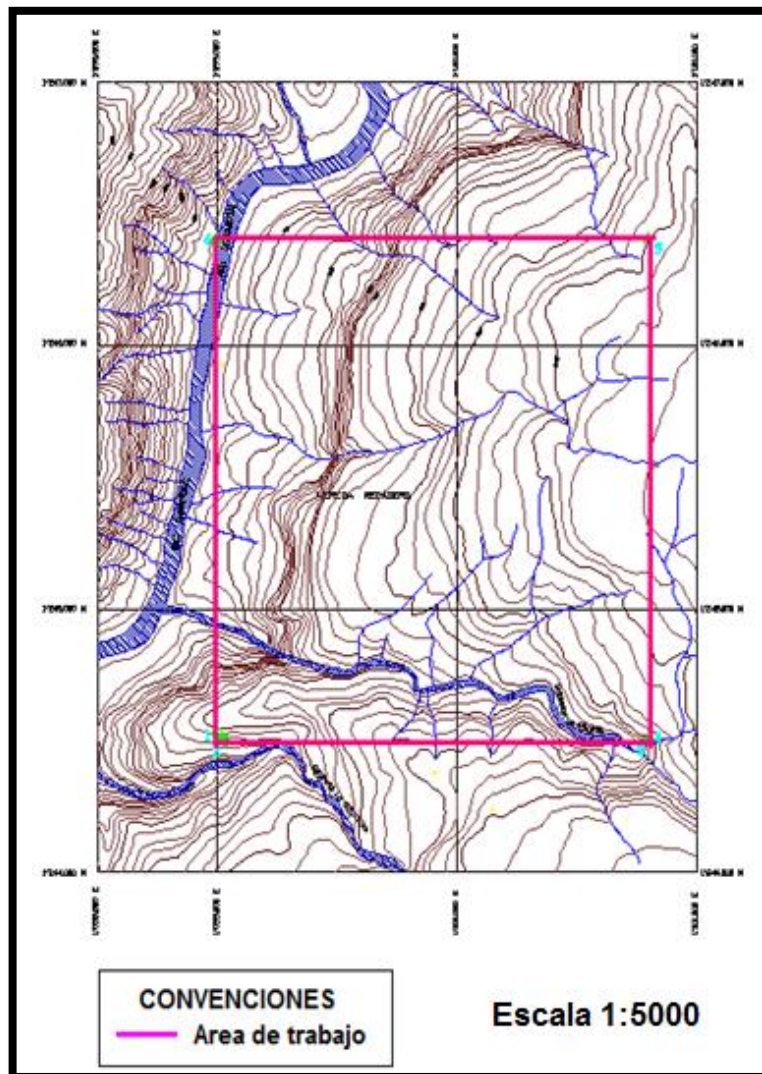
plancha 120-IV-C a escala 1:25.000 y en las planchas 120-IV-C-2 y 120-IV-C-4 a escala 1:10.000, las cuales fueron ampliadas a escala 1:5000 dentro de las siguientes coordenadas para presentar la solicitud de licencia y la cartografía geológica general (**Tabla 2**):

Tabla 2. Tabla de Coordenadas del polígono 783-R.²

PUNTO	COORDENADAS (m)	
	X	Y
P.A	1'245.030.00	1'098.800.00
1	1'245.030.00	1'099.000.00
2	1'244.528.00	1'099.000.00
3	1'244.500.00	1'099.031.00
4	1'244.500.00	1'100.800.00
5	1'246.400.00	1'100.800.00
6	1'246.400.00	1'099.000.00

² De acuerdo con la proyección de Gauss, con punto de origen en Bogotá, con coordenadas 1'000.000 N y 1'000.000 E.

Figura 2. Localización de licencia 783-R, delimitada por el polígono rosado. Modificado de León, 2004.



1.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es el reflejo de los procesos geológicos que han actuado a lo largo de un periodo de tiempo sobre una región y dan origen a las unidades litológicas que se observan hoy en día. En el departamento de Santander se observan dos provincias morfológicas definidas: el Valle Medio del Magdalena y el margen oeste de la Cordillera Oriental.

El área de estudio localizada en el Valle Medio del Magdalena, corresponde a una unidad de mesas y mesetas disectadas, formadas por una red de drenaje poco denso sub-paralelo, el Río Chicamocha en la caso de la licencia FJ4-101 (**Figura 3**) y el Río Sogamoso junto con las quebradas, La Santera, Chivatera y Las Lajas para la licencia 783-R (**Figura 4**). Estas mesas y mesetas forman una topografía suavemente empinada y muy empinada en las zonas de escarpe (Suarez y Montaña, 2000).

La pluviosidad en la zona es baja, generando un clima semidesértico con temperaturas que oscilan entre los 25°C y 35°C; el cual presenta periodos secos con lluvias torrenciales esporádicas que tienen la capacidad de remover los suelos y producir la erosión. La zona está constituida por estratos sedimentarios sub-horizontales y suelos delgados que actualmente son expuestos a procesos destructivos, debido a la alta erosión eólica que no permite la formación de una buena capa vegetal (Suarez y Montaña, 2000).

Figura 3. Geomorfología del sector localizado en la licencia FJ4-101. Se aprecia la topografía con pendientes empinadas que se encuentran a lo largo del cañón del Río Chicamocha.

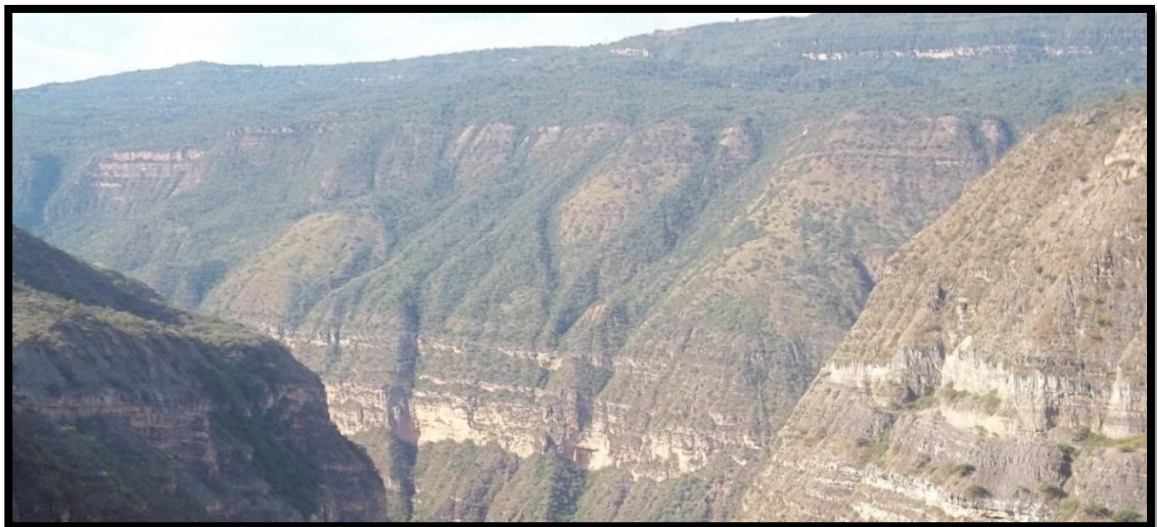


Figura 4. Geomorfología del sector localizado en la licencia 783-R. Se aprecia una topografía suavemente empinada localizada a lo largo de la quebrada La Santera.



2. MARCO TEÓRICO

En Colombia pequeños yacimientos de yeso se han venido explotando para atender la creciente demanda de los últimos años. Las principales minas se localizan en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Huila, Guajira, Tolima y Santander. En Antioquia se presenta en capas de yeso lenticulares de 2 a 3 m de espesor encajados en rocas volcánicas basálticas pertenecientes a la Formación Barroso (Rodríguez y Pernet, 1983). En Cundinamarca existen prospectos en los municipios Quetame y Nemocón que se presentan como capas intercaladas entre las capas de lutita de la Formación Chipaque (Sonderos y Wokittel, 1956). En el departamento del Huila manifestaciones de yeso-selenita se observan en el Valle superior del Magdalena en el municipio de Colombia en donde el yeso es fibroso se presenta en capas lenticulares hasta de 10 cm de espesor. En la Guajira existen manifestaciones consistentes en láminas de yeso intercaladas con arcillolitas del Eoceno de la Formación Aguas Blancas (Tschanz, 1969); finalmente en el departamento del Tolima se encuentran los yacimientos de los municipios de Ibagué y Coello en donde el yeso se manifiesta en vetillas de yeso fibroso de la Formación Guaduas (Buitrago y Buenaventura, 1976).

La historia de la minería en Santander está íntimamente ligada a la exploración de yeso desde hace varias décadas, ya que era explotado de manera informal por los nativos de la región. Desde sus inicios se han venido realizando estudios geológicos en la zona, en los cuales se hacen las primeras descripciones estratigráficas y tectónicas del sector en las que Zamarreño (1963), realiza un estudio petrográfico de las calizas de la Formación Rosablanca en el municipio de Los Santos. Un año después Julivert hace la cartografía geológica del municipio casi en su totalidad. En 1973, Ward realiza la cartografía geológica y un estudio de los recursos minerales existentes en la cartografía de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. Hacia el año 1985, un informe de Alfonso y otros

autores patrocinado por el Ingeominas en su proyecto Cretácico analiza la base de la Formación Rosablanca evidenciando condiciones hipersalinas durante su depositación.

Con relación a la exploración de yeso, se realizaron los primeros estudios enfocados en la Formación Paja (Jimeno & Yepes, 1963) donde se encontraron depósitos del mineral de variedad selenita; pero ante el descubrimiento de nuevos depósitos con mayor rentabilidad y eficacia en la base de la Formación Rosablanca (Cruz & Vargas, 1968) se dejó de lado la explotación de yeso en la Formación Paja. Hacia el año 1993, Forero en su escrito titulado “*Las ocurrencias yesíferas en la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia*”, el autor resalta el gran potencial económico de la Cordillera Oriental producto de los ambientes geológicos característicos que generan los yacimientos de yeso.

Los estudios más recientes realizados en los niveles yesíferos de la parte basal de la Formación Rosablanca ubicados en el municipio de Los Santos, han sido tesis de pregrado, uno elaborado por Eljaiek y Moreno en 1991, el cual estudió la génesis y estratigrafía del yeso en la licencia 2491. León en 2004 elaboró su tesis con base a la exploración de las reservas probables de yeso de la licencia 783-R, la cual es una de las licencias trabajadas en este proyecto.

El objetivo principal planteado es encontrar los niveles yesíferos de las base de la Formación Rosablanca y comprobar la existencia de este, en las licencias de exploración FJ4 y 783-R con el propósito de correlacionarlos con los niveles de yeso de las minas del sector y poder demostrar que es un depósito de buena calidad y por consiguiente, explotable. Se plantea la hipótesis de que el ambiente de formación de este yacimiento de yeso es de tipo “*sabkhas*” o llanuras supramareales. Con las observaciones de campo es posible corroborar esta hipótesis o desmentirla.

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1.1 Estratigrafía. Las unidades indicadas a continuación se describen de más antigua a más joven:

2.1.1.1 Formación Jordán (Jj): En la parte occidental de la Mesa de Los Santos, la Formación Jordán está expuesta en un área considerable, porque la erosión ha removido las formaciones suprayacentes Girón y Los Santos. En el municipio de Los Santos la Formación Jordán aflora con contacto paraconforme o diastema con la suprayacente Formación Los Santos (Ward, 1973).

La Formación Jordán consta de limolitas de color marrón rojizo y areniscas de grano muy fino, bien estratificadas y areniscas de grano grueso, color gris verdoso en capas de hasta 1 metro (m) de espesor, con niveles conglomeráticos hacia la base.

La edad de la Formación Jordán es considerada Jurásico inferior, aunque no se encuentran evidencias de fósiles y por consiguiente; la determinación cronológica se fundamenta los conglomerados inferiores que se observaron en el área de Piedecuesta dando por datación radiactiva de la fase granítica una edad de 193 ± 6 millones de años (Ward, 1973).

2.1.1.2 Formación Girón (Jg): La Formación Girón está constituida principalmente por conglomerados en la parte superior, *shales* de color rojo, areniscas de grano grueso y limolitas color marrón rojizo (Ward et al., 1973). El contacto de la Formación Girón con la suprayacente Formación Los Santos es gradacional.

La edad de la Formación Girón ha sido motivo de gran discusión, producto de las diferentes edades que se han obtenido de las evidencias fosilíferas encontradas

en las muestras de roca analizadas. Cediél (1968) le asigna una edad Triásico-Jurásico, mientras que Ward et al. (1973) la considera del Jurásico Medio a Superior. Pulido (1979) data ostracodos y conchostracodos de la Formación Bocas como del Jurásico Inferior, de esta forma considera la suprayacente Formación Jordán como de edad Jurásico medio y la Formación Girón como de edad Jurásico Superior.

2.1.1.3 Formación Los Santos (Kils): La Formación Los Santos (Cediél, 1968), inicialmente llamada Formación Tambor (Hedberg, 1931) es la más extensa del municipio y abarca en su totalidad la parte plana conocida como la Mesa de Los Santos al este del pueblo. Al oeste de la cuenca del Magdalena Medio la Formación Los Santos se adelgaza considerablemente, el espesor varía de 100 a 250 m. Laverde (1985) divide la Formación Los Santos en 6 macrosecuencias compuestas principalmente por conglomerados intercalados con areniscas, lodolitas arenosas y en la base arenitas con intraclastos lodosos que varían hacia el techo a arenitas fino-granulares.

La naturaleza terrígena de los sedimentos y el tipo de estratificación permiten deducir un ambiente de depositación continental como lo menciona Laverde (1985).

La edad de la Formación Los Santos ha sido determinada por Etayo y Rodríguez (1985) que la ubican en el Cretácico Inferior con base en la composición de fragmentos de roca volcánicas.

2.1.1.4 Formación Rosablanca (Kir): La Formación Rosablanca se encuentra mejor expuesta en la quebrada Pujamanes, unos kilómetros al noreste del Río Sogamoso, donde se observó un espesor aproximado de 428 m (Julivert, 1964). La Formación se adelgaza considerablemente al este del Macizo de Santander, Jimeno en 1973 mide un espesor de 43 m, mientras que en la zona de interés es

de casi 400 m. Esto es por causa de la rápida meteorización y al contenido variable de *shale*. Este adelgazamiento influye de manera importante en el espesor de las capas de yeso que se encuentran en los diferentes sitios donde aflora la Formación Rosablanca. Un estudio petrográfico detallado de la parte basal de la Formación expuesta en la quebrada de Lagunetas³ al oeste de la Mesa de Los Santos (Julivert, 1964) indica la presencia de dolomitas y calizas dolomíticas con capas delgadas de yeso de hasta 2 cm de espesor. Sobre la pendiente occidental de la Mesa de Los Santos se encuentran capas de yeso en la zona basal de más de 1 m de espesor que son explotadas para la industria del cemento.

La Formación Rosablanca está compuesta por calizas masivas, fosilíferas, de textura gruesa, con alto contenido de capas margosas que pasan a calizas de textura muy fina, negra y arcillosa en el tope. Las calizas de la Formación Rosablanca son altamente fosilíferas constituidas principalmente por bivalvos, braquiópodos y gasterópodos (Ward et al., 1973).

El alto contenido de rocas calcáreas y la presencia de fósiles marinos permiten deducir para la Formación Rosablanca un ambiente de depositación marino somero, en el cual se presentaron variaciones en el nivel de la energía, lo que se refleja en la presencia de niveles oolíticos, arenosos, y en la brusca variación del contenido fosilífero en el nivel de caliza en explotación. La Formación Rosablanca es concordante con la infrayacente Formación los Santos y la suprayacente Formación Paja (Ward et al, 1973).

La edad de la Formación Rosablanca ha sido discutida por diferentes autores: Morales (1958) con base en la presencia de moluscos de concha gruesa le da una edad Hauteriviano en el sur y Barremiano en el norte. Etayo (1964) estudia la

³Ver plancha 120-IV-C, E-7, F-7, F-8

fauna reportada por Jimeno y Yepes (1963) en la zona de la Mesa de los Santos y asigna una edad Valanginiano superior al Hauteriviano.

2.1.1.5 Formación Paja (Kip): La Formación Paja está compuesta por *shale* de color negro micáceo, limoso, ligeramente calcáreo y delgadamente laminado. Los 300 m inferiores contienen concreciones de caliza y venas de calcita. En la parte sur-occidental del municipio de Los Santos se han encontrado abundantes concreciones en toda la formación (Julivert, 1964) e igualmente se observan láminas delgadas de yeso intercaladas con *shale*. Estas láminas de yeso en un principio fueron la fuente principal para la industria del cemento hasta que posteriormente se descubrieron capas de mayor espesor en la base de la Formación Rosablanca.

Estudios paleontológicos (Ward, 1973) basados en los fósiles encontrados y otras evidencias como la naturaleza de los sedimentos, y la presencia de láminas delgadas de yeso, permiten diagnosticar una ambiente marino somero para la Formación Paja y una edad Barremiano Aptiano. Morales en 1958 concuerda con esta edad, concluyendo que como los estratos de la Formación Paja son más antiguos en el sur que en el norte del Valle Medio del Magdalena, la formación presenta una edad que va desde Barremiana en el sur y Aptiana en el norte.

2.1.1.6 Formación Tablazo (Kit): La Formación Tablazo está conformada por calizas de estratificación gruesa, altamente fosilífera en la parte superior y margas o calizas arcillosas en la parte inferior (Morales, 1958). La Formación Tablazo está ubicada en los escarpes de la Formación Paja, tiene una forma alargada y su contacto inferior con la Formación Paja es concordante (Pulido, 1979). En el área de estudio específicamente no aflora la Formación Tablazo.

En cuanto a la edad, Morales (1958) con base en la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití le atribuye una edad desde Aptiano superior-Albiano inferior en el sur a Albiano en el norte.

2.1.1.7 Depósitos cuaternarios: Los depósitos cuaternarios que hacen parte de la zona de estudio son los depósitos aluviales y coluviales que se encuentran sobre los márgenes de los ríos y las quebradas, descritos a continuación:

- ***Cuaternario Aluvial (Qal)***. Estos depósitos se forman por material de arrastre, se localizan en los cauces de los Ríos Sogamoso y Chicamocha y sobre la quebrada La Santera. Están constituidos por arenas y cantos redondeados.
- ***Cuaternario Coluvial (Qc)***. Se presentan sobre grandes escarpes y cubren la topografía y la litología de las unidades sobre las que reposan. Están constituidos por cantos sub-angulares que provienen de las formaciones Los Santos y La Paja, de matriz areno-arcillosa.

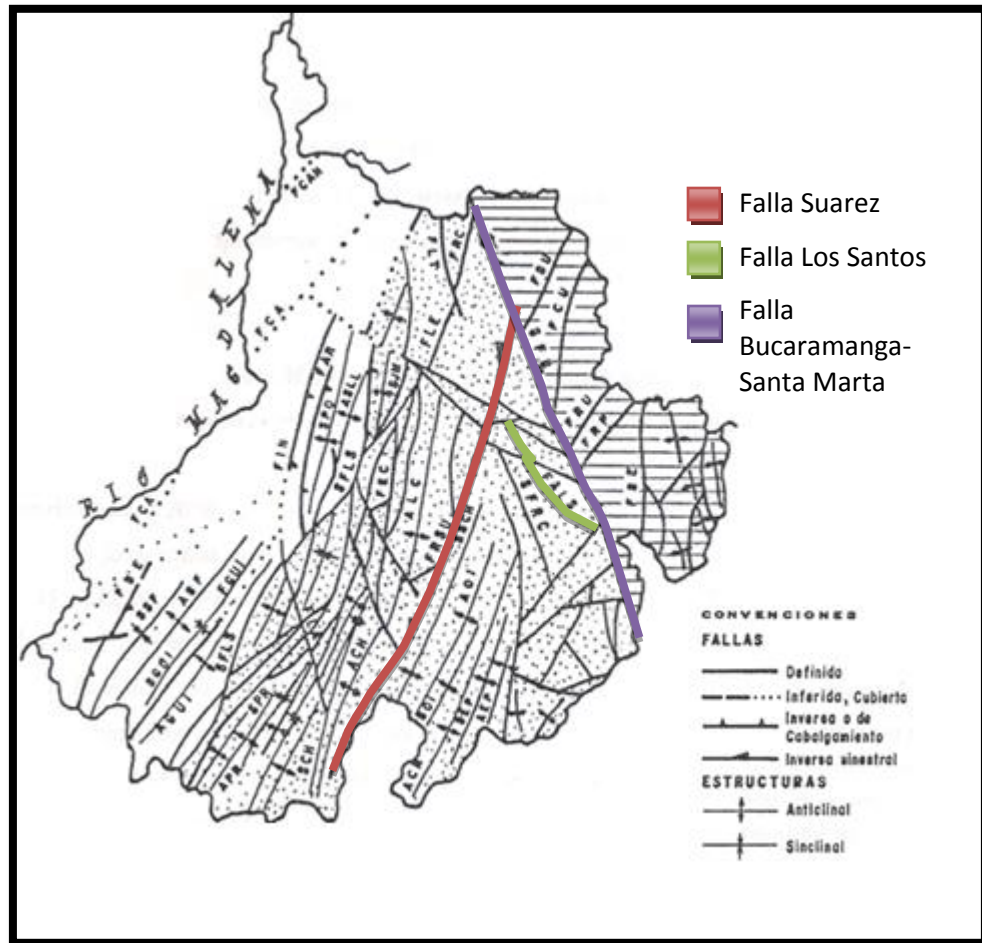
2.1.2 Geología estructural. Las estructuras más relevantes del área son las fallas de Los Santos, Bucaramanga-Santa Marta y Suarez. Siendo esta última la más cercana, pues se encuentra aproximadamente a 2 km al oeste del margen izquierdo del Río Sogamoso (**figura 5**).

2.1.2.1 Falla Los Santos: Su extensión como tal no se ha determinado pues constituye una prolongación de la Falla de Aratoca. Su rumbo es en dirección NW-SE y un buzamiento promedio de 25° al este. Es una Falla inversa de bajo ángulo, controla el cauce de la quebrada La Santera. Esta Falla se caracteriza por enfrentar las areniscas de la Formación los Santos en el bloque este con los niveles calcáreos y arenosos de la Formación Rosablanca en el bloque oeste (Suarez y Montaña, 2000).

2.1.2.2 Falla del Suarez: Su extensión es de alrededor de 120 km desde el sur de Barbosa hasta la Falla de Bucaramanga – Santa Marta. Tiene un rumbo promedio N22°E y buzamiento aproximado de 69° W (Bahamón y Suárez, 1998). Es una Falla inversa de alto ángulo, sinuosa y con ramificaciones.

La Falla del Suárez afecta principalmente la Formación Girón, hacia el occidente del casco urbano de Girón. Sin embargo, en menor proporción afecta las formaciones Jordán, Los Santos, Rosablanca y Paja y cerca al límite con la Falla Bucaramanga – Santa Marta afecta las formaciones Floresta y Diamante. En zonas cercanas a la falla se observa un alto grado de meteorización, al punto de llegarse a pensar que se trata de un depósito cuaternario (Julivert, 1964)

Figura 5. Esquema estructural de departamento de Santander. Tomado de Bahamón y Suarez, 1998.



2.1.2.3 Falla Bucaramanga-Santa Marta: Es la estructura más evidente y de mayor extensión que cruza la región nor-oriental del departamento de Santander. Tiene una dirección aproximada de N20°W, con trazo rectilíneo, presenta un rumbo sur hacia Los Curos hasta Cepitá (Ward, Goldsmith y Jimeno, 1973).

Julivert (1964) menciona que la Falla de Bucaramanga pertenece una serie de fallas inversas de alto ángulo, con el bloque oriental levantado que se formó durante el desarrollo de la del actual Valle Medio del Magdalena.

2.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

2.2.1 Estratigrafía. Las áreas de estudio correspondientes a las licencias FJ4-101 y 783-R afloran de norte a sur al oeste del Rio Chicamocha y en la quebrada Chivatera respectivamente. En estas licencias de exploración se observan las formaciones Girón, Los Santos y Rosablanca, descritas a continuación:

2.2.1.2 Formación Girón (Jj): En la zona de interés la Formación Girón se observa de forma continua sobre el Rio Chicamocha (**Figura 6**). Se encuentra localizada en una zona escarpada de gran pendiente topográfica, por lo que no fue posible acceder a ella, pero según trabajos anteriores (Cediel, 1968 y Ward, 1973) litológicamente está formada por areniscas y limolitas rojizas, lodolitas claras alternando con areniscas rojizas de grano medio a grueso, areniscas amarillas de grano medio a grueso y areniscas conglomeráticas rojizas, principalmente.

2.2.1.3 Formación Los Santos (Kils): En el área de trabajo la Formación Los Santos se observa sobre el Rio Sogamoso (**figura 7**) de forma continua y está constituida por areniscas medianas a gruesas de color blanco amarillento, areniscas cuarzosas conglomeráticas y lodolitas. El contacto con la suprayacente Formación Rosablanca es fallado en el curso de la quebrada La Santera y al suroeste es concordante con esta misma formación.

Figura 6. Contacto entre las Formaciones Girón, Los Santos y Rosablanca al nor-oeste de la licencia FJ4-101.

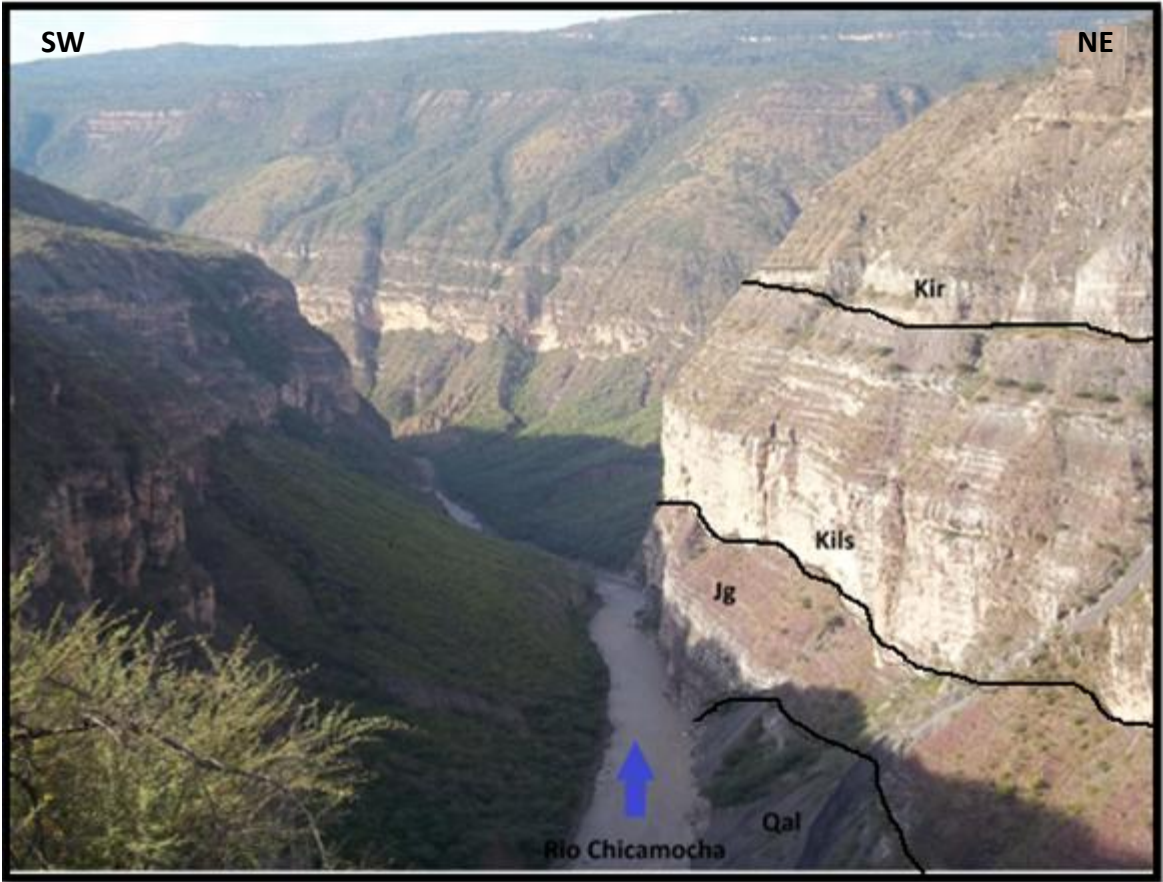
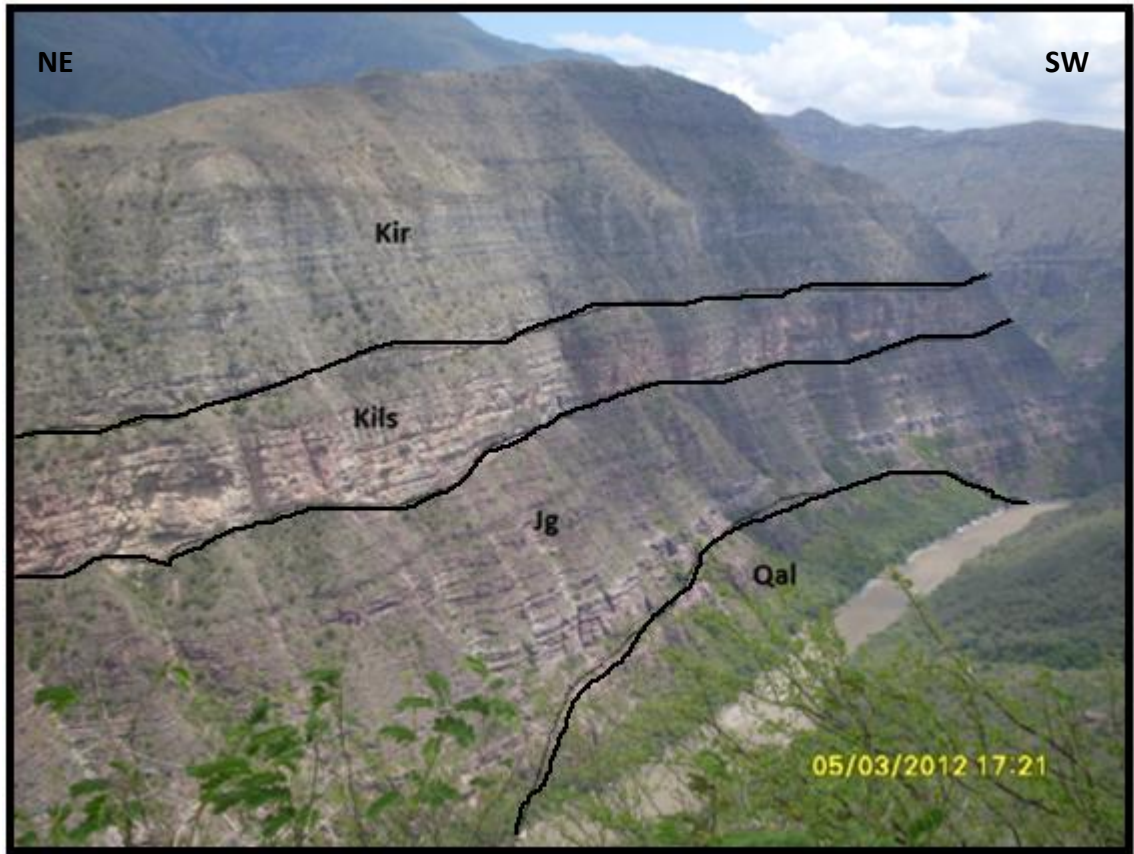


Figura 7. Contacto entre las Formaciones Girón (Jg), Los Santos (Kils) y Rosablanca (Kir) al sur-oeste de la licencia 783-R.



2.2.1.4 Formación Rosablanca (Kir): La Formación se adelgaza considerablemente al este del Macizo de Santander, en donde se observó (Abozaglo y Otero) un espesor de 43 metros, mientras que en la zona de interés es de casi 400 metros. Se dividió en 3 niveles, descritos a continuación:

Nivel I: (25 m de espesor) Compuesto por calizas micríticas de color gris oscuro, de aproximadamente de 0.5 a 1.5 m de espesor, intercaladas en contacto plano-paralelo con lutita color negro, fisil, hacia la base.

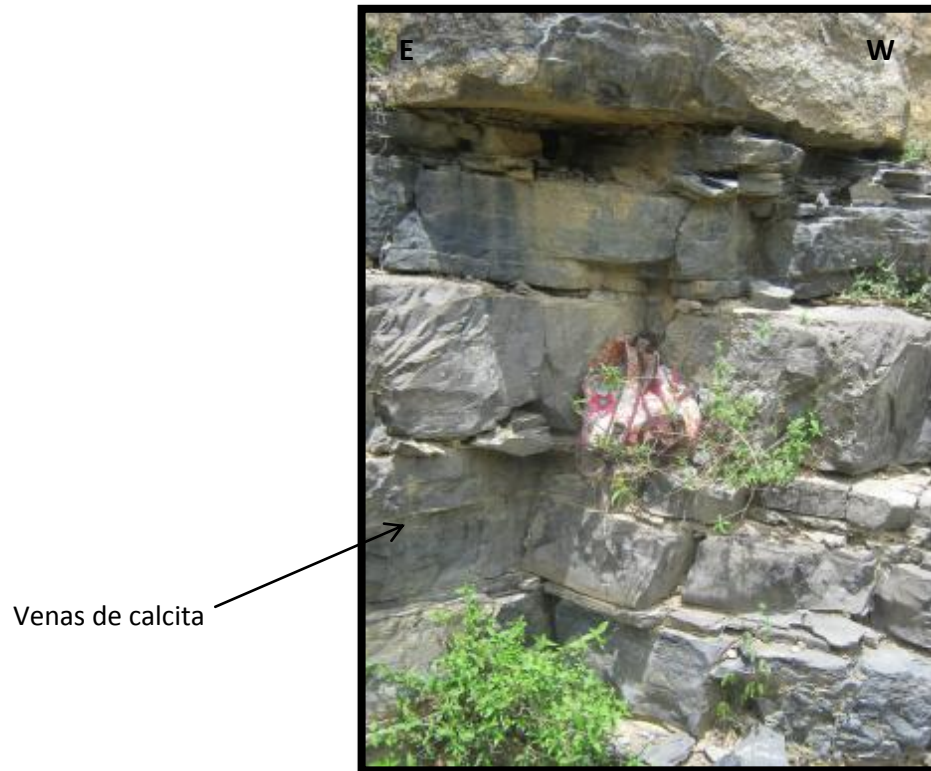
En la licencia FJ4-101 se observa hacia el techo, calizas con cristales de yeso diseminado. Como minerales secundarios se observa gran contenido de calcita la cual se encuentra relleno venas (**figura 8**).

En la licencia 783-R se observan minerales accesorios como calcita y óxido de hierro y venas de calcita rellanando pequeñas fracturas (**figura 9**).

Figura 8. Nivel I. Calizas de la base de la Formación Rosablanca en la licencia FJ4-101.



Figura 9. Nivel I. Sobre la quebrada La Santera en la Licencia 783-R.



Nivel II: (25 m de espesor) Aproximadamente 25 m arriba del contacto entre las formaciones Los Santos y Rosablanca se localiza el nivel yesífero paralelo a la estratificación, con intercalaciones de lutitas calcáreas y calizas masivas. Esta secuencia está ubicada en la parte basal de la Formación Rosablanca en el municipio de Los Santos.

La geología del lugar permite seguir el nivel yesífero de forma continua sobre el Rio Chicamocha y quebrada La Santera para la licencia FJ4-101 y 783-R respectivamente. Sin embargo debido a la paleogeomorfología y ambiente de depositación del lugar, los estratos se adelgazan hacia el este por su forma lenticular.

En la licencia FJ4-101 se encuentran los niveles de yeso de color gris claro (**figura 10**) y de color amarillento cuando esta meteorizado. Se puede observar un adelgazamiento de los estratos, especialmente del yeso, hacia la parte sur-este de la concesión (**Ver anexo B**).

En la licencia 783-R (**figura 11**) se observan venas de yeso blanco fibroso de 4 cm de espesor (**figura 12**). También se observa un adelgazamiento hacia el este de la concesión (**Ver anexo E**).

Figura 10. Nivel yesifero de la Formación Rosablanca en la Licencia FJ4-101.



Figura 11. Nivel yesífero de la Formación Rosablanca en la licencia 783-R.



Figura 12. Venas de yeso blanco en la licencia 783-R.



En inmediaciones de las veredas La Loma y La Vega, cerca al Rio Chicamocha en la margen izquierda de la quebrada Nevadas, aledaña a la licencia FJ4-101, se encuentra la mina la Nacuma (**Figura 13**) explotada por la empresa INGEMINERA LTDA, en la cual se realizó una observación previa con el fin de identificar los niveles de yeso y compararlos con las licencias de exploración adjudicadas a la misma empresa. En dicha observación se identificaron 7 niveles de yeso descritos a continuación:

- I. **MANTO PIZARRA:** Espesor promedio de 1.20 m, está compuesto por dos horizontes, el superior está constituido por capas de yeso intercaladas con caliza y en menor proporción margas con espesores de 0.75 m y el inferior está compuesto por capas de yeso intercaladas con margas de 0.45 m de espesor aproximadamente.

- II. **MANTO LA CHURCA:** Espesor promedio de 1 m, litológicamente heterogéneo conformado por yeso e intercalaciones de caliza de 0.64 m de espesor aproximadamente. Las calizas son de color pardo oscuro y presentan algunas láminas de yeso.

- III. **MANTO LAJEO:** El espesor promedio es de 1.80 m, de gran homogeneidad litológica pues contiene yeso principalmente, con algunas intercalaciones esporádicas de láminas calcáreas, margas de color pardo con espesores de 0.35 m y una capa de caliza de 0.15 m localizada en la parte media del manto.

- IV. **MANTO CHAQUETA:** De 1 m de espesor promedio, conformado por una secuencia predominante de margas de color pardo de 0.67 m de espesor aproximadamente intercaladas con láminas de yeso.

- V. **MANTO LA DURA:** El espesor promedio es de 1.60 m, en el cual 1 m está constituido por láminas de yeso (75%) de color gris con algunas intercalaciones

de material calcáreo (25%) y 0.60 m está conformado por estratos delgados de calizas intercaladas con margas.

VI. MANTO CUERO DE SAPO: Espesor promedio de 1.30 m con alto contenido de capas margosas de 0.30 m de espesor intercaladas con láminas de yeso.

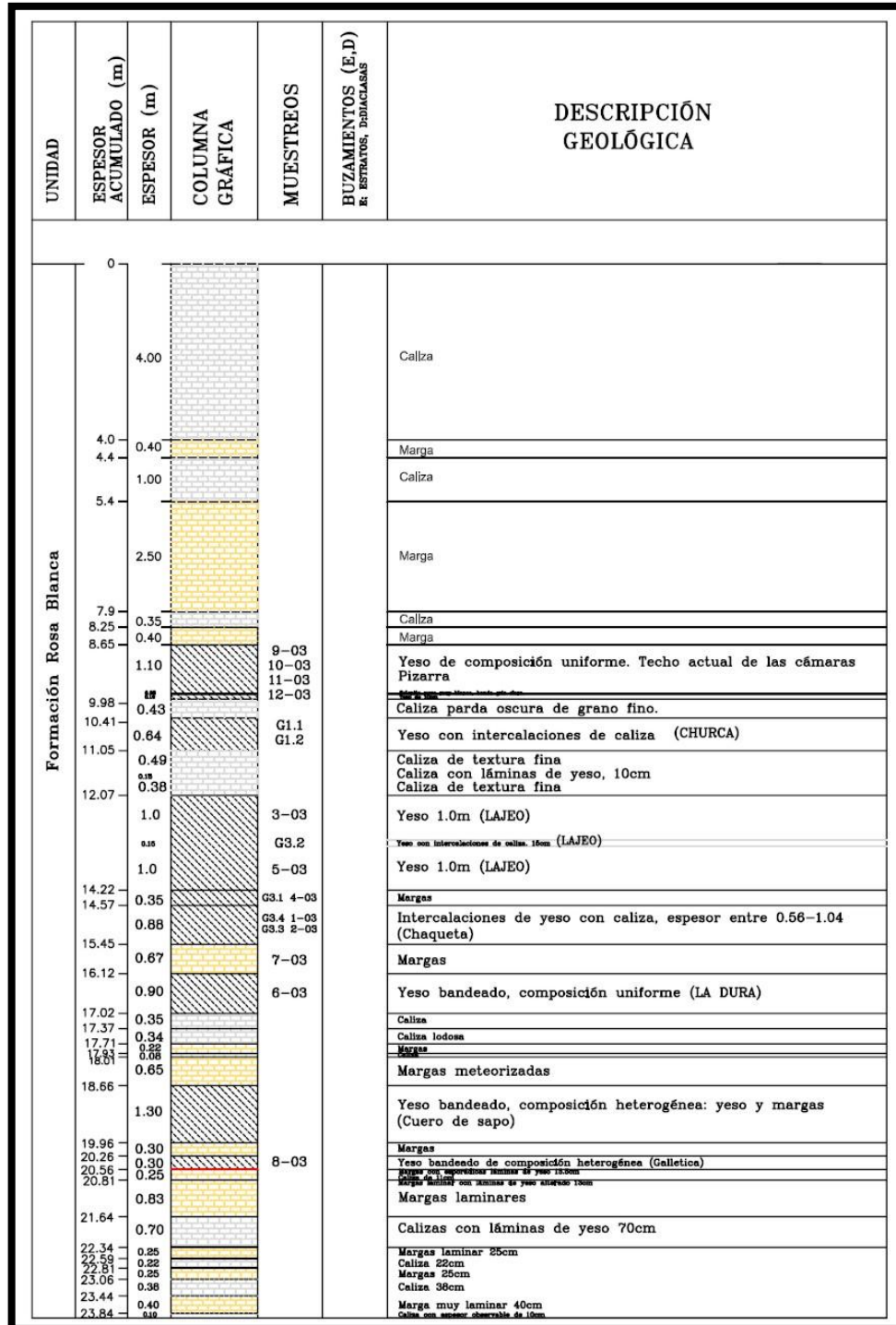
VII. MANTO GALLETICA: Con un espesor aproximado de 0.30 m con heterogeneidad litológica con predominio de margas de estratificación laminar intercaladas con lutitas de estratificación laminar y en mayor proporción láminas de yeso.

Los mantos de yeso que presentan grado de meteorización son los dos inferiores, Cuero de sapo y Galletica.

Figura 13. Entrada túnel 8 de la mina la Nacuma.



Figura 14. Figura representativa de columna litológica generalizada de los mantos de yeso de la mina La Nacuma.



La columna litológica generalizada de los mantos de yeso de la mina la Nacuma, en donde se ilustran los rasgos descritos en los en las líneas anteriores, se muestra en la figura 14.

Nivel III: (300 m de espesor) Compuesto por calizas masivas de color pardo amarillentas, de estratificación plano paralela presentan espesores de 0.5 cm hasta 1.5 m de espesor. Están intercaladas con lodolitas calcáreas y lodo-arenitas de color gris oscura, margas de color pardo debido a las alteraciones.

En la licencia FJ4-101 se observan calizas masivas micríticas y dolomíticas (**figura 15**) altamente fosilíferas en su mayoría bivalvos (*exogyra costata*) y braquiópodos (*composita*). Las calizas están intercaladas con lutitas de color gris oscuro en contacto neto plano paralelo y laminación continua.

En la licencia 783-R se observan las calizas (**figura 16**) en su mayoría micríticas con niveles de bioesparita altamente fosilíferas especialmente gasterópodos (*buccinum*), bivalvos y braquiópodos (*composita*). Estas calizas están intercaladas con lutitas calcáreas que varían de color gris oscuro a amarillo producto de la oxidación, laminación fina y continua. Los contactos son plano paralelos entre las capas calcáreas.

Figura 15. Calizas masivas de color pardo amarillentas en la licencia FJ4-101.



Figura 16. Calizas masivas de la Formación Rosablanca en la licencia 783-R.



2.2.2 Geología estructural. Además de las fallas principales anteriormente mencionadas, se observan fallas locales con poca influencia en los niveles yesíferos en la zona, sin embargo vale la pena describir.

En el área de estudio se pueden identificar estas fallas locales por los cambios bruscos en el buzamiento de las capas, pues generalmente se encuentran orientados en dirección nor-oeste con un buzamiento menor a 8° en sentido sureste.

2.2.2.1 Falla “Chicamocha”: En la licencia FJ4-101, sobre una de las quebradas en donde se levantaron columnas, se observa una diferencia notable en el buzamiento de las capas (**figura 17**). Es una falla normal con una dirección $N50^{\circ}E$ y buzamiento $18NE$. Se observa la continuidad de la falla, atravesando el Rio Chicamocha (**figura 18**).

Figura 17. Cambio brusco en el buzamiento de las capas en las coordenadas $X= 1'238.239$
 $Y=1'100.170$ $Z=669$.

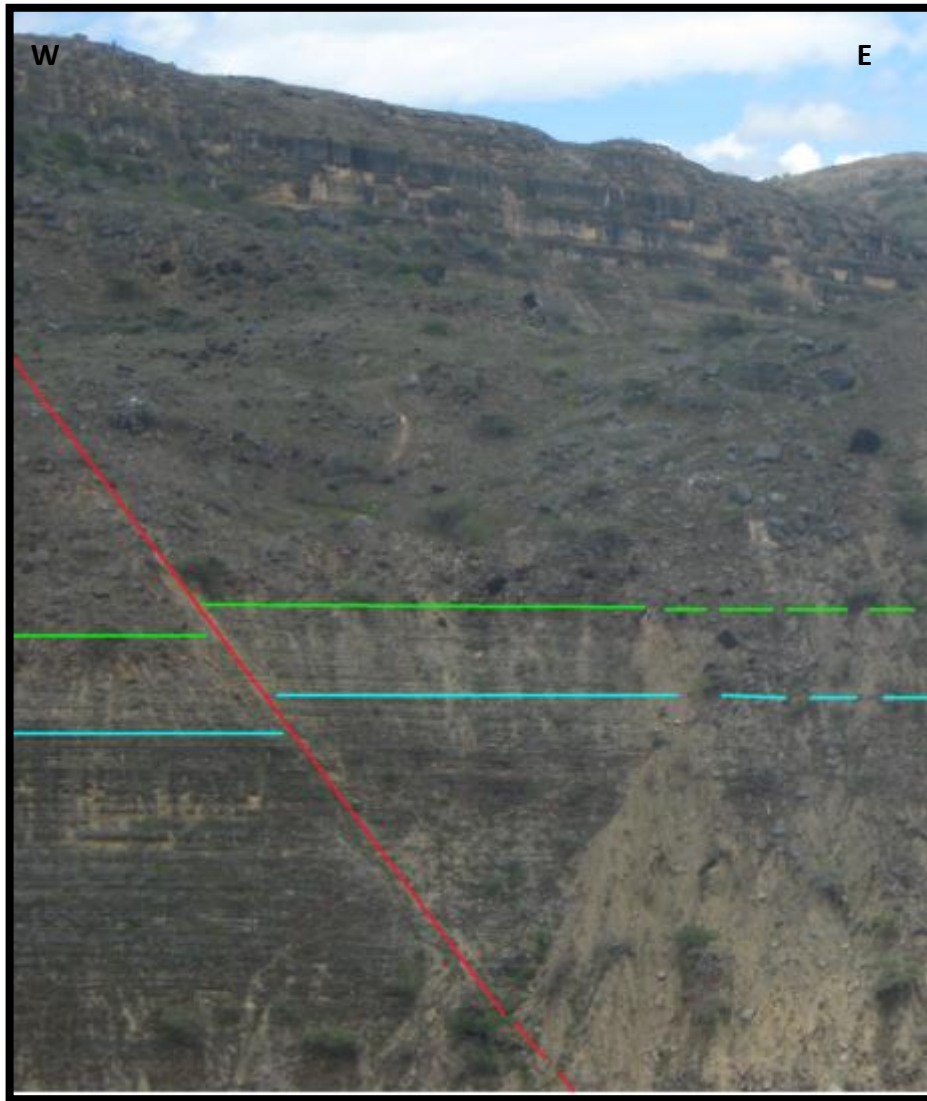


Figura 18. Falla normal “Chicamocha”, sobre el borde occidental del Rio Chicamocha en la licencia FJ4-101.



2.2.2.2 Falla “La Santera”: En la licencia 783-R se encuentra la falla “La Santera”, llamada así en estudios previos, debido a que se aprecia la quebrada La Santera al este. Falla inversa de alto ángulo, con dirección N72E y un buzamiento vertical sur-este (**figura 19**).

Figura 19. Falla inversa “La Santera” ubicada al norte de la quebrada La Santera en la licencia 783-R.



3. EVAPORITAS Y YESO

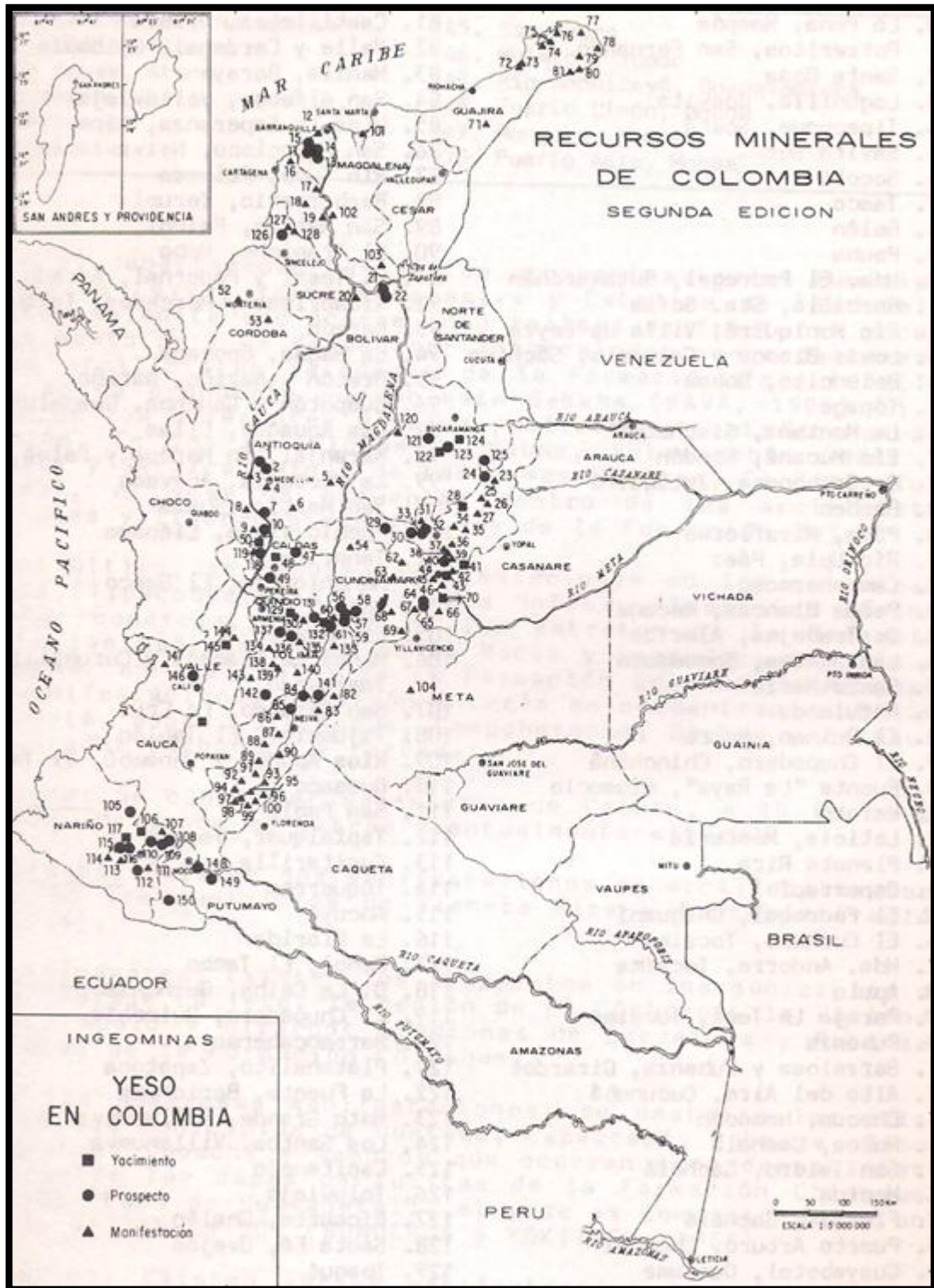
3.1 YESO

El yeso es un mineral compuesto por sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que cristaliza en el sistema monoclinico, las capas paralelas del grupo $(\text{SO}_4)^{2-}$ están fuertemente enlazadas a Ca^{2+} las cuales están separadas por moléculas de H_2O . Estos enlaces son débiles lo cual se ve reflejado en la perfecta exfoliación de las capas de yeso. Cuando el mineral sufre una pérdida de las moléculas H_2O , producto de las altas temperaturas de calcinación al que es sometido, cambia la estructura del mineral y su configuración a la de anhidrita (CaSO_4) y como resultado sufre una disminución del volumen atómico y pérdida de exfoliación perfecta (Galvis, 1987). Su color varía desde blanco, gris e incoloro hasta diversas tonalidades de amarillento a rojo castaño a causa de las impurezas, brillo vítreo a sedoso, habito simple, una densidad aproximada de $2,31 - 2,33 \text{ g/cm}^3$, un peso específico de $22,70 \text{ N/dm}^3$ y en la escala de Mohs tiene una dureza de 2.

Las principales variedades de este mineral son la selenita que se presenta en forma de cristales transparentes o masas cristalinas y *el lapis specularis* que es un tipo de yeso selenítico translucido que se presenta en capas delgadas.

El yeso que se encuentra en el área de estudio es yeso tipo roca (*gypsum rock*) asociado a rocas calcáreas localizado en la base de Formación Rosablanca con un espesor promedio de 12 m donde se observan bancos masivos lenticulares de yeso gris, con espesores que varían desde 30 cm a 1 m intercalado con lutita de color negro, calcárea, caliza micrítica y dolomítica.

Figura 20. Mapa de las manifestaciones de yeso en Colombia. Tomado de Galvis, 1987.



3.2 DEPÓSITOS EVAPORÍTICOS

Los depósitos evaporíticos se forman a partir de la concentración de sales que posteriormente lleva a una saturación de las mismas. Las cuencas sedimentarias favorecen la evaporación de agua en volúmenes reducidos y acompañado de un ambiente árido el agua se evapora aumentando esta concentración, hasta alcanzar en primer lugar la saturación de sulfato de calcio, que es el menos soluble (yeso o anhidrita). En segundo lugar, se produce la saturación de cloruro sódico, precipitándose la halita y por último, se precipitan los cloruros de potasio y magnesio que son los más solubles. Estos minerales forman capas en los depósitos evaporíticos, depositándose el yeso en la parte basal de la cuenca.

3.2.1 Evaporitas marinas. Las evaporitas marinas son depósitos que se forman por la evaporación de aguas marinas y están constituidos principalmente por halita, anhidrita y yeso siendo este último el mineral de interés. Para que se formen este tipo de yacimientos, se requieren ciertas condiciones geológicas y climáticas: cuencas relativamente profundas, de ambiente marino confinado, y sometidas a condiciones climáticas de gran aridez. Se presentan como capas estratificadas dentro de secuencias sedimentarias Cretácicas y Terciarias.

En el mundo los depósitos más importantes son los localizados en Rusia (Solikamsk en los Montes Urales, Soligorsk en Bielorrusia), Canadá (Saskatchewan y New Brunswick) Alemania (Hannover y Stassfurt).

3.3 AMBIENTE DEL DEPÓSITO

Las evaporitas marinas generalmente se forman en áreas de elevadas temperaturas y bajas precipitaciones de agua lluvia, se cree que estas condiciones solo se presentan en climas cálidos. Sin embargo, en regiones como la Antártica y

Ártica también podemos observar estas condiciones pues se han registrado formaciones de yeso y sal (Galvis, 1987).

Las rocas evaporíticas se asocian a dos clases de ambientes: charcas evaporíticas, que son cuencas costeras en donde se deposita agua parcialmente cerrada por barras sedimentarias y se evaporan al llegar al punto de precipitación de sus sales y *Sabkhas* o llanuras supramareales que son áreas de plataforma donde la salmuera se concentra en la zona vadosa. La mayoría de los depósitos evaporíticos corresponden a este último ambiente y se encuentran asociados a arcillas, shales, calizas y areniscas rojizas (Galvis, 1987).

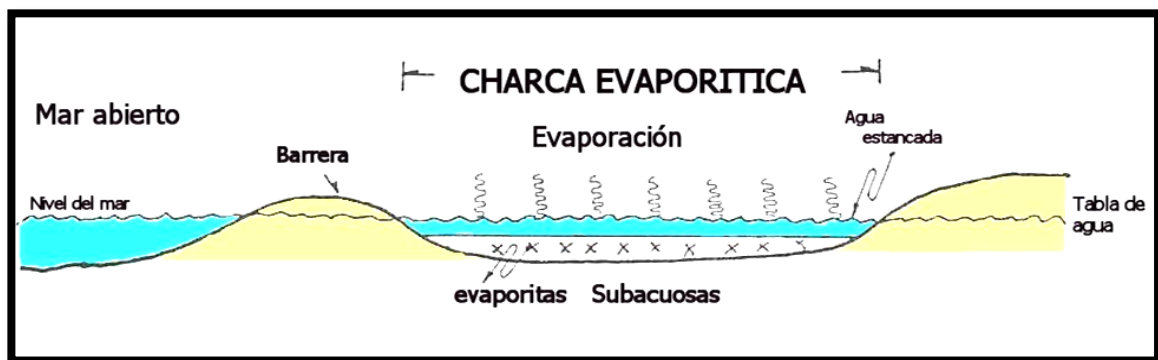
3.3.1 Charcas evaporíticas. Son cuencas en donde se depositan cuerpos de mar que son aislados por movimientos tectónicos o por formación de una barrera sedimentaria o volcánica. Estas cuencas aisladas deben tener una conexión constante con el mar abierto para que sea alimentada o fuentes saladas que por filtración a través de la barrera sedimentaria la alimenten (**figura 21**). Este último método de la alimentación da mayor grado de estabilidad a la salmuera permitiendo condiciones favorables para que permanezca constante durante un periodo de tiempo (Galvis, 1987). Contrario a lo que sucede con la conexión directa con el mar abierto pues está sujeta a procesos de erosión, sedimentación o actividades tectónicas o volcánicas que pueden modificar la configuración y cambiar notablemente las condiciones de la salmuera. En la cuenca evaporítica, el aporte de sedimentos debe ser muy bajo para que se originen las evaporitas y debe presentar subsidencia para que se garantice su existencia por un tiempo geológico determinado.

Galvis (1987) propone dos modelos adicionales para la formación de cuencas evaporíticas a partir de un cuerpo aislado: El primer modelo comprende un mar somero y grande, con una comunicación pobre con el mar abierto. El segundo

modelo propone una suposición de las capas superficiales de agua son menos salinas, que las capas de agua más profundas.

Ninguno de estos dos modelos fue aceptado totalmente, pero gracias a ellos se concluye que las charcas o cuencas evaporíticas fueron probablemente rellenas con salmueras ya concentradas debido a las grandes acumulaciones de evaporitas que se encuentran actualmente.

Figura 21. Charca costera evaporítica. Tomado de Galvis, 1987.

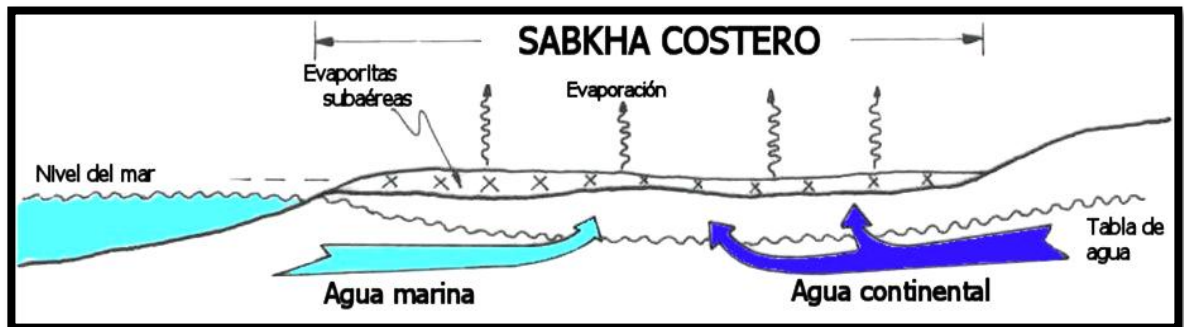


3.3.2 Sabkhas o Llanuras supramareales. Son áreas de plataforma relacionadas a la zona vadosa y parte superior del nivel freático. En este ambiente se encuentran cristales de yeso que crecen en un ambiente sub-aéreo con la participación del agua marina y el agua continental (**figura 22**). Los cristales de yeso microscópico se empiezan a formar en la zona intermareal, en donde la tasa de sedimentación es baja. La evaporación alcanza su máximo valor en el extremo continental en la zona supramareal y desciende gradualmente en dirección del mar, hasta llegar a un valor mínimo en la zona intermareal baja, (Forero y Sarmiento, en Galvis 1987).

En el área de estudio la ausencia total de fauna fósil en la base de la Formación Rosablanca, sugieren condiciones de sedimentación en un medio de alta salinidad

de clima cálido y seco, con características similares a los de un ambiente tipo "sabkha" moderno.

Figura 22. Sabkha costero. Tomado de Galvis, 1987.



3.4 TIPOS DE DEPÓSITO

Los depósitos evaporíticos marinos hacen referencia a los minerales formados a partir de la evaporación del agua marina en sedimentos de plataforma continental constituidos por cloruro de sodio (sal), potasio (silvita) y los minerales de sulfato de sodio (yeso y anhidrita).

Los depósitos de minerales de sulfato de calcio se clasifican teniendo en cuenta el origen y modo de presentación (**tabla 3**).

3.4.1 Interestratificados. En este depósito el yeso se halla intercalado con capas de shale, areniscas y calizas las cuales fueron depositadas simultáneamente en mares o lagos. Es característica la escasez o ausencia de evidencia fósil en las capas de yeso, pues el grado de concentración fue tal, que no hubo un ambiente favorable para la vida (Stones, 1967 en Galvis, 1987).

3.4.2 Eflorescentes. También llamados depósitos superficiales, formados por evaporación de agua que ha percolado a través de depósitos de yeso masivo preexistente. Estos depósitos son generalmente blandos y las venas de yeso tienen un aspecto satinado (selenita), se presentan rellenando fisuras y grietas localizadas en los planos de estratificación.

3.4.3 Cristales aislados, escamas y venillas. Están localizados oblicuamente a la estratificación de estratos de shale o arcilla y se originan por la reacción química de H_2SO_4 que proviene de la descomposición de pequeñas cantidades de pirita, con el carbonato de calcio que da como resultado la formación de sulfato de calcio. Este depósito se asocia a zonas de falla.

3.4.4 Venillas en enrejado. Son cristales microscópicos, diseminados en rocas volcánicas o piroclásticas y rocas metamórficas de bajo grado. Se forma por la reacción química entre el azufre producido por la actividad volcánica y el CO_2 liberado en los procesos metamórficos.

Estos depósitos son los más ricos en potasio y los más simples para explotar. La fuente principal de los compuestos de potasio está relacionada con los depósitos cristalinos de origen marino que contienen silvita y polihalita.

En el área de estudio el tipo de yeso que se observa es estratiforme, debido a que el origen de formación es producto de la evaporación del agua marina en llanuras supramareales.

Tabla 3. Tipos de depósito de yeso. Tomado de publicaciones especiales del Ingeominas, 1987.

MINERAL	MODO PRESENTACIÓN	ORIGEN DE FORMACIÓN
YESO	ESTRATIFORME	Evaporación del agua marina, concentración y precipitación consecuentes.
	EFLORESCENTES	Evaporación y precipitación de soluciones enriquecidas en SO ₄ al pasar por yeso preexistente
	CRISTALES AISLADOS	Por reacción química del H ₂ SO ₄ con secuencias calcáreas.
	VENILLAS	Por reacción química del S y CO ₂ (liberados en los procesos volcánicos y metamórficos) con material calcáreo.

3.5 GEOQUÍMICA

Las salmueras son el principal formador del yeso y sus minerales asociados. Los factores químicos presentes en ellas que se asocian a la formación de estos minerales son: el agua, la temperatura y la presión.

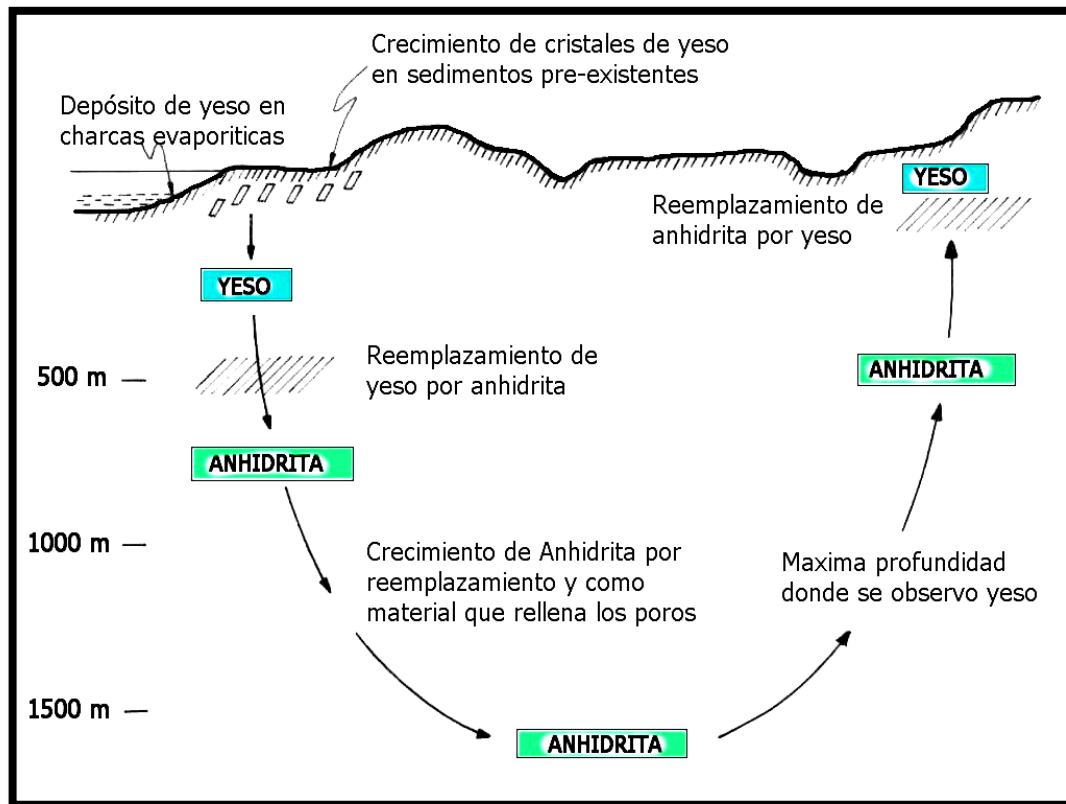
El contenido de sales en los mares establece la naturaleza de precipitación de las mismas a partir del agua de mar. El yeso precipita antes que la halita y la polihalita, porque es menos soluble que estas sales. Estos minerales se presentan constituyendo capas dentro de las formaciones evaporíticas: con yeso en las capas basales, halita en las intermedias, y sales potásicas y magnésicas en las más altas. La secuencia de precipitación normal sería: yeso, anhidrita, halita, sales de potasio y magnesio. La variación en los primeros minerales formados en la secuencia obedecen a cambios en la temperatura; el yeso precipitaría a una temperatura inferior a 42° C y la anhidrita se formaría a temperaturas superiores a este valor (Posnjak, 1938 en Galvis, 1987). Con base en esto, se puede concluir que la anhidrita nunca se forma como mineral primario en las salmueras en proceso de evaporación, ni en condiciones de equilibrio del sistema. El yeso

precipita aun en condiciones extremas de temperatura y concentración de la salmuera debido a que su precipitación es meta-estable, pero una vez formado puede ser reemplazado lentamente por anhidrita. Esta reacción de reemplazamiento es relativamente rápida en presencia de agua y se presenta en los sedimentos modernos y ocurre dentro de los primeros metros de enterramiento (300-600 m), dependiendo de la salinidad y el gradiente geotérmico (**figura 23**).

La transición de anhidrita a yeso ocurre a una profundidad más somera que la reacción inversa, debido a la existencia de los niveles superficiales de aguas subterráneas menos salinas y a la lentitud de la reacción de reemplazamiento, a causa de la densidad adquirida por la anhidrita en profundidad, (Murray 1964, en Galvis 1987).

El yeso puro contiene 20.9% de agua combinada, 46.6% de trióxido de azufre (SO_3) y 32.5% de Cal (CaO) y es muy raro de encontrar en la naturaleza, la mayoría del yeso comercial tienen del 85% al 95% de pureza. El yeso es soluble en ácido sulfúrico y es ligeramente soluble en agua.

Figura 23. Diagrama esquemático del ciclo diagenético del sistema Yeso –Anhidrita – yeso.
 Tomado de Murray 1964, en Galvis 1987.



3.6 VARIEDADES DE YESO

El yeso en la cordillera Oriental se presenta en cuatro tipos diferentes:

3.6.1 Yeso masivo. También llamado yeso roca, es explotado en el área de trabajo. Se encuentra en rocas sedimentarias inter-estratificadas con *shale* y caliza, está constituida por cristales diminutos que le atribuyen a la roca una textura opaca, de color gris claro y gris oscuro cuando no ha sido sometido a los procesos erosivos del ambiente y de color amarillo terroso cuando esta meteorizado que es el que principalmente se observa en la zona.

Este tipo de yeso es el de mayor interés económico, debido a que presenta una dureza mayor que las otras variedades. Los niveles de yeso se observan en la minas “El Carrancho”, “La Caldera”, “El Toro”, “La Nacuma” y “El Diviso” ubicadas al norte del cañón de los ríos Chicamocha y Sogamoso y al sur del Chicamocha en los municipios de Zapatoca y Villanueva.

3.6.2 Alabastro. Variedad de yeso fino-granular, puro, de color blanco y compacto. Se utiliza principalmente en esculturas por su alta pureza. En España es común encontrar este tipo de yeso, es de tipo nodular y se dispone en capas de gran continuidad lateral de hasta 1 m de espesor (Rodríguez, 1994).

3.6.3 Selenita. Este tipo de yeso se presenta en láminas planas, transparente, maclado y se encuentra asociado a las arcillas. La forma de extracción era manual y poco rentable, separando las arcillas de las láminas de yeso. En Colombia se observa este tipo de yeso en las Formaciones La Paja, Villa de Leyva y Los Santos (Galvis, 1987).

3.6.4 Yeso fibroso. Esta variedad es la más fina y fibrosa de los tipos de yeso, textura sedosa. Las fibras se encuentran perpendiculares a las diaclasas en las cuales se forma, de color blanco o rosado claro. En Colombia se presenta en las Formaciones Rosablanca y La Paja, ocupan unos pocos centímetros de espesor.

3.7 USO DEL YESO

Las propiedades tanto físicas como químicas del yeso hacen del mineral, uno de los más utilizados en el mundo, y por consiguiente con muchas aplicaciones.

En materia de construcción debido a las propiedades bioclimáticas, de aislamiento y resistencia al fuego es excelente en la fabricación de hormigones de yeso, construcción de paredes, para aislamiento térmico y acústico de las paredes.

En la agricultura el yeso juega un papel importante para mejorar las tierras de cultivo como abono. A pesar de su poca solubilidad en el agua, este reacciona a mediano plazo en el suelo y llega a constituir una fuente de Ca y S para los cultivos.

En la medicina es muy usado para elaborar vendas de yeso, en la fabricación de moldes quirúrgicos y odontológicos por su dureza que aumenta al ser mezclado con alumbre y sometido a la acción de calor.

Otros usos importantes del yeso son en la industria química, se utiliza para producir azufre, dióxido de azufre, ácido sulfúrico y sulfato de amonio el cual sirve como agente de secado para gases y químicos.

4. METODO DE TRABAJO

El trabajo inicio en campo con el recorrido del área de estudio y minas aledañas al lugar. Una vez hecho esto, se realizó el reconocimiento geológico a partir de las minas existentes, principalmente en la mina La Nacuma, donde se analizó detalladamente los mantos de yeso con el fin de identificarlos en las licencias de exploración.

Se procedió a realizar la cartografía geológica a escala 1:5000 y el levantamiento de columnas estratigráficas detalladas a escala 1:400, hacia la base de la Formación Rosablanca aproximadamente a 25 m del contacto con la Formación Los Santos. Se tomaron muestras de posible yeso en los afloramientos que se encuentran marcados en los mapas geológicos respectivos de cada concesión. Estas columnas estratigráficas fueron levantadas en las quebradas de las licencias de exploración puesto que allí es donde la roca esta menos expuesta a los procesos erosivos.

Posteriormente, se hizo una selección de las muestras recolectadas en campo, que corresponden a los mantos de yeso anteriormente mencionados, para realizar en el laboratorio químico de consultas industriales de la Universidad Industrial de Santander los respectivos análisis y por medio del método gravimétrico determinar el contenido de SO_3 (Pedraza y Camargo, 1989).

El procedimiento utilizado para la determinación del contenido de SO_3 fue el sugerido por Pedraza y Camargo (1989) que se describe a continuación:

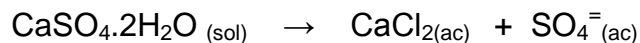
4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SO_3 EN UN YESO

4.1.1 Preparación de las muestras. La posible muestra de yeso se llevó al laboratorio para ser triturada y pulverizada en un mortero, posteriormente se pasaron aproximadamente 100 gramos por un tamiz N° 200, para cuartear y tomar una muestra representantita y proporcional de la muestra original.

De esos 100 gramos (g), se tomó entre 0.4 y 0.7 g para pasarlos a un vaso de precipitado en el que se agregaron 50 ml de HCl (1:5) el cual se llevó a ebullición, se agregan 100 ml de agua caliente y se continuo calentado hasta 5 minutos.

Pasados los 5 minutos, se filtró la muestra en papel franja negra y se lavó 5 veces con agua caliente recogiendo el filtrado y las aguas del lavado en el mismo vaso.

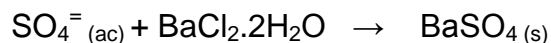
La ecuación que da lugar para que el filtrado sea total es:



4.1.2 Precipitación. El filtrado obtenido anteriormente se calentó a ebullición, posteriormente se agregaron lentamente 20 ml de solución de Cloruro de Bario el cual se agita y se deja en reposo aproximadamente 2 horas.

Para comprobar que la precipitación se completó, luego de pasadas las 2 horas se agregó una gota de Cloruro de Bario en las paredes del vaso.

La reacción que hace referencia a la precipitación del Sulfato de Bario debido a las condiciones acidas que se generan es la siguiente:



4.1.3 Filtración. Después de reposado se filtró nuevamente la muestra pero en papel franja azul, se lavó con agua destilada hasta que se halló una ausencia de

Cloruros. Para comprobar esta ausencia de cloruros se agregaron 2 gotas de Nitrato de Plata (AgNO_3).

4.1.4 Calcinación. Una vez, se comprobó la ausencia de Cloruros, se colocó la muestra en un crisol y se calcino en un mufla a 900°C aproximadamente media hora. Después de enfriada la muestra en un desecador, se pesó.

Posteriormente, se colocó en un calentador eléctrico junto con un papel de crisol, hasta que este último se carbonizo y luego se calcino en una mufla nuevamente a 900°C durante aproximadamente 1 hora. Finalmente se dejó enfriar en un desecador y se volvió a pesar.

El peso final del precipitado calcinado, el cual se necesita para determinar el contenido de SO_3 se muestra en el siguiente ítem.

4.1.5 Cálculos

$$\% \text{SO}_3 = \frac{P \times F \times 100}{W}$$

P = Peso del precipitado calcinado

F = Factor gravimétrico del BaSO_4 (este factor se calcula del cociente de los pesos moleculares del SO_3 sobre el BaSO_4).

W = Peso de la muestra.

Finalmente se recopiló la información de campo y se realizaron las respectivas columnas estratigráficas por medio del software AutoCAD civil 3d, para posteriormente correlacionarlas con las minas aledañas al lugar, especialmente con la mina La Nacuma y así encontrar los niveles yesíferos de la base de la Formación Rosablanca.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

En la licencia FJ4-101 la muestra MQa de 70 cm de espesor (**figura 24**) dio como resultado un porcentaje de $SO_3 = 30,2\%$ lo que indica la presencia de yeso en la roca. En la muestra M13-12 de 1.30 metros de espesor se observa (**figura 25**) el alto grado de alteración de la roca, aunque se logran ver las capas de yeso el resultado de los análisis fue $SO_3 = 3,45\%$. Finalmente la muestra FM3 (**figura 26**) de 80cm de espesor dio un porcentaje de $SO_3 = 4,82\%$.

Los resultados arrojaron valores positivos considerando el grado de meteorización de las rocas.

En estudios previamente realizados en la licencia 783-R se tomaron algunas muestras con características similares a las explotadas en las minas aledañas al lugar, en donde se observa el yeso de color gris oscuro a negro con láminas de yeso fibroso de 1 a 6 mm de espesor (**figura 27**) el cual corresponde a los niveles inferiores de la secuencia yesifera descrita en la figura 16. Al analizar las muestras, los resultados de SO_3 fueron de 32.58%, favorables teniendo en cuenta que las minas cercanas no explotan los niveles inferiores por el alto grado de meteorización.

La mayoría de muestras recolectadas son de color gris blanquecino a crema, llamado por los mineros “yeso quemado”. Estas muestras al analizarlas dan como resultado, contenidos de SO_3 del orden de 0.1 a 2.40 %, porcentajes muy bajos debido a la alteración de muestra (**figura 28**).

Figura 24. Aspecto, color y textura de la muestra con 30.2% de SO_3 con coordenadas X= 1'238.757, Y= 1'099.847, Z= 643m $\text{E}=15\text{m}$.



Figura 25. Aspecto, color y textura de la muestra con 3.45% de SO_3 con coordenadas X= 1'238.734, Y= 1'099.865, Z= 670m $\text{E}=10\text{m}$.



Figura 26. Aspecto, color y textura de la muestra con 4.82% de SO_3 con coordenadas $X=1'238.734$, $Y=1'099.889$, $Z=650\text{m}$ $\text{E}=8\text{m}$

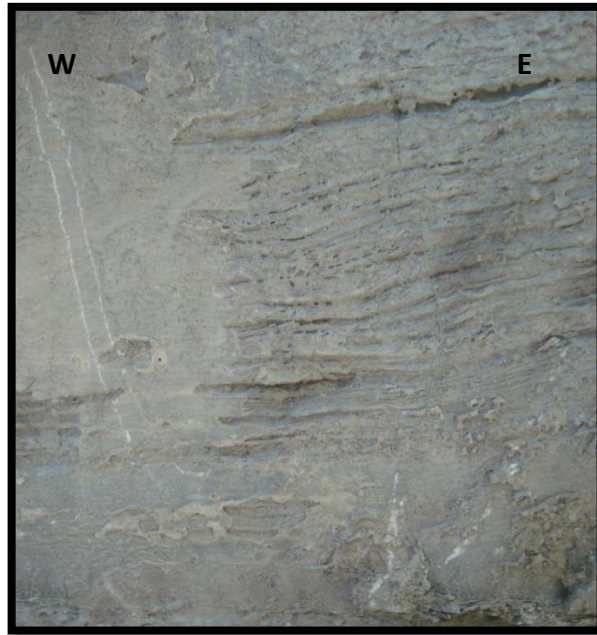


Figura 27. Aspecto, color y textura de la muestra con 32.58% de SO_3 con coordenadas $X=1'244.687$, $Y=1'099.157$, $Z=733\text{m}$ $\text{E}=10\text{m}$.



Figura 28. Aspecto, color y textura de la muestra con 0.28% de SO₃ con coordenadas X= 1'244.684, Y= 1'099.550, Z= 736m £=12m.



Los mineros que laboran en las minas cercanas con base a su experiencia señalan que los mantos de yeso en sus primeros metros (hasta 10 m) se encuentran en ese estado.

En general en la zona de estudio se presentan 7 niveles yesíferos los cuales pueden ser comparados con los estudiados realizados previamente en la mina La Nacuma. Los mantos de yeso se encuentran en forma plano-paralela y lenticular con contactos netos intercalados con lutitas y calizas.

A continuación se relacionan en la tabla 4 y 5, los porcentajes de SO₃ de las muestras analizadas de la licencias de exploración.

En el anexo B y E se localizan las muestras mostrada en las tablas de las licencias FJ4-101 y 783-R, respectivamente.

Tabla 4. Porcentaje de SO₃ de las muestras de la licencia FJ4-101.

Nº muestra	% SO₃
FM1	0,7
FM2	1,06
FM3	4,82
FM4	1,39
FM5	2,35
MQA	30,2
M13-12	3,46
M13-13	0,19
M13-14	3,36

Tabla 5. Porcentaje de SO₃ de las muestras de la licencia 783-R.

Licencia 783-R	
Nº muestra	% SO₃
J1-M1	32,58
M9	0,28
M11	3,78
CG-3	3,6
TG-8	13,2
TL-6	2
3	36,1

Los porcentajes de SO_3 oscilan entre 0 y 13 %, a pesar del bajo porcentaje de las muestras, pues no son valores representativos para una muestra de yeso, son normales para muestras de afloramiento o trinchera con profundidades máximas de 2 m; ya que son afectados por procesos superficiales de alteración removiendo el SO_3 por disolución. Este proceso es observado en las muestras de frente de explotación, si son expuestas a la intemperie por periodos cortos, superficialmente se torna color crema a blanquecino y presenta una alta efervescencia, aspectos normales en el yeso que con el tiempo de exposición se acentúan.

Sin embargo se logró tomar una muestra en el zanjón cerca al límite norte de la concesión FJ4-101, aledaña a la mina la Nacuma y otra entre las quebradas La Chivatera y La Santera en la concesión 783-R, que arrojaron un porcentaje de 30.2 y 36.1 de SO_3 respectivamente; esto se logró debido a que esta muestra se pudo tomar a una profundidad aproximada de 8 m.

Es necesaria una siguiente fase de exploración donde se hagan galerías de exploración que puedan determinar a qué profundidad se encuentra la muestra fresca y de esta forma correlacionar con más exactitud los mantos de yeso encontrados en las licencias con los de la mina La Nacuma.

6. DISCUSION DE RESULTADOS

Para determinar los mantos de yeso de la zona de estudio, se realizó la correlación estratigráfica de las columnas, que fueron levantadas en estudios previos en los frentes actuales de explotación en las minas: “La Nacuma”, “La Caldera”, “El Diviso”, “Zapatoca” y “El Carrancho” (**figura 29-33**), en donde se observa con detalle los espesores y la litología.

Para la correlación estratigráfica de estas columnas se utilizó el manto de yeso y la caliza micritica pues se observa la continuidad a lo largo de las minas (líneas punteadas de color rojo). Se puede observar que los mantos presentan variaciones que oscilan entre 40 cm y 1 m en su espesor, son planoparalelos y están intercalados con lutitas negras, calizas micritas gris oscuras y areniscas en menor proporción (**figura 34**).

6.1 LICENCIA DE EXPLORACIÓN FJ4-101

Las columnas estratigráficas, se levantaron en las quebradas de la licencia, pues es allí donde las rocas están menos meteorizadas. En las figuras 35 a la 38 se observan las columnas detallando su espesor y litología.

Al correlacionar las columnas se observó una tendencia de adelgazamiento hacia el sur-este. Se evidencia una relación yeso / estéril mayor a medida que los mantos de yeso se adelgazan (**figura 39**), lo cual se ve reflejado en las reservas probables del área de interés. En todas las quebradas no fue posible levantar columnas estratigráficas y en las quebradas en donde se levantaron hace falta registro, principalmente de los últimos mantos de yeso, pues no fue posible levantarlos debido a la meteorización del lugar.

Se logran identificar 5 de los 7 mantos de yeso observados en la mina La Nacuma. Los dos mantos que no fueron identificados, hacen referencia a Cuero de sapo y Galletica, respectivamente. Probablemente se deba al alto grado de meteorización de los mismos y por consiguiente no fue posible hallarlos en la zona de estudio.

6.2 LICENCIA DE EXPLORACION 783-R

Las columnas estratigráficas se levantaron en las trincheras hechas en estudios anteriores. En las figuras 40 a la 42 se observan las columnas detallando su espesor y litología.

Al correlacionar las columnas se observó una tendencia de adelgazamiento hacia el este (**figura 43**). El yeso que se observa en esta zona está alterado, es de color gris blanquecino y crema, llamado popularmente “quemado”. Se logran identificar 5 de los 7 mantos de yeso observados en la mina La Nacuma pero no se conserva el espesor y la relación yeso / estéril se hace más evidente en esta zona.

La topografía y el difícil acceso a la zona impidieron levantar columnas estratigráficas de mayor espesor e identificar otros posibles mantos de yeso.

Figura 29. Columna estratigráfica de la mina La Nacuma.

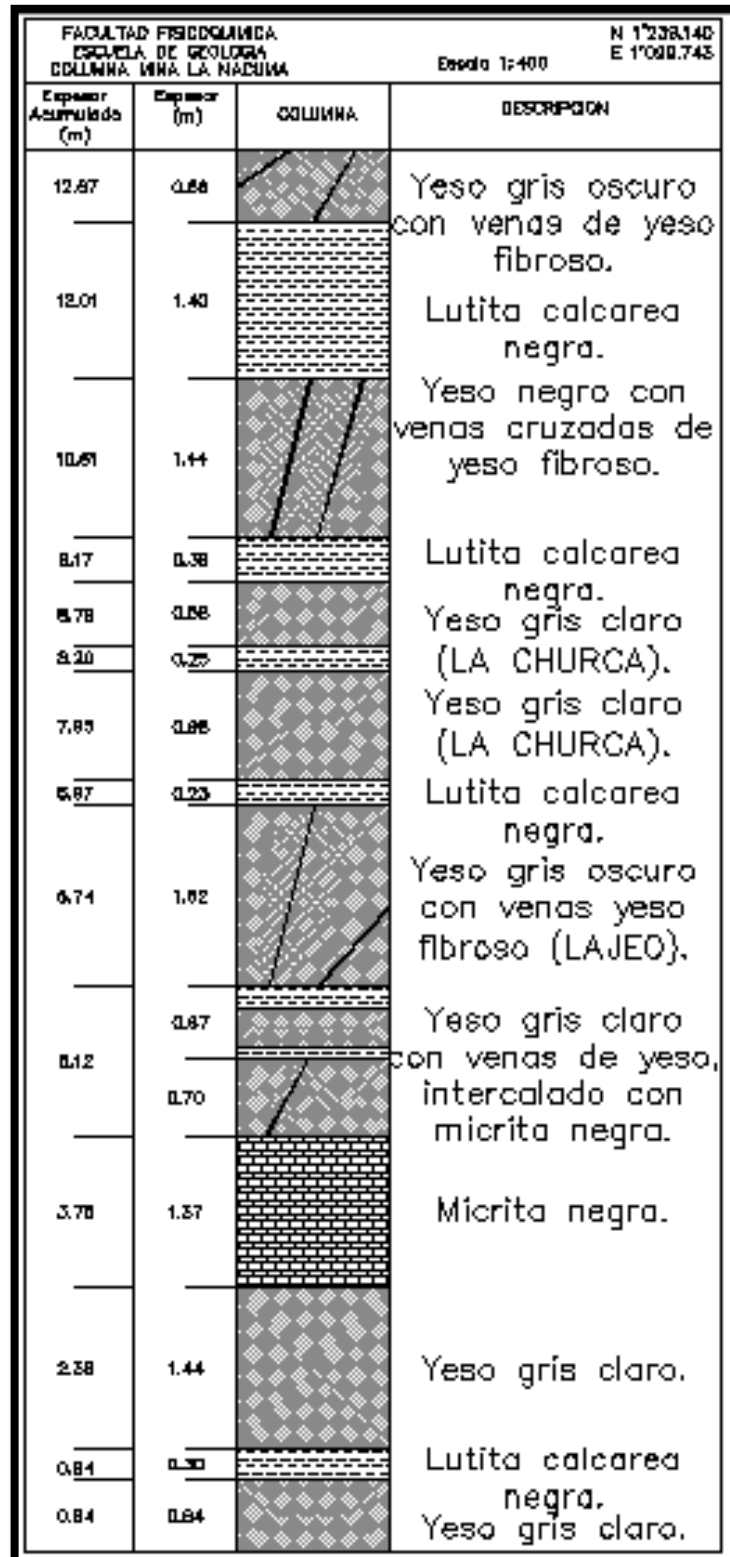


Figura 30. Columna estratigráfica de la mina La Caldera.

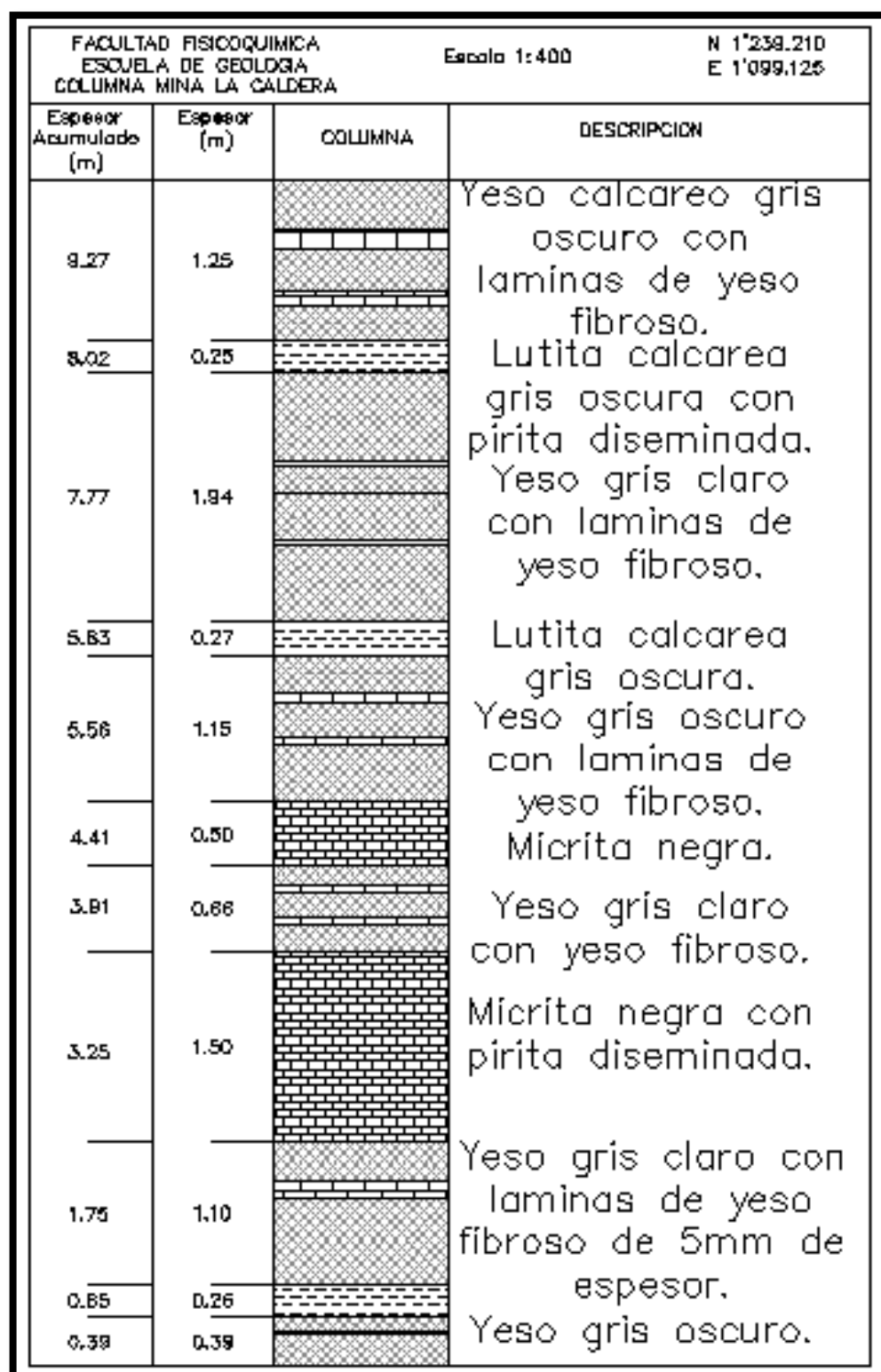


Figura 31. Columna estratigráfica de la mina El Diviso.

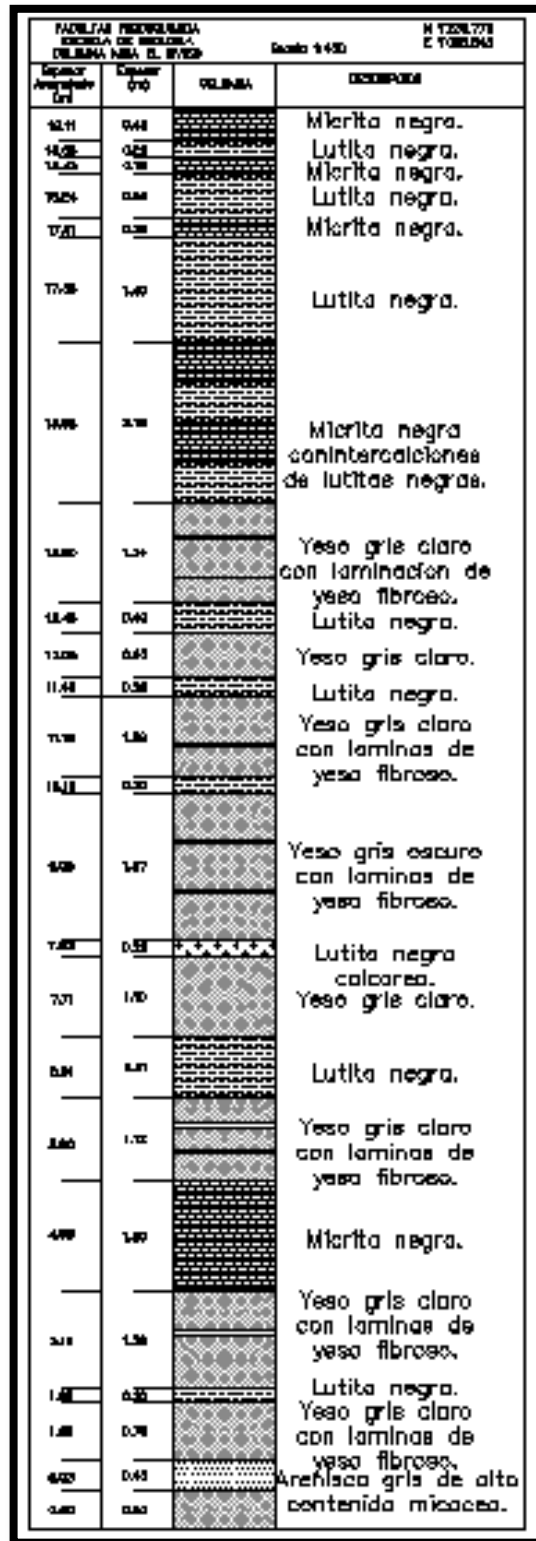


Figura 32. Columna estratigráfica de la mina Zapatoca.

FACULTAD FÍSICOQUÍMICA ESCUELA DE GEOLOGÍA COLUMNA MINA ZAPATOCA		Escola 1:400	N 1°241.185 E 1°098.795
Espesor Acumulado (m)	Espesor (m)	COLUMNA	DESCRIPCION
10.04	0.40		Mierita negra en capas gruesas, intercaladas con lodalitas calcáreas. Contacto suavemente onduloso.
9.64	0.55		Mierita yesifera pardo amarillenta.
9.09	0.30		Mierita gris oscura.
8.79	0.80		Yeso masivo gris claro con mierita.
7.99	0.40		Lodolita gris clara con laminae de yeso fibroso.
7.49	0.45		Yeso masivo gris claro.
7.04	0.20		Mierita negra con laminacion planoparalela.
6.84	0.88		Yeso masivo gris claro.
5.96	0.30		Mierita negra con laminacion planoparalela.
5.56	1.44		Yeso masivo gris claro con laminacion ondulosa de yeso fibroso.
4.12	0.20		Mierita negra con laminacion suavemente ondulosa.
3.92	0.40		Yeso masivo gris claro con mierita.
3.52	0.35		Mierita gris oscura.
3.17	0.62		Yeso masivo gris claro.
2.55	0.94		Blamierita gris oscura con aditos pellets.
1.61	0.80		Yeso masivo, gris claro.
0.81	0.25		Mierita gris oscura.
0.55	0.55		Yeso calcáreo, gris claro.

Figura 33. Columna estratigráfica de la mina El Carrancho.

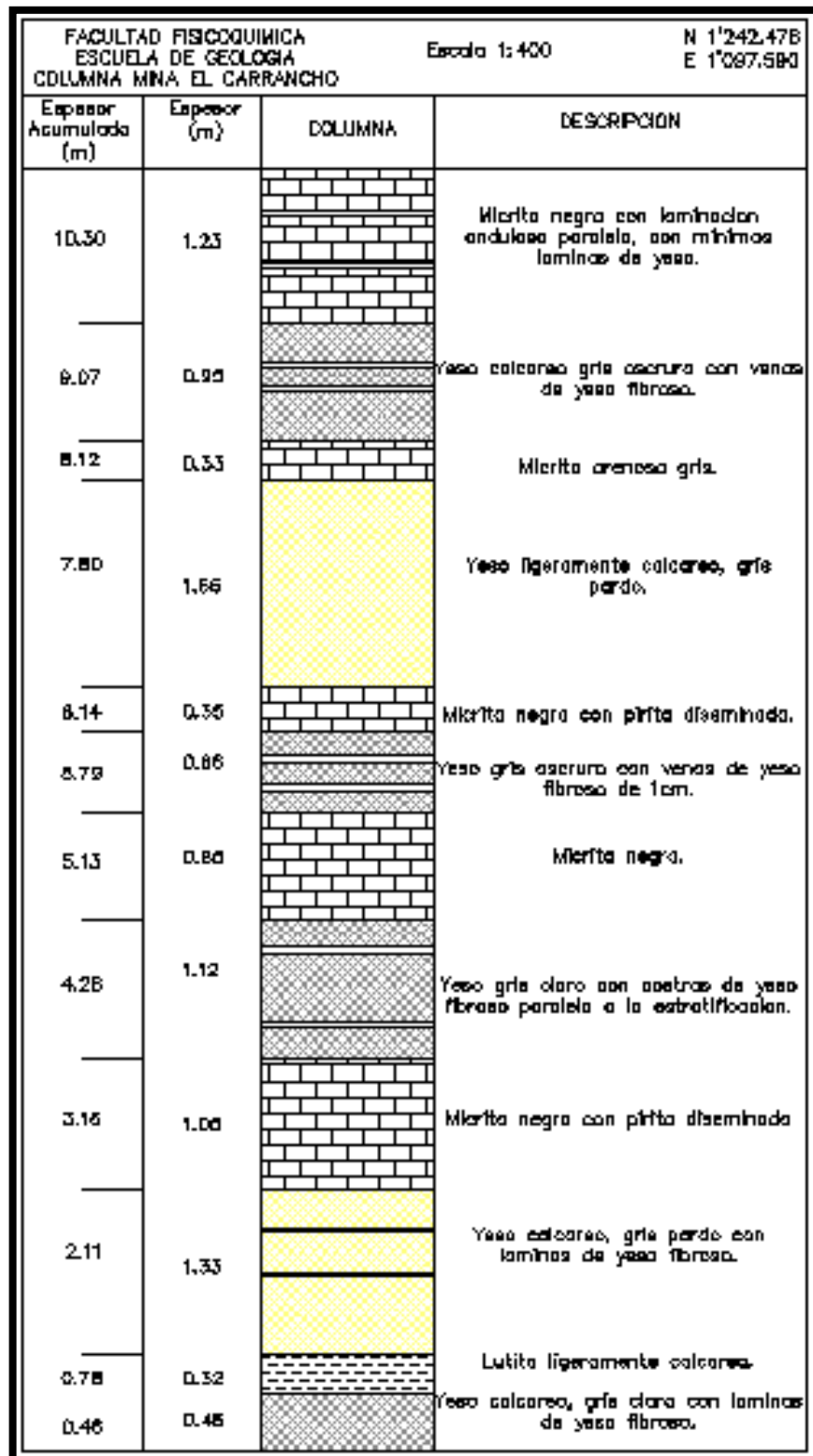


Figura 34. Correlación de las columnas estratigráficas levantadas en las minas aledañas.

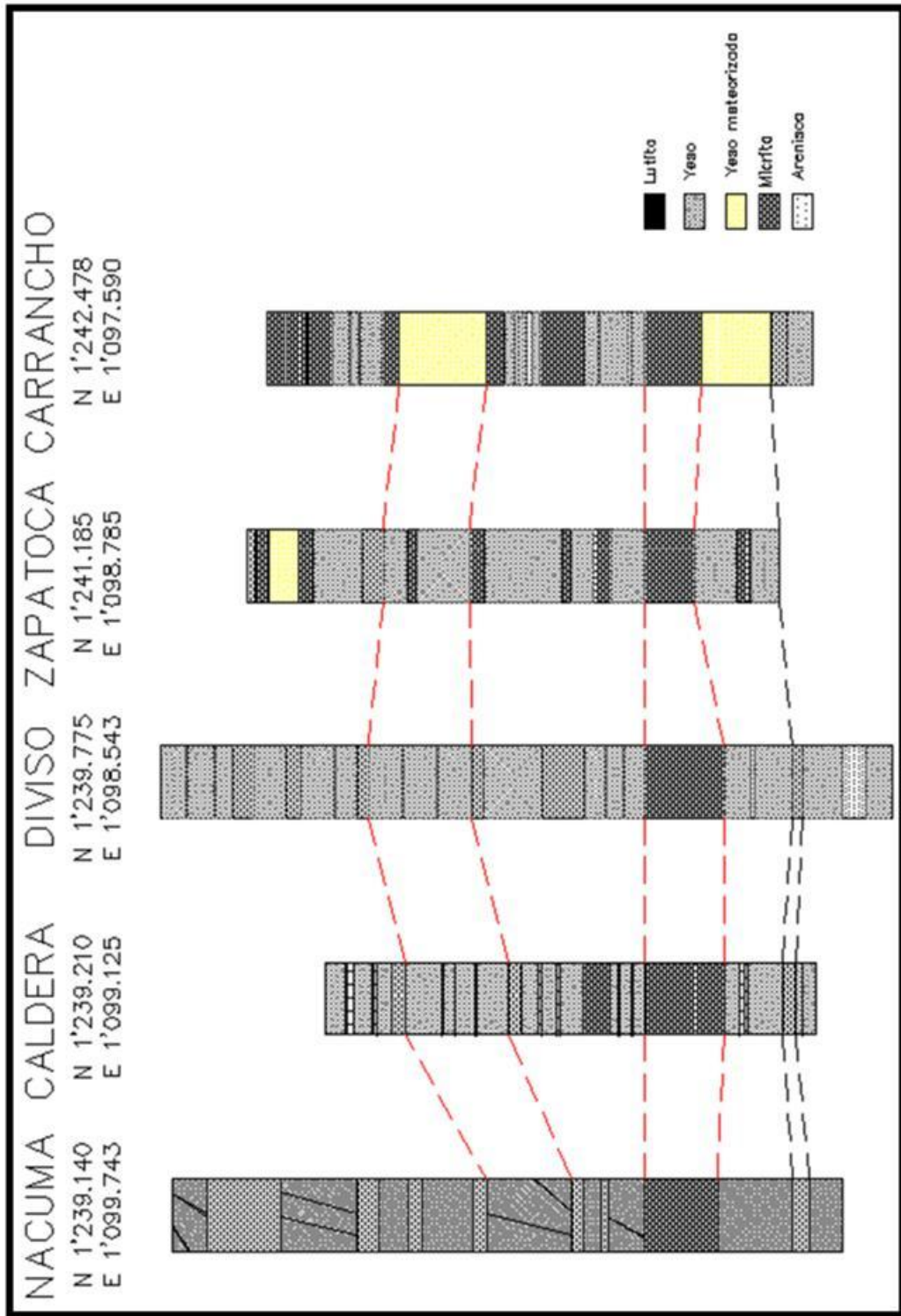


Figura 35. Columna estratigráfica del zanjón.

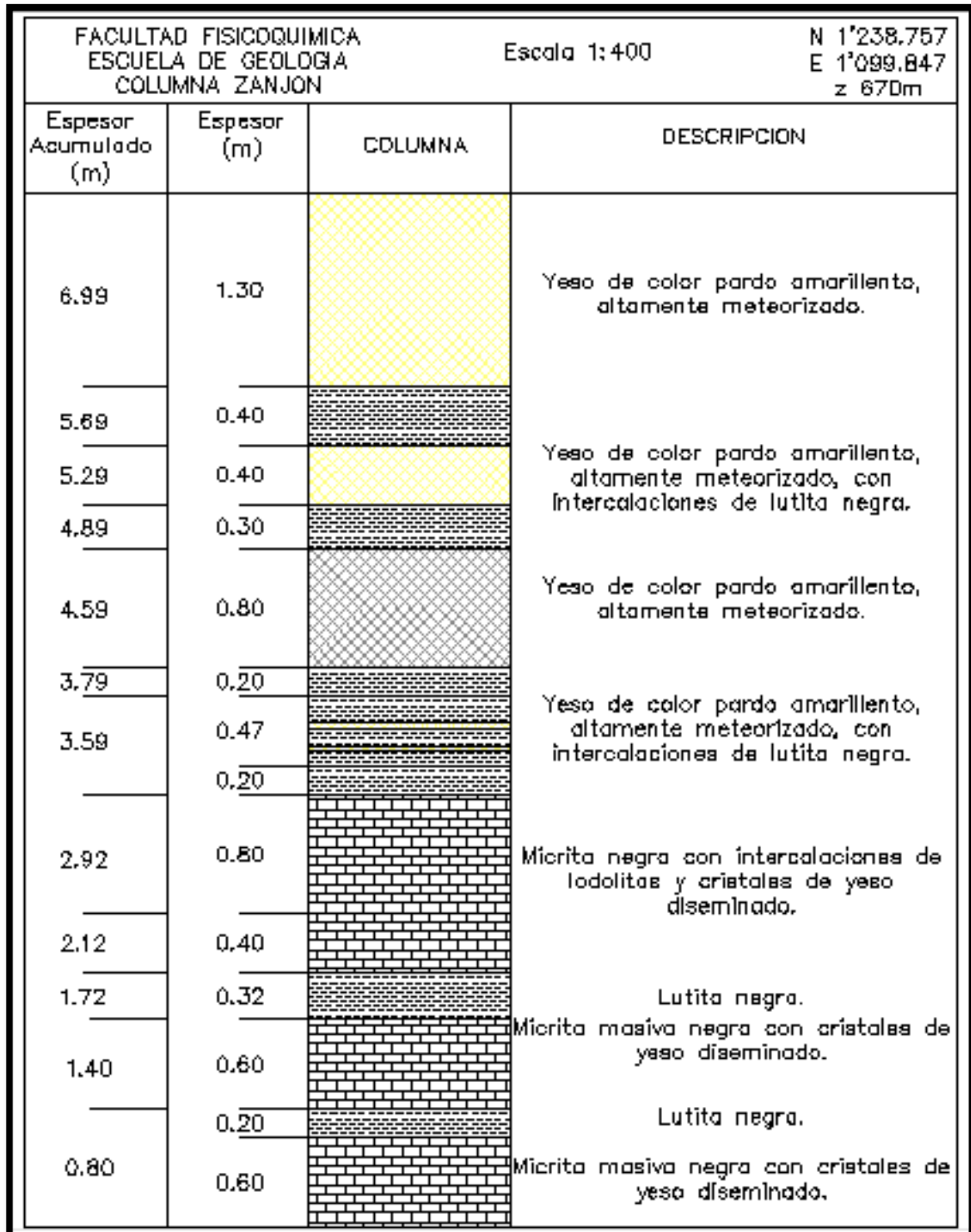


Figura 36. Columna estratigráfica de la quebrada 1.

FACULTAD FÍSICOQUÍMICA ESCUELA DE GEOLOGÍA COLUMNA QUEBRADA 1		Escala 1:400	N 1°238.734 E 1°088.865 z 670m
Espesor Acumulado (m)	Espesor (m)	COLUMNA	DESCRIPCIÓN
7.68	1.30		Yeso de color pardo amarillento, altamente meteorizado.
6.38	0.77		Yeso de color pardo amarillento, altamente meteorizado, con intercalaciones de lutita negra.
5.61	0.81		Yeso de color pardo amarillento, altamente meteorizado.
4.50	0.30		Yeso de color pardo amarillento, altamente meteorizado, con intercalaciones de lutita negra.
4.03	0.47		Yeso de color pardo amarillento, altamente meteorizado, con intercalaciones de lutita negra.
4.03	1.10		Micrita negra con intercalaciones de lodolitas y cristales de yeso diseminado.
2.93	0.90		Lutita negra.
2.03	0.70		Micrita masiva negra con cristales de yeso diseminado.
1.23	0.10		Micrita masiva negra.
1.23	0.85		Lutita negra.
0.58	0.20		Lutita negra.
0.58	0.38		Micrita masiva negra.

Figura 37. Columna estratigráfica de la quebrada 3.





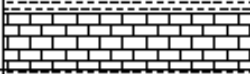
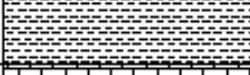
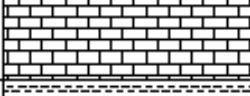
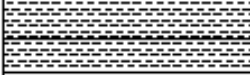
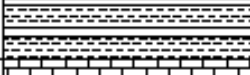
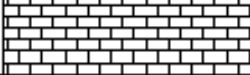
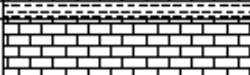
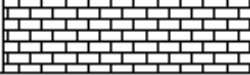

FACULTAD FISICOQUIMICA ESCUELA DE GEOLÓGIA COLUMNA QUEBRADA 3		Escales 1:400	N 1'238.452 E 1'099.990 Z 678m
Espesor Acumulado (m)	Espesor (m)	COLUMNA	DESCRIPCION
5.48	0.62		Yeso de color pardo amarillento, altamente meteorizado, con intercalaciones de lutita negra.
4.88	0.50		Yeso de color pardo amarillento, altamente meteorizado.
4.36	0.30		Lutitas negras intercaladas con yeso gris oscuro meteorizado.
4.06	0.58		Lutitas negras intercaladas con yeso gris oscuro meteorizado.
3.48	0.50		Micrita negra con intercalaciones de lodolitas y cristales de yeso diseminado.
3.28	0.37		Micrita negra con intercalaciones de lodolitas y cristales de yeso diseminado.
2.98	0.50		Micrita negra con intercalaciones de lodolitas y cristales de yeso diseminado.
2.61	0.50		Micrita negra con intercalaciones de lodolitas y cristales de yeso diseminado.
2.11	0.81		Lutitas negras intercaladas con yeso gris oscuro.
1.81	0.81		Lutitas negras intercaladas con yeso gris oscuro.
1.30	0.50		Micrita masiva negra con cristales de yeso diseminado.
1.30	0.10		Lutita negra.
0.80	0.70		Micrita masiva negra con cristales de yeso diseminado.

Figura 38. Columna estratigráfica de la quebrada 4.


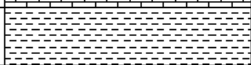






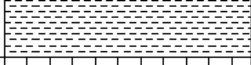

FACULTAD FISICOQUIMICA ESCUELA DE GEOLOGIA COLUMNA QUEBRADA 4		Escala 1:400	N 1'238.329 E 1'099.092 Z 661m
Espesor Acumulado (m)	Espesor (m)	COLUMNA	DESCRIPCION
3.01	0.20		Micrita gris oscura con cristales de yeso diseminado.
2.81	0.33		Lutita negra.
2.48	0.43		Micrita gris oscura con cristales de yeso diseminado.
2.05	0.33		Yeso de color pardo amarillento, altamente meteorizado intercalado con lutitas negras.
1.72	0.20		
1.52	0.40		
1.12	0.15		Micrita negra con cristales de yeso diseminado intercaladas con lutitas negras.
0.97	0.35		
0.62	0.32		Lutita negra.
0.30	0.30		Micrita masiva negra con cristales de yeso diseminado.

Figura 39. Correlación de las columnas estratigráficas levantadas en la licencia FJ4-101.

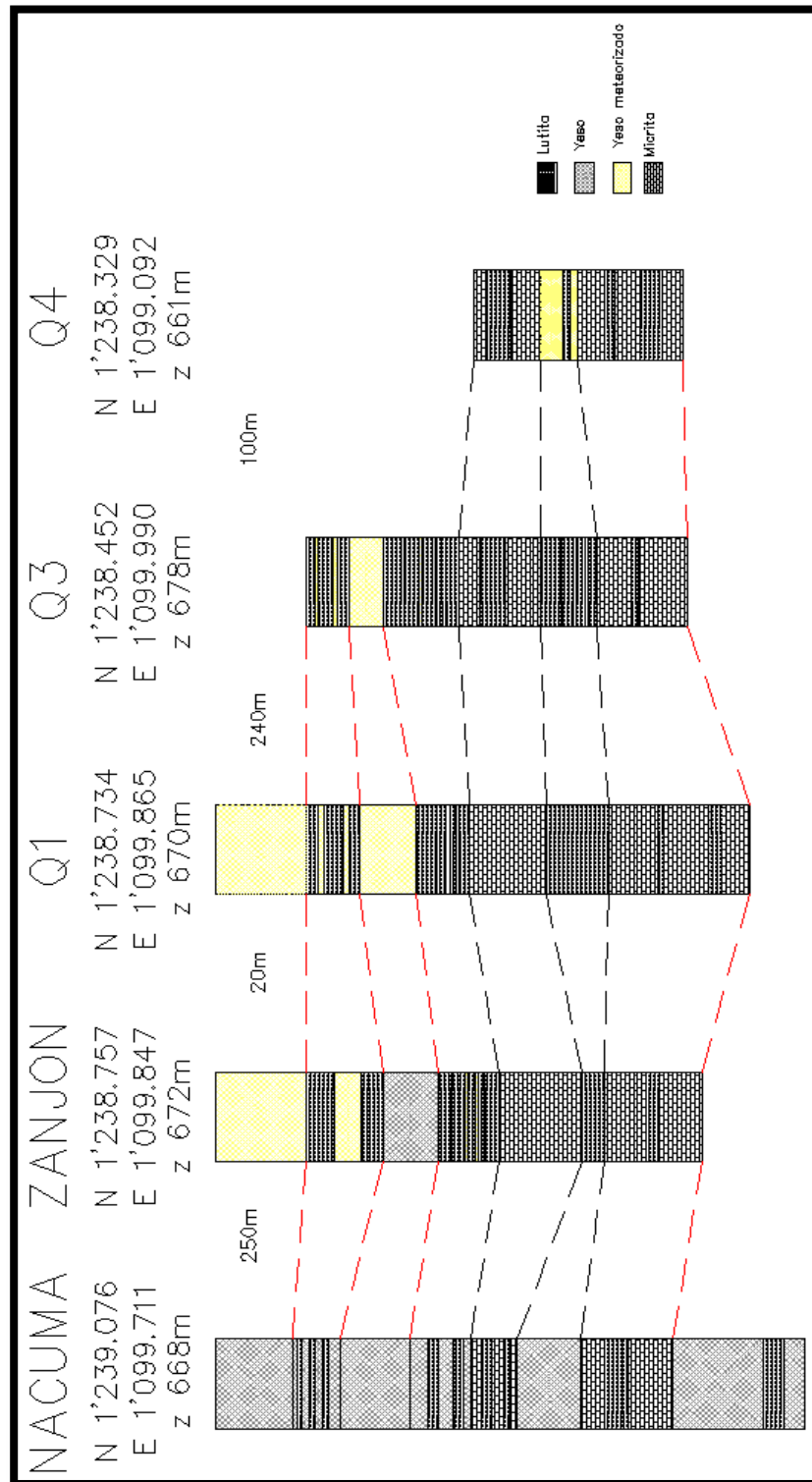


Figura 40. Columna estratigráfica de delta 1.

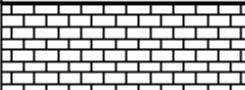

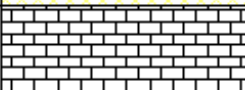




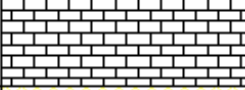



FACULTAD FISICOQUIMICA ESCUELA DE GEOLOGIA DELTA 1		Escala 1:400	N 1'244.692 E 1'099.156 Z 730m
Espesor Acumulado (m)	Espesor (m)	COLUMNA	DESCRIPCION
4.78	0.50		Micrita negra con intercalaciones de lodolitas y cristales de yeso diseminado.
4.28	0.50		Yeso pardo altamente meteorizado.
3.78	0.50		Micrita negra con intercalaciones de lutitas gris oscuras fisiles.
3.28	0.20		
3.08	0.20		
2.88	0.10		
2.78	1.00		Yeso pardo altamente meteorizado.
1.78	0.48		Micrita negra.
1.30	0.60		Yeso pardo altamente meteorizado.
0.70	0.30		Lutita negra.
0.40	0.40		Yeso pardo altamente meteorizado.

Figura 41. Columna estratigráfica de delta 2.

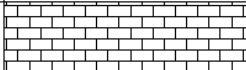





FACULTAD FISICOQUIMICA ESCUELA DE GEOLOGIA DELTA 2		Escala 1: 400	N 1'244.703 E 1'099.616 z 740m
Espesor Acumulado (m)	Espesor (m)	COLUMNA	DESCRIPCION
2.10	0.40		Micrita negra.
1.70	0.30		Lutita negra.
1.40	0.60		Yeso pardo altamente meteorizado.
0.80	0.30		Lutita negra.
0.50	0.20		Micrita negra.
0.30	0.30		

Figura 42. Columna estratigráfica de delta 3.

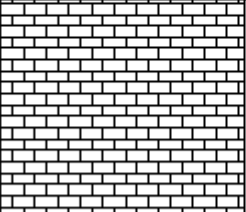

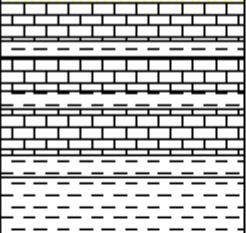

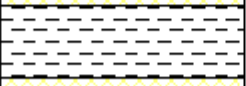

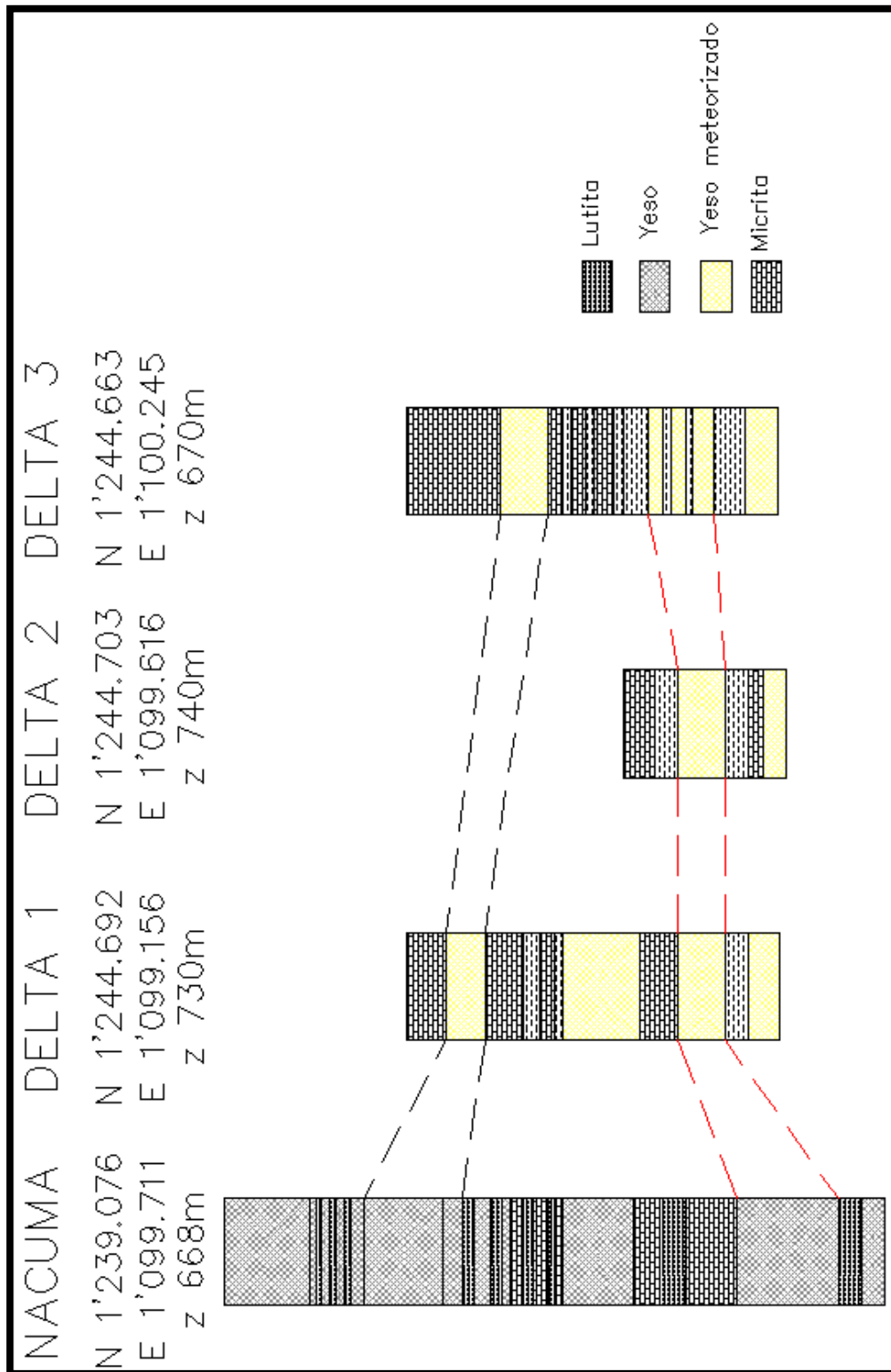
FACULTAD FISCOQUIMICA ESCUELA DE GEOLOGIA DELTA 3		Escala 1:400	N 1'244.663 E 1'100.245 z 670m
Espesor Acumulado (m)	Espesor (m)	COLUMNA	DESCRIPCION
4.77	1.20		Micrita negra.
3.57	0.60		Yeso pardo altamente meteorizado.
2.97	1.30		Micrita negra con intercalaciones de lutitas gris oscuras fisiles.
1.67	0.85		Yeso gris claro a pardo con intercalaciones de lutitas gris oscuras fisiles.
0.82	0.40		Lutita negra.
0.42	0.42		Yeso pardo altamente meteorizado.

Figura 43. Correlación de las columnas estratigráficas levantadas en la licencia 783-R.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Las edades de las rocas del área de interés van desde el jurásico representado por las formaciones Jordán y Girón, el cretácico constituido por las formaciones Los Santos, Rosablanca y Paja, hasta el más reciente perteneciente a los depósitos cuaternarios.

La geología estructural de la zona constituye un patrón de gran importancia que se refleja en el desplazamiento de los mantos de yeso estudiados, producto de las fallas locales de las licencias de exploración. Sin embargo, se mantiene la continuidad de los mismos con variaciones en su espesor.

La presencia de yeso en la parte basal de la Formación Rosablanca sugiere una depositación en un medio tranquilo e hipersalino. La presencia de micritas fosilíferas en el resto de la sucesión sugiere un ambiente de depositación en un medio abierto, lo que indica que las condiciones de depositación de la Formación Rosablanca no fueron constantes.

Las condiciones de sedimentación de la Formación de Rosablanca se dieron en un ambiente de alta salinidad, clima cálido y desértico con características similares a un ambiente tipo “sabkha”.

Al realizar la correlación litoestratigráfica de las columnas levantadas en las licencias FJ4-101 y 783-R se pudo concluir que se encuentran 4 y 5 de los 7 mantos que se observaron en la mina La Nacuma, respectivamente. El primer manto de yeso esta aproximadamente a 25 m del contacto de las Formaciones Los Santos y Rosablanca. El tipo de yeso encontrado en la parte basal de la Formación Rosablanca es “yeso roca”.

El contenido de SO_3 que fue superior al 30.2% constituye una importante materia prima, en la industria del cemento. Sin embargo, algunos porcentajes de SO_3 fueron menores al 5.3% lo que indicaría que no hay presencia de yeso en la roca. Estos últimos resultados se deben al grado de meteorización y alteración en el que se encontraban las rocas en el lugar.

7.2 RECOMENDACIONES

La meteorización de las rocas en el área de interés a profundidades mayores a 10m, hace necesaria la construcción de galerías de exploración que permitan recolectar muestras frescas y así poder determinar con exactitud el contenido de SO_3 en la roca, con el fin de correlacionar de forma más precisa los mantos de yeso que fueron encontrados en el área con los de las minas aledañas.

El arreglo de las carreteras existentes (pues no están pavimentadas), mejoraría considerablemente la economía y producción de la empresa.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AYORA, C., GARCÍA VEIGAS. (1993). *Evaporitas. Investigación y ciencia*. Bogotá.

CEDIEL, F. (1968). *El Grupo Girón, una Molasa Mesozoica de la Cordillera Oriental*. Volumen XVI. N° 1-3. Boletín Geológico Ingeominas. Bogotá, 14-60.

CRUZ, J & VARGAS, R. (1968). *Informe sobre yesos de la Formación Rosablanca en la Mesa de Los Santos*. Informe 15, INGEOMINAS, Bogotá, 105-125.

DÍAZ BAHAMÓN, G. Y SUÁREZ ACEVEDO, M. (1998). *Evidencias neotectónicas del sistema de Fallas del Suárez en su confluencia con el sistema de Fallas de Bucaramanga*. UIS, Bucaramanga.

ELJAIK, J. & MORENO, G. (1991). *Génesis, estratigrafía y evaluación del yeso en los Permisos 729 y 730 en la Concesión 2491*. Municipio de Los Santos, Santander. Tesis de pre-grado. UIS, Bucaramanga, 65-83.

ETAYO, F. (1964). Posición de la fauna en los depósitos cretácicos colombianos y su valor en la subdivisión cronológica de los mismos. Boletín geológico Universidad Industrial de Santander, 141.

ETAYO, F. & RODRÍGUEZ, G. (1985). *Edad de la Formación Los Santos. Proyecto Cretácico*. Publicaciones geológicas Especiales Ingeominas, N° 16. Bogotá, 1-5.

FORERO, H. (1993). Contribución al conocimiento de las ocurrencias yesíferas de la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia. Boletín ICPC, N° 60.

GALVIS, J. (1987) *Evaporitas. Recursos minerales de Colombia* (Nº 1, tomo II, Segunda edición). Publicaciones especiales Ingeominas, Bogotá, 82-100.

HURLBURT, C. & KLEIN, C. (1988). *Manual de mineralogía de Dana*. Reverte S.A. Cuarta Edición, Barcelona, 342-497.

JIMENO, A. & YEPES, J. (1963). *Estudio de las reservas yesíferas de la región de Los Santos-Batán-Villanueva* (Boletín Geológico, Volumen 11, Nº 1-3). Bogotá.

JULIVERT, M. BARRERO & NAVAS, J. (1964). *Geología de la Mesa de Los Santos* (Boletín de Geología Nº 18). Bucaramanga: UIS.

LAVERDE, F. (1985). La Formación Los Santos: Un depósito continental anterior al ingreso marino del Cretácico. Proyecto Cretácico. Publicaciones geológicas Especiales del Ingeominas, Bogotá, Nº 16, 1-21.

LEON, J. (2004). Exploración y cálculo de reservas probables de yeso en la concesión 783-R, al nw del municipio de los santos (s.s.). Municipio Los Santos, Santander. Tesis de pre-grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 17-18.

MONTANA RODRIGUEZ, C L., SUAREZ DIAZ, H G. (2000). Geología aplicada al esquema de ordenamiento territorial del municipio de Los Santos (S.S). Tesis de pre-grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 25-40.

MORALES, L. (1958). General Geology and Oil Occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia, 641-695.

PEDRAZA, J, Y CAMARGO, J. (1989). Prácticas de química analítica cuantitativa. Edición: UIS, Bucaramanga.

PULIDO, O. (1979). Geología de las planchas 135 San Gil Y 151 Charalá, Departamento De Santander. Boletín Geológico Ingeominas, Bogotá, Volumen 25 N° 2.

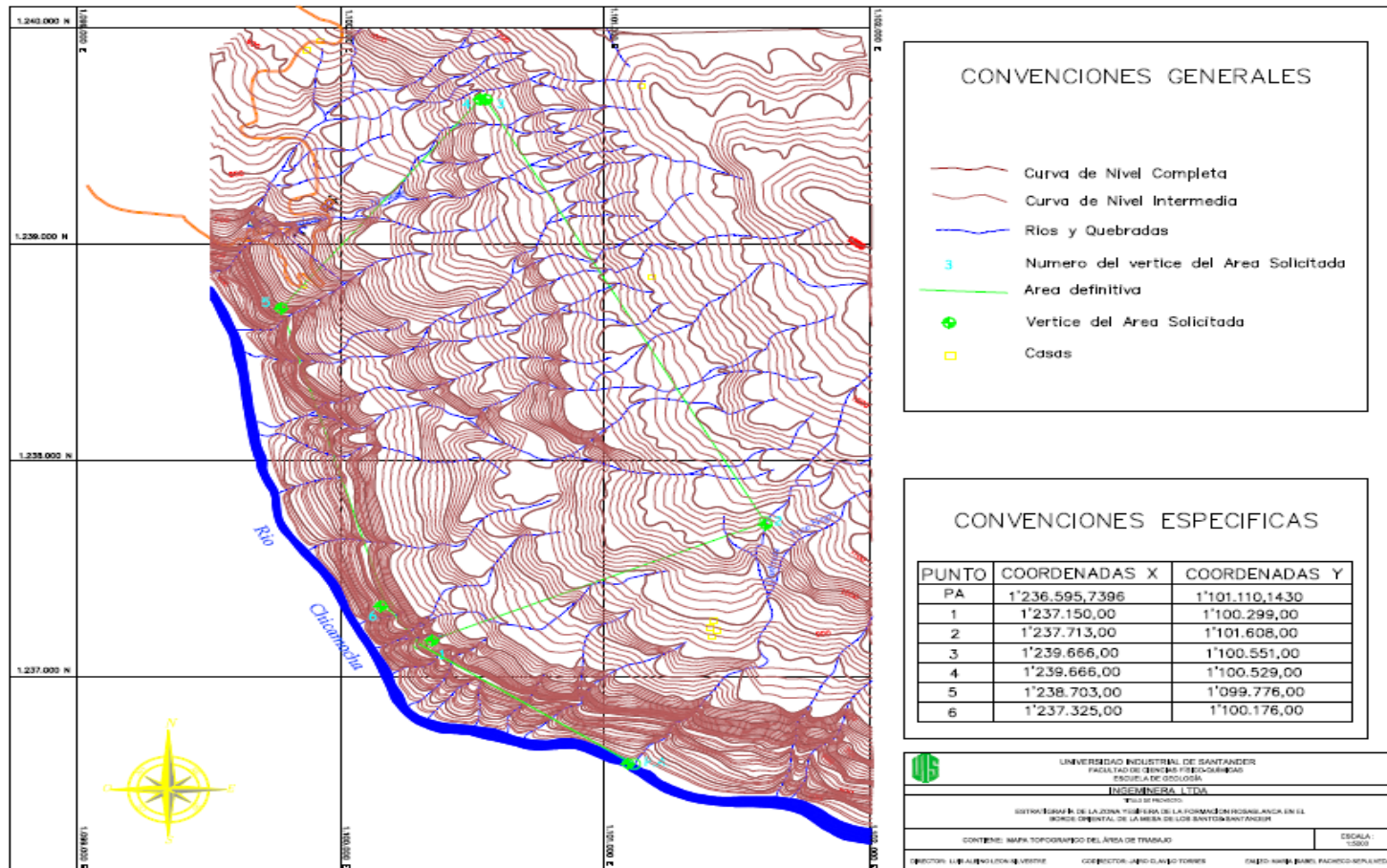
TÉLLEZ, N. (1964). Geología de la Mesa de Barichara. Boletín de Geología de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, N° 18, 12-21.

WARD, D. GOLDSMITH, JIMENO, R. (1973). Geología de los cuadrángulos H -12 Y H -13. Pamplona. Departamento de Santander. Boletín Geológico, Volumen XXI, N° 1-3, 53-70.

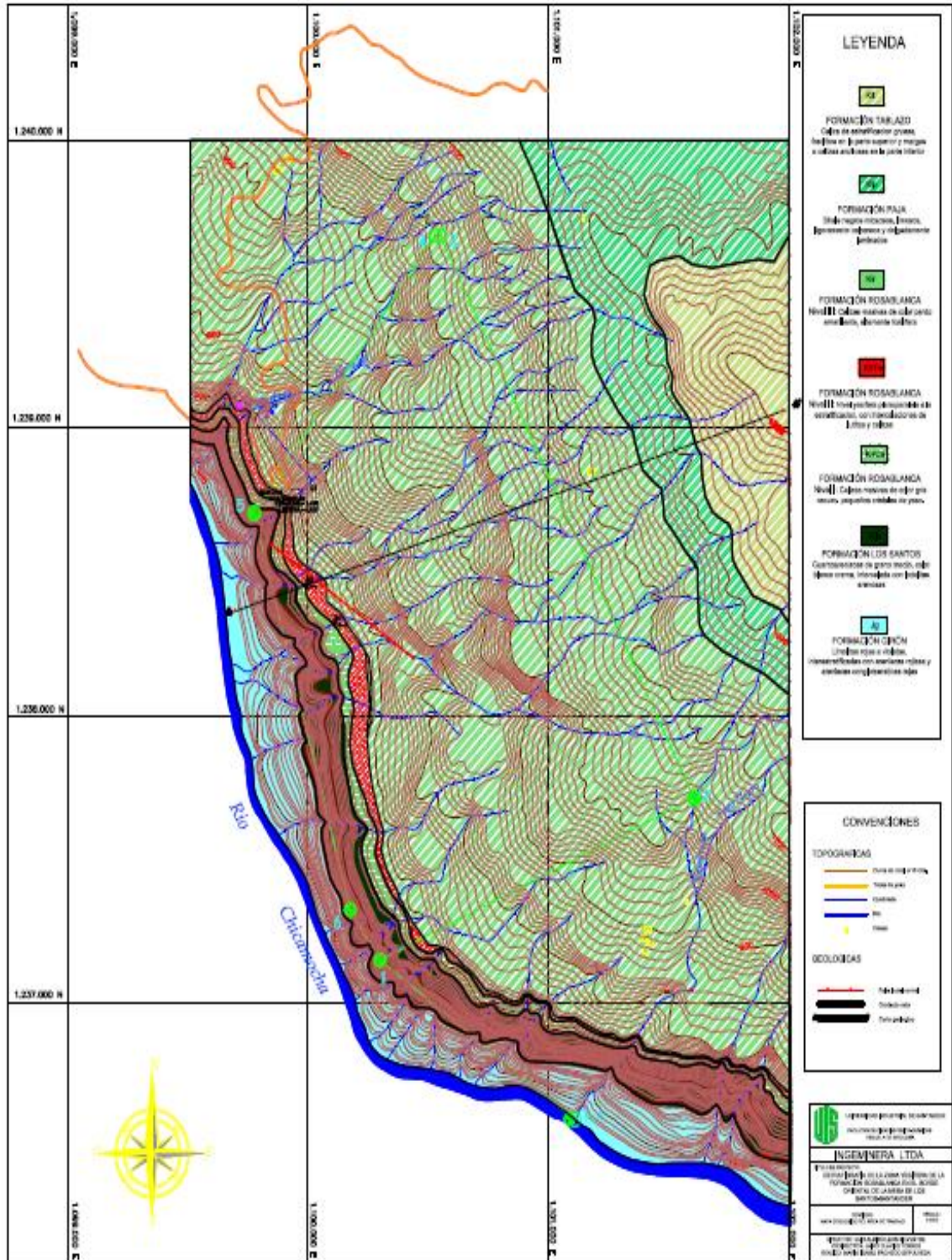
ZAMARREÑO DE JULIVERT, I. (193). Estudio petrográfico de las calizas de la Formación Rosablanca de la región de la Mesa de Los Santos. Boletín geológico de la Universidad Industrial de Santander, N° 15, Bucaramanga.

ANEXOS

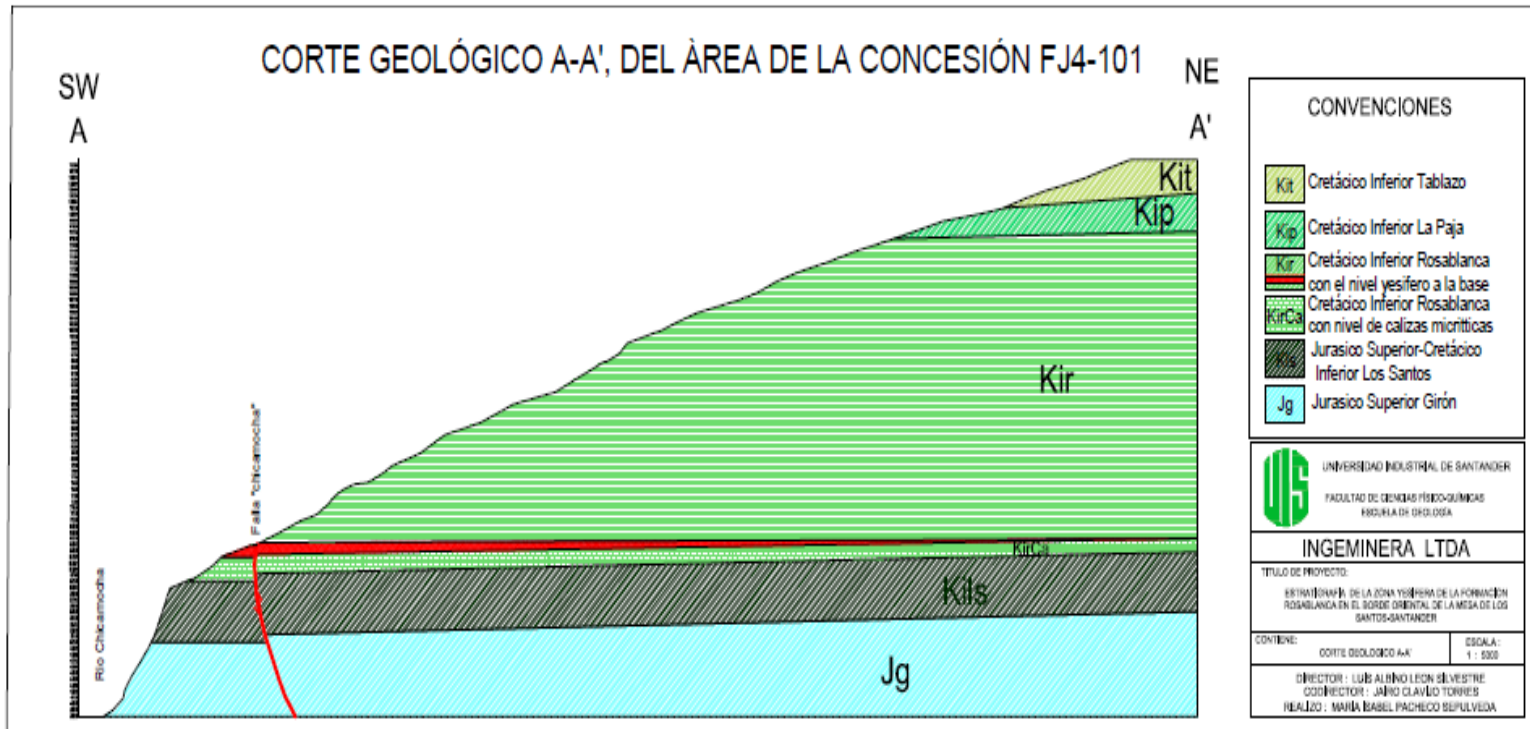
ANEXO A. Mapa topográfico licencia FJ4-101



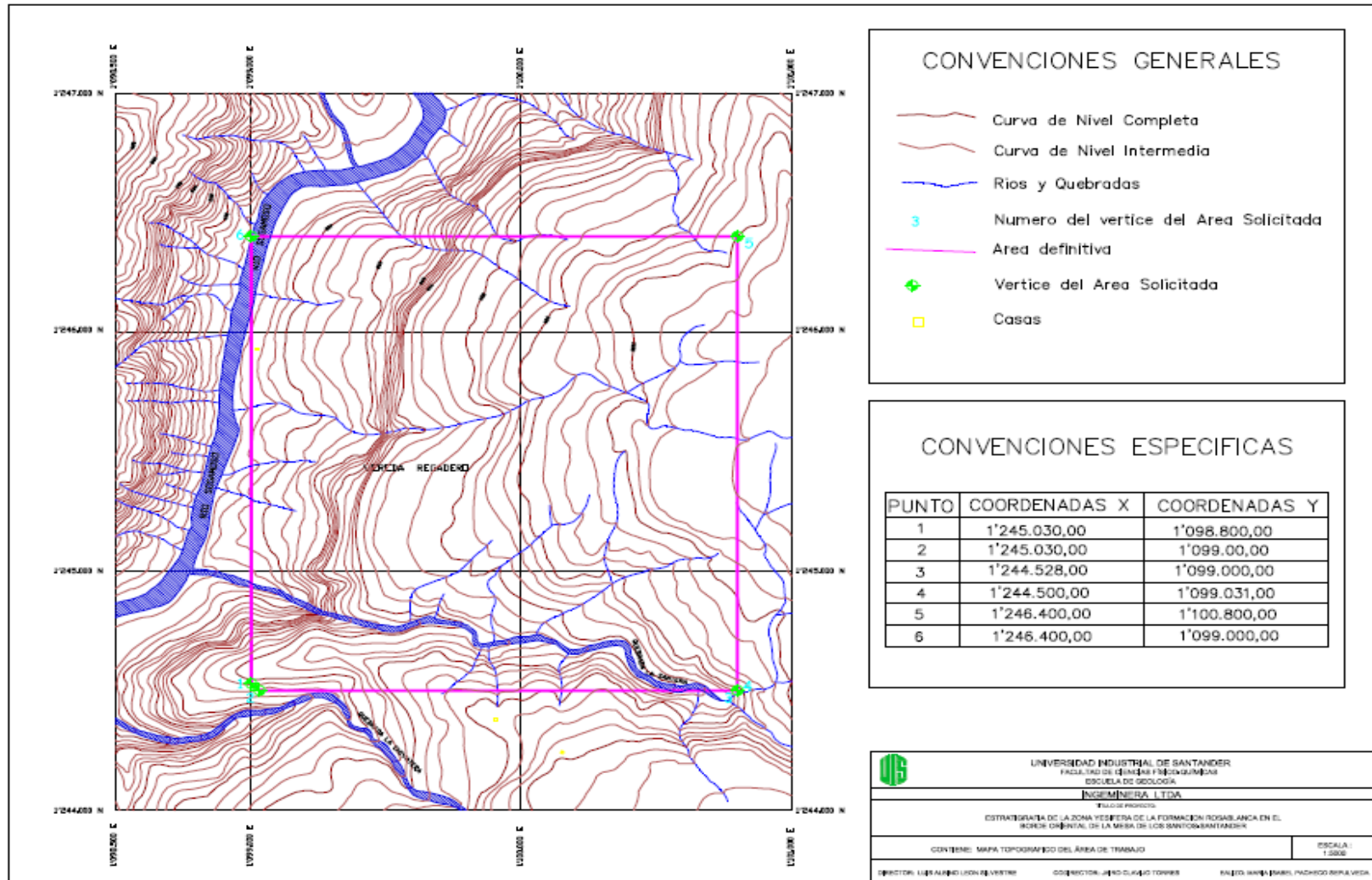
ANEXO B. Mapa geológico licencia FJ4-101



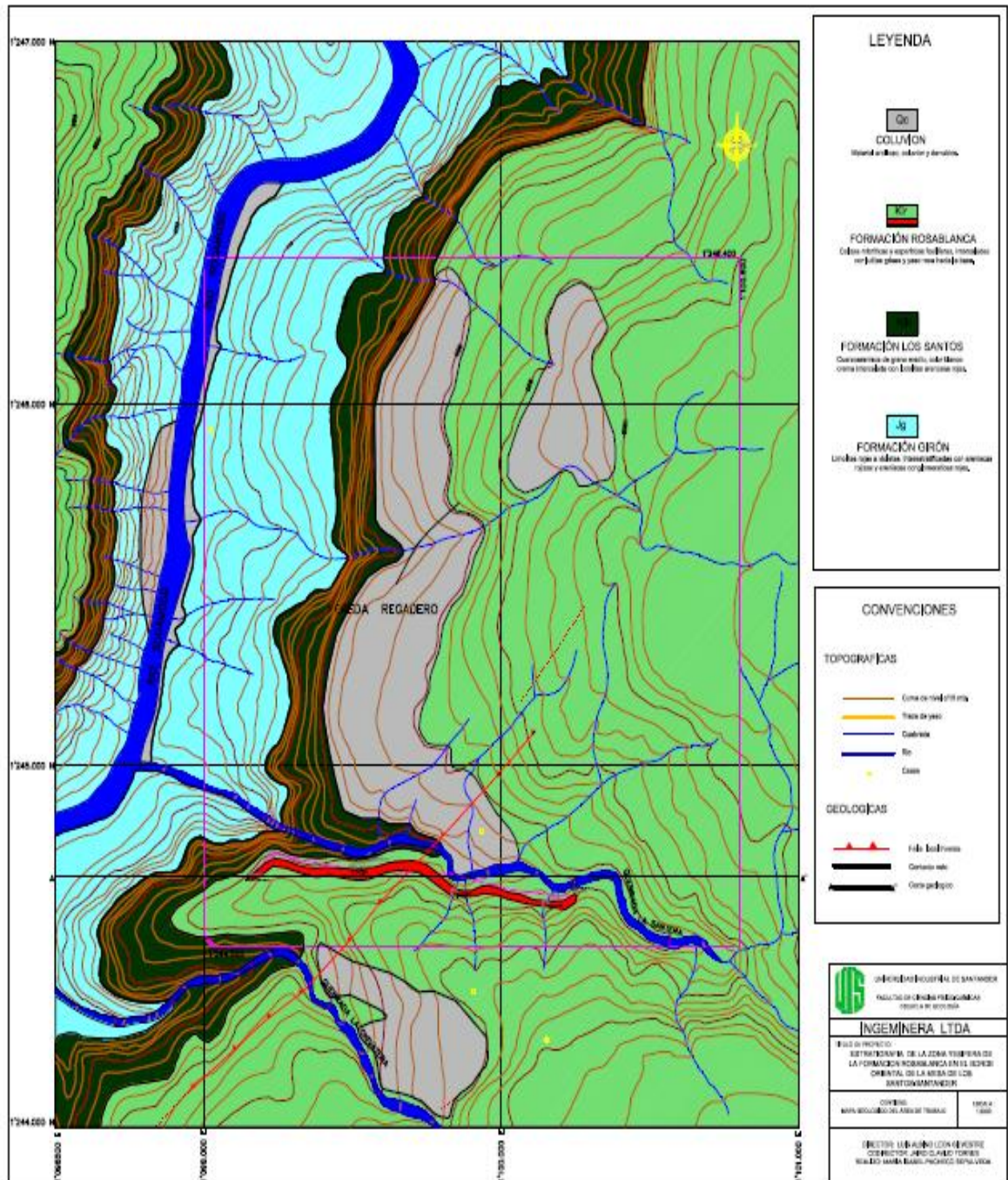
ANEXO C. Corte geológico A - A' licencia FJ4-101



ANEXO D. Mapa topográfico licencia 783-R



ANEXO E. Mapa geológico licencia 783-R



ANEXO F. Corte geológico A -A' licencia 783-R

