



Universidad Industrial de Santander
UIS

Instituto Colombiano de Geología y Minería
INGEOMINAS



PETROGRAFIA DEL NEIS DE SAN LUCAS Y LOS ESQUISTOS DE ARMENIA

KAREN JUDITH CORREA BASILOTTA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2006**



Universidad Industrial de Santander
UIS

Instituto Colombiano de Geología y Minería
INGEOMINAS



PETROGRAFIA DEL NEIS DE SAN LUCAS Y LOS ESQUISTOS DE ARMENIA

KAREN JUDITH CORREA BASILOTTA

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

**DIRECTOR:
CARLOS ALBERTO GARCIA RAMIREZ
GEÓLOGO P_h. D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**



Dedicatoria

*A mis padres Adela y Juan,
A mis hermanos Juancho y Andrés,
A toda mi familia por desear siempre lo mejor para mí,
A Edgar por estar siempre conmigo y apoyarme cuando más lo necesito,
A este bebé que dentro de poco llegara a darme más felicidad,
A todos los que siempre han creído en mí.*

Gracias.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Geología por el aporte académico brindado.

Al profesor Carlos Alberto García Ramírez por su dirección, colaboración y la confianza depositada para el desarrollo de este proyecto.

A Luis Carlos Mantilla Figueroa y Eliécer Uribe Portilla por su objetiva evaluación y aporte a este trabajo.

Al grupo de trabajo del proyecto San Lucas tanto en la UIS como en el INGEOMINAS, y a todas las personas que con su colaboración permitieron la realización y culminación de este trabajo.



CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. OBJETIVOS	2
2. METODOLOGIA	3
3. GENERALIDADES	5
3.1. LOCALIZACIÓN	5
3.2. VIAS DE ACCESO	5
3.3. CLIMA	6
3.4. GEOMORFOLOGIA	8
4. ANTECEDENTES	9
4.1. ESTUDIO DE LAS ROCAS METAMORFICAS	12
4.1.1. Generalidades	12
4.1.2. Caracterización y edad del Metamorfismo	15
5. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO	17
5.1. ESTRATIGRAFÍA	17
5.1.1. Precámbrico	17
5.1.2. Paleozoico	21
5.1.3. Mesozoico	23
5.1.4. Terciario	26
5.1.5. Cuaternario	27
5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	27



5.2.1. Falla de Palestina	28
5.2.2. Falla de Mejía	29
5.2.3. Bloque estructural NW	29
5.2.4. Bloque estructural SE	30
6. PETROGRAFIA DEL NEIS DE SAN LUCAS	31
6.1. NEIS CUARZO-FELDESPÁTICO CON BIOTITA	34
6.2. NEIS CUARZO FELDESPÁTICO CON HORNBLENDA	37
6.3. NEIS HORNBLÉNDICO	39
6.4. METAGABRO	42
6.5. GRANULITAS	43
7. PETROGRAFIA DE LOS ESQUISTOS DE ARMENIA	47
7.1. ESQUISTOS CALCO-SILICATADOS	49
7.1.1. Esquistos feldespático-cuarzosos con biotita	49
7.1.2. Esquistos Cuarzosos con biotita	50
7.1.3. Esquisto Cuarzoso con hornblenda	52
7.2. ESQUISTOS PELÍTICOS	54
7.2.1. Esquisto biotítico cuarzoso	54
7.2.2. Esquisto andalucítico	56
8. METAMORFISMO DEL NEIS DE SAN LUCAS	60
8.1. HISTORIA REACCIONAL Y CONDICIONES DE EQUILIBRIO DE LAS PARAGÉNESIS	62
8.1.1. Rocas Máficas	62
9. METAMORFISMO DE LOS ESQUISTOS DE ARMENIA	66



9.1. HISTORIA REACCIONAL Y CONDICIONES DE EQUILIBRIO DE LAS PARAGÉNESIS	66
9.1.1. Rocas Metapelíticas	67
9.1.2. Rocas calco-silicatadas	68
10. DISCUSION	72
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFIA	77



ABREVIATURAS

Los símbolos usados fueron tomados de Kretz (1983).

Actinolita.....	Act
Andalucita.....	And
Apatito.....	Ap
Augita.....	Aug
Biotita.....	Bt
Circón.....	Zrn
Clinozoisita.....	Czo
Clorita.....	Chl
Cuarzo.....	Qtz
Diópsido.....	Di
Epidota.....	Ep
Esfena.....	Spn
Feldespato potásico....	Kfs
Hornblenda.....	Hbl
Ilmenita.....	Ilm
Microclina.....	Mc
Muscovita.....	Ms
Plagioclasa.....	Pl
Rutilo.....	Rt
*Hiperstena.....	Hyp
*Opacos.....	Op
*Sericita.....	Ser

* Estas abreviaturas son sugeridas por el autor.



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio.	7
Figura 2. Columna Estratigráfica Generalizada de la Plancha 64. Modificado de Memoria Geológica Plancha 64, 2005.	19
Figura 3. Mapa Geológico de la plancha 64 “Barranco de Loba”. Memoria Geológica Plancha 64, 2005.	20
Figura 4. Esquema estructural de la plancha 64. Tomado de INGEOMINAS, 2005.	28
Figura 5. Mapa de ubicación de las muestras analizadas para el Neis de San Lucas.	33
Figura 6. Coronas de esfena rodeando opacos (Muestra: LM64-009-1) N//, Aumento 8.	34
Figura 7. Texturas de los neises cuarzo feldespáticos con biotita. a. Lepidogranoblástica (Muestra: EC64-006-1) NX, Aumento 8, b. Granoblástica (Muestra: RF64050-1) NX, Aumento 8, c. Textura mirmekítica (Muestra: RF64050-1) NX, Aumento 8.	36
Figura 8. Texturas principales de los neises cuarzo feldespáticas con hornblenda. a. Nematogranoblástica (Muestra: IQ6404001) NX, Aumento 8, b. Granoblástica (Muestra: HC64054-2) NX, Aumento 8, c. Textura pertítica en microclina (Muestra: HC64054-2) NX, Aumento 8.	38



- Figura 9.** Foliación S_n y S_{n+1} en la muestra LM64-046-3, NX, Aumento 8. 39
- Figura 10.** Textura nematogranoblástica en los neises hornbléndicos. a. 41
Muestra RF64-022-1, N//, Aumento 8, b. Muestra LM64-046-3, NX, Aumento
8 c. Muestra EC64-009-3, NX, Aumento 8, d. Textura mirmekítica en
plagioclasa sericitizada (Muestra: EC64-009-3) NX, Aumento 8.
- Figura 11.** Textura nematogranoblástica. a. Hornblenda y biotita 42
reemplazando augita. NX, Aumento 8, b. Hornblenda reemplazando augita e
hiperstena. NX, Aumento 8.
- Figura 12.** Relictos de hiperstena y augita en una granulita poco alterada con 44
textura nematogranoblástica. a. N//, Aumento 8 y b. NX, Aumento 8.
- Figura 13.** a. y b. Textura nematoblástica en las granulitas alteradas con 45
relictos de hiperstena, augita y plagioclasa. NX. Aumento 8.
- Figura 14.** Mapa de ubicación de las muestras analizadas para los Esquistos 48
de Armenia.
- Figura 15.** Relación pre-cinemática de porfidoblastos de plagioclasa y 52
microclina. a. Muestra IQ64-078-1, NX, Aumento 8, b. Muestra LM64-059-1,
NX, Aumento 8.
- Figura 16.** Texturas principales de los esquistos calco-silicatados. a. 54
Nematogranoblástica (Muestra: LM64-059-1) NX, Aumento 8, b.
Lepidogranoblástica (Muestra: IQ64-078-1) NX, Aumento 8.
- Figura 17.** Foliación S_n y S_{n+1} . N//, Aumento 8. 55



-
- Figura 18.** Texturas principales de los Esquistos pelíticos. a. 56
Lepidogranoblástica (Muestra: EC64-038-2) NX, Aumento 8, b. Matriz
lepidoblástica (Muestra: HC64060-1) NX, Aumento 8.
- Figura 19.** Posible Trayectoria P-T para las rocas del Neis de San Lucas. 65
- Figura 20.** Posible trayectoria P-T de las rocas de los Esquistos de Armenia. 71



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen del análisis petrográfico de rocas metamórficas de la Serranía de San Lucas presentado en el Anexo Petrográfico del informe de Leutsh et al., (1980).	14
Tabla 2. Composición mineralógica de los neises de la unidad Neis de San Lucas.	32
Tabla 3. Composición mineralógica de los metagabros y granulitas de la unidad Neis de San Lucas.	46
Tabla 4. Composición mineralógica de los Esquistos de Armenia.	59
Tabla 5. Paragénesis de las rocas del Neis de San Lucas (abreviaturas minerales según Kretz, 1983).	61
Tabla 6. Paragénesis de las rocas de los Esquistos de Armenia (abreviaturas minerales según Kretz, 1983).	66



Universidad Industrial de Santander
UIS

Instituto Colombiano de Geología y Minería
INGEOMINAS



LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Petrografía de los Esquistos de Armenia.

ANEXO B. Petrografía del Neis de San Lucas.



RESUMEN

***TITULO: PETROGRAFIA DEL NEIS DE SAN LUCAS Y LOS ESQUISTOS DE ARMENIA**

AUTOR: CORREA BASILOTTA KAREN JUDITH**

Palabras claves: Petrografía, paragénesis, metamorfismo, Neis de San Lucas, Esquistos de Armenia.

En el presente trabajo se estudian las rocas metamórficas de la Serranía de San Lucas ubicadas en la plancha 64 del IGAC, en la cual afloran las unidades Neis de San Lucas y Esquistos de Armenia, la primera consiste de neises cuarzo-feldespáticos con biotita y hornblenda, hornbléndicos, metagabros y granulitas, estas últimas no habían sido identificadas en trabajos anteriores. En los esquistos de Armenia se determinaron dos protolitos uno calco-silicatado que dio lugar a esquistos cuarzo-feldespáticos hacia el techo de la unidad y otro pelítico con esquistos micáceos con andalucita y grafito hacia la base.

Las condiciones de metamorfismo se establecieron para cada unidad teniendo en cuenta la historia reaccional y de equilibrio de las paragénesis; en el Neis de San Lucas predominan asociaciones de $Hbl+Pl+Qtz$, $Hbl+Bt+Pl$, las cuales indican facie anfibolita zona de la silimanita. Las granulitas presentan asociaciones $Opx+Cpx+Pl$, la cual corresponde a la zona de las granulitas piroxénicas de intermedia presión. Por otra parte los metagabros presentan asociaciones $Hbl+Ep+Bt+Qtz$, las cuales son características de la facie epidota-anfibolita. En las rocas calco-silicatadas de los Esquistos de Armenia se identificaron asociaciones $Ep+Bt+Act+Qtz$, $Ep+Bt+Pl+Qtz$, $Hbl+Ep+Czo$, para las cuales se determinaron condiciones de facie esquistos verdes zona de la biotita y facie epidota-anfibolita, para las rocas pelíticas se identificaron asociaciones $And+Bt$ y $Ms+Bt$ las cuales corresponden a facie anfibolita zona de la andalucita.

Las trayectorias P-T son aproximadas y se establecieron de acuerdo a las paragénesis minerales y la historia reaccional y evidencias texturales. De acuerdo a lo anterior la trayectoria seguida por el Neis de San Lucas indica una serie de Media P/T típica de gradiente Barroviense y ambientes de colisión continental. La trayectoria seguida por los Esquistos de Armenia indica una serie de Baja P/T en zonas donde hay calentamiento a bajas profundidades en ambientes de colisión continental.

*

* Trabajo de investigación

** Facultad de Físicoquímicas, Escuela de Geología, Director: Ph D. Carlos Alberto García Ramírez.



ABSTRACT

***TITLE: PETROGRAPHY OF THE NEIS DE SAN LUCAS AND THE ESQUISTOS DE ARMENIA.**

AUTHOR: CORREA BASILOTTA KAREN JUDITH**

Key words: Petrography, assemblages, metamorphism, Neis de San Lucas, Esquistos de Armenia.

In this work are studied the metamorphic rocks of the Serranía de San Lucas which are located in the topographic map 64 of the IGAC, in this terrain which outcrop the Neis de San Lucas and the Esquistos de Armenia units, the first consist of quartz-feldspatic gneisses with biotite and hornblende, hornblende gneisses, metagabros and granulites, the last one hadn't been identified in previous works. In the Esquistos de Armenia are determined two protoliths, one calc-silicated that gave place to quartz-feldspatic schists towards the top of the unit and other pelitic with mica schist with andalusite and graphite towards the base.

The metamorphic conditions were established for each unit taking into account the reactional history and equilibrium conditions of the assemblages; in the Neis de San Lucas the mineral assemblages Hbl+Pl+Qtz, Hbl+Bt+Pl, which indicate metamorphic conditions in the sillimanite zone (amphibolite facies). The granulites show associations Opx+Cpx+Pl, that corresponds to the pyroxenic granulites zone of intermediate pressure. On the other hand the metagabros show associations of Hbl+Ep+Bt+Qtz, which are characteristics for the epidote-amphibolite facie. In the calc-silicated rocks of the Esquistos de Armenia were identified associations Ep+Bt+Act+Qtz, Ep+Bt+Pl+Qtz, Hbl+Ep+Czo, in which correspond to conditions of greenschist facie, biotite zone and epidote-amphibolite facie, for the pelitic rocks are identified associations And+Bt y Ms+Bt which correspond to amphibolite facie, andalusite zone.

The P-T paths are approximated and established agree with the mineral assemblages, the reactional history and the textural evidences. According to the last part the path followed by the Neis de San Lucas indicate a middle P/T serie typical of Barrovian gradient and continental collision environments. The path followed by the Esquistos de Armenia indicate a Low P/T path serie in zones where there is shallow heating in continental collision environments.

*

* Investigation.

** Faculty of Physic-Chemistry, School of Geology, Director: Ph D. Carlos Alberto García Ramírez.



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objetivo la caracterización de las unidades metamórficas de la Serranía de San Lucas, como parte del mejoramiento del conocimiento de su historia geológica por medio de la determinación cualitativa de las condiciones de metamorfismo que marcaron los diferentes eventos que afectaron el área, la cual se ubica dentro de la plancha 64 del IGAC entre las coordenadas $X = 1.440.000 - 1.480.000$, $Y = 940.000 - 1.000.000$ al noroeste de la Serranía de San Lucas.

En el Neis de San Lucas se identificaron neises cuarzo-feldespáticos con biotita, cuarzo-feldespáticos con hornblenda, hornbléndicos, metagabros y granulitas. En los Esquistos de Armenia se encontraron intercalaciones de esquistos calco-silicatados cuarzo-feldespáticos hacia el techo de la unidad, y esquistos pelíticos micáceos con andalucita y grafito hacia la base.

El estudio de la historia reaccional de las paragénesis permitió establecer condiciones de metamorfismo de la serie Media P/T para el Neis de San Lucas y condiciones de la serie de Baja P/T para los Esquistos de Armenia.

Este proyecto es dirigido por el Geólogo PhD. Carlos Alberto García Ramírez y se desarrolla en el marco del convenio de cooperación específico N° 004, suscrito entre el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS) y la Universidad Industrial de Santander (UIS), el cual a su vez es dirigido técnicamente por el Grupo de Investigación en Mineralogía, Petrología y Geoquímica (MINPETGEO), el cual pretende



realizar el estudio de una de las zonas con mayor diversidad en recursos minerales, la Serranía de San Lucas.



1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar las características mineralógicas y petrográficas del Neis de San Lucas y los Esquistos de Armenia, de la Serranía de San Lucas ubicadas en la plancha 64 del IGAC, con el fin de establecer las condiciones de metamorfismo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar la recopilación bibliográfica y análisis de la información existente sobre la Serranía de San Lucas especialmente la plancha 64.
- Identificar las variedades litológicas y las características mineralógicas del Neis de San Lucas y los Esquistos de Armenia a partir del análisis macroscópico y microscópico.
- Definir cualitativamente las condiciones de metamorfismo a partir de las paragénesis minerales.
- Determinar los diferentes eventos metamórficos que afectaron el área de estudio.



2. METODOLOGIA

La metodología empleada en este trabajo se presenta a continuación:

FASE 1:

- Análisis del material bibliográfico, fotogeológico y cartográfico de la zona de estudio.

FASE 2: Fase de Laboratorio

- Descripción macroscópica detallada de las 21 muestras en un microscopio estereográfico marca CARL ZEISS, siguiendo las especificaciones de la IUGS, Schmid et al., (2004). Este trabajo se realizó en las instalaciones de la Escuela de Geología en la Universidad Industrial de Santander y el INGEOMINAS, Sede Bucaramanga.
- Estudio petrográfico, análisis texturales, microestructurales y paragenéticos, el cual se realizó utilizando un microscopio óptico de luz transmitida marca NIKON Alphaphot – 2 YS2 en los Laboratorios de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander y la Sede de la UIS Guatiguará. Este análisis se realizó con base en la metodología presentada por García (1997 y 2002).
- La clasificación de la roca se realizó mediante el conteo de 500 puntos siguiendo perfiles perpendiculares a la foliación de la roca. Este



conteo se llevo a cabo en los laboratorios de la Sede de la UIS Guatiguará, usando un contador electrónico de puntos marca Prior modelo G.

FASE 3: Fase de oficina

- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos.
- Elaboración del texto final del proyecto de grado.



3. GENERALIDADES

3.1. LOCALIZACIÓN

La zona de estudio del presente trabajo se ubica en el extremo sur-oriental de la plancha 64 del IGAC (Barranco de Loba) entre las coordenadas $X = 1.440.000 - 1.480.000$, $Y = 940.000 - 1.000.000$ (**Figura 1**), la cual se encuentra localizada al noroeste de la Serranía de San Lucas en el sector nororiental de la Cordillera Central, en los departamentos de Bolívar y Sucre.

Entre las poblaciones más importantes de la zona figuran los municipios de Barranco de Loba y Pinillos.

3.2. VIAS DE ACCESO

La principal vía de acceso al área es la navegación fluvial, mediante el uso de Chalupa y canoas, a través del río Cauca y el río Grande de la Magdalena con su Brazo navegable de Quitasol (Loba) y su brazuelo El Rosario. Estas vías fluviales constituyen el medio de transporte más importante del área, el cual genera la principal dinámica de la economía regional por su conexión hacia poblaciones como el Banco, Mompos y Magangue, el centro del país y la Costa Caribe colombiana.

El desarrollo de carretables es de tercer orden y cuarto orden, especialmente para tráfico de vehículos de doble tracción, que une poblaciones como Barranco de Loba y San Martín de Loba con Pueblito



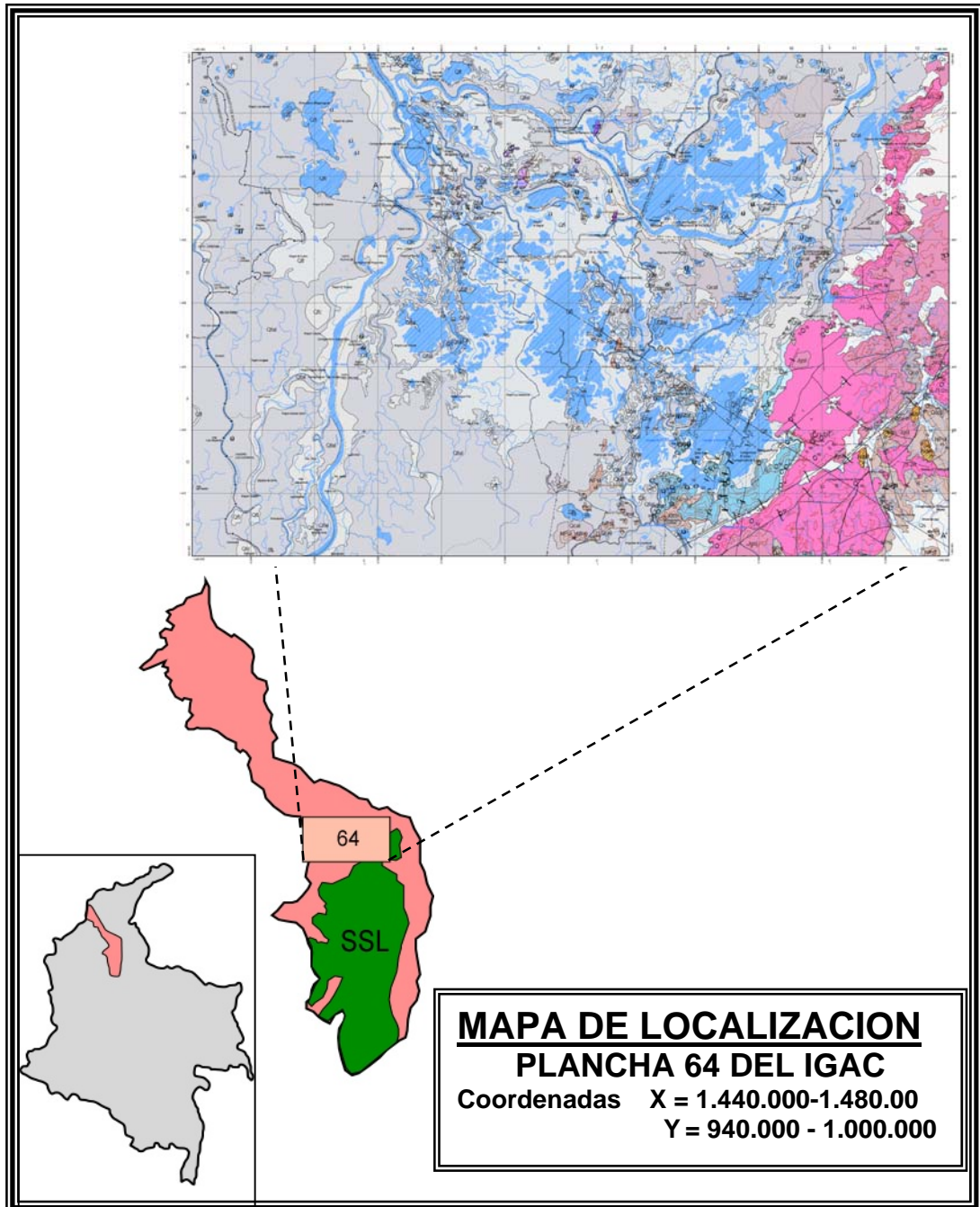
Mejía, Norosí, Arenales y Buenavista, desde donde se desprenden trochas de acceso que comunican con poblaciones como la Pacha y San Antonio y asentamientos veredales de colonizadores de la región (Memoria Geológica preliminar Plancha 64, 2005).

3.3. CLIMA

Las condiciones climáticas son calidas y húmedas con temperaturas que oscilan entre los 32° y 40° C., y una precipitación media anual del orden de 1500 a 2500 mm de distribución bimodal, en donde los meses de mayor precipitación son Abril- Mayo y Octubre-Noviembre.



Figura 1. Localización del área de estudio.





3.4. GEOMORFOLOGÍA

La plancha 64 se caracteriza por tener dos zonas geomorfológicas muy diferentes:

- La primera constituida por los valles del Río Cauca y Magdalena, la cual corresponde a una región de topografía plana y ondulada plana con desarrollo de ciénagas y drenajes producto de la dinámica fluvial de estos ríos que da origen a terrazas, llanuras de inundación y abanicos aluviales principalmente; las alturas no solo sobrepasan los 50 msnm, sobresalen algunos cerros aislados con alturas no mayores a los 100 msnm dentro de los que se destacan los cerros del Rosario, el Cerrito, los Guayabos, la Rufina y Pacoa.
- Hacia la parte oriental de la plancha encontramos un relieve montañoso con alturas máximas de 700 msnm, es una zona de topografía escarpada desarrollada en regiones donde se presentan rocas consolidadas de la Serranía de San Lucas y en las cuales los ríos forman cañones estrechos y profundos se presentan patrones de drenaje tipo enrejado (*trellis*), gracias a los frecuentes contrastes de materiales duros y blandos. Estas características le dan al paisaje un aspecto de serranías de poca altura y valles de gran extensión (López et al., 2005).



4. ANTECEDENTES

Los estudios realizados en la Serranía de San Lucas han sido principalmente de cartografía geológica, fotogeología con controles de campo y algunos programas de exploración de minerales.

La cartografía realizada permitió hacer una caracterización de las unidades presentes en la Serranía de San Lucas. Entre los estudios sobre esta zona se destacan los trabajos de:

Bogota y Aluja (1981), el cual permitió reconocer y cartografiar unidades desde el Precámbrico hasta el reciente e identificar tres zonas estructurales, además propone algunas correcciones al mapa fotogeológico realizado por Kassem y Arango (1977), este trabajo no llega a un gran detalle ya que la cartografía tiene como objetivo la exploración minera. Las unidades cartografiadas de edad Precámbrico y Paleozoico que constituyen el flanco W de la Serranía de San Lucas, incluyen neises, anfíbolitas, esquistos negros y localmente mármoles, mientras que su flanco E está constituido por una secuencia de rocas volcánicas y volcano-sedimentarias conformadas por riolacitas, tobas, rocas piroclásticas y andesitas de edad Jurasica. Este período está caracterizado por la evolución de un volcanismo de tipo ácido a intermedio de carácter efusivo hasta explosivo, seguido por inyecciones básicas tardías al final de este evento volcánico. Plutones dioríticos con facies más ácidas intruyen las rocas metamórficas y volcano-sedimentarias durante el Jurásico superior. Durante el Cretácico se depositan rocas sedimentarias marinas, mientras que en el Terciario rocas sedimentarias continentales reflejan el levantamiento de las cordilleras colombianas.



- En la campaña de las planchas 65 Tamalameque (Royero, 1997) y 75 Aguachica (Clavijo, 1996) realizada por el INGEOMINAS se presenta el mapa geológico con sus memorias, en las cuales se hace una descripción de las unidades, en estos trabajos se presentan un mayor número de datos tomados directamente en campo que en los trabajos anteriores.

- López et al., (2005), realiza la delimitación fotogeológica de unidades acumuladas durante el Neógeno - Cuaternario en las zonas comprendidas por las planchas 55, 64, 85 y 96. Las geoformas identificadas a escala 1:100.000, en general pueden clasificarse por su origen en: Geoformas de dinámica fluvial, Geoformas de acumulación y geoformas de origen estructural.

Otros autores han postulado más conceptos sobre la geología de la Serranía de San Lucas:

- Galvis y de la Espriella (1992) en el artículo Vulcanismo Terciario al Sur de la Isla de Mompos, se enfocan en la geología de la parte Nororiental de la Serranía de San Lucas y su transición a la Depresión Momposina. Se hace énfasis en la presencia de una amplia plataforma Precámbrica al Noroeste y de un evento magmático, diferente del que se presenta en el área Central y Sur de la Serranía, mucho más reciente, que produjo numerosos conos volcánicos que se destacan morfológicamente en la zona y cuya actividad parece haber tenido lugar durante el Cenozoico. Se hace también una breve referencia a los sedimentos Cretáceos del flanco Oriental de San Lucas.



Los trabajos sobre petrografía de las unidades de la Serranía son escasos y generalmente se basan en estudios de prospección minera, dentro de los cuales se encuentran:

- El estudio de Prospección de minerales radioactivos en la Serranía de San Lucas de Vargas (1981), a partir de análisis petrográficos que permitieron caracterizar el basamento continental a nivel de la vertiente oeste de la Serranía de San Lucas.
- Leutsh et al. (1980) en un reconocimiento geológico preliminar (informe inédito) presentan los resultados del análisis petrográfico, con catálogo de muestras, de las diferentes unidades que afloran en la Serranía de San Lucas, describiendo sus rasgos texturales, así como su composición mineralógica, abordando igualmente algunos aspectos relacionados con la petrogénesis de estas rocas.

En cuanto a dataciones de las unidades metamórficas presentes en la Serranía solo se tienen edades asignadas por similitud con otras ya descritas, Bogotá y Aluja (1981) proponen una edad precámbrica para las rocas metamórficas de mayor grado de metamorfismo (neises) que afloran en la Serranía de San Lucas, con base en su similitud con relación a las encontradas en la Sierra Nevada de Santa Marta en donde se han reportado edades de 900 y 1.300 Ma. Estos autores consideran que la edad de la unidad metamórfica de esquistos es difícil de precisar, aunque proponen una edad Paleozoico inferior, con base en la orientación estructural que presentan tanto el bandeamiento como la esquistosidad, como si hubiesen sido afectadas por el mismo evento. Sin embargo en el trabajo Metamorfismos Superpuestos en la Cordillera Central de Colombia de Restrepo y Toussaint (1982) en el cual apoya la hipótesis de un basamento



polimetamórfico para la Cordillera Central que se desarrollo desde el Precámbrico hasta el Cretácico se tienen en cuenta edades radiométricas tomadas para diferentes unidades. Las dataciones por isócronas Rb/Sr sobre algunos neises permitieron detectar dos eventos paleozoicos, los cuales podrían corresponder a las orogenias tardicaledoniana y tardiherciniana. Los metamorfismos cretácicos parecen corresponder a dos fenómenos geológicos diferentes, aunque muy cercanos el uno del otro en el tiempo: uno, principalmente cretácico temprano, y localizado en el borde occidental de la cordillera corresponde a un metamorfismo de media a alta presión asociado al emplazamiento de ofiolitas, probablemente por obducción; el otro afecta al núcleo de la cordillera y parece corresponder a un metamorfismo regional asociado a un cinturón magmático formado por plutones y batolitos de edad principalmente cretácica tardía.

Los trabajos más recientes realizados sobre la Serranía de San Lucas se enfocan al estudio de las mineralizaciones auroargentíferas que se presentan en la región debido a la importancia económica y el desarrollo que pudiera llevar a la misma una minería formal.

4.1. ESTUDIO DE LAS ROCAS METAMORFICAS

4.1.1. Generalidades

Las rocas metamórficas de la Serranía de San Lucas han sido poco estudiadas, se encuentran trabajos como el de Bogota y Aluja (1981), quienes dan una breve descripción de las unidades cartografiadas de edad Precámbrico (Neis de San Lucas) y Paleozoico (Esquistos).



- Neis de San Lucas: de composición cuarzo-feldespática y en menor proporción hornbléndica y micácea con facies anfibolita baja. Vargas (1981), definen una unidad compuesta por Neises cuarzo feldespáticos con alternancias milimétricas de capas compuestas por biotita y/o hornblenda con numerosas variaciones litológicas como leucogneises y anfibolitas.
- Esquistos: grafitosos con alternancia de niveles más silíceos representados por cuarcitas y esquistos cuarzo-sericíticos, muscovíticos y cloríticos. El sector oriental presenta esquistos negros con andalucita. Vargas (1981), consideran una unidad de esquistos y mica-esquistos grafitosos negros con intercalaciones centimétricas de cuarcitas, niveles carbonáticos, cuarcitas con cemento carbonatado y mármoles.

En el anexo del informe inédito de Leutsh (1980) se encuentra la descripción microscópica de rocas metamórficas encontradas en la Serranía de San Lucas, la cual incluye texturas principales y composición (**Tabla 1.**)



Tabla 1. Resumen del análisis petrográfico de rocas metamórficas de la Serranía de San Lucas presentado en el Anexo Petrográfico del informe de Leutsh et al., (1980).

Nombre	Textura	Minerales principales	Minerales accesorio
Neis con biotita	Granoblástica	Cuarzo, plagioclasa, biotita.	Opacos, magnetita, apatito.
Neis con Piroxeno	Granoblástica de grano muy grueso	Cuarzo, plagioclasa, porfidoblóstos de microclina y piroxenos.	Magnetita, apatito
Neis hornbléndico	Granoblástica de grano mediano.	Cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, anfíbol, biotita.	Opacos, esfena, circón.
Anfibolita	Nematoblástica	Cuarzo, anfíbol orientado, epidota, opacos.	Circón,
Cuarcita	Granoblástica muy fina	Cuarzo, biotita orientada, plagioclasas zonadas, Ortoclasa algunas con piroxenos	Esfena, apatito
Esquistos con Andalucita	Granuda	Porfidoblóstos de andalucita (quiasolita), sericita, cuarzo, biotita, clorita.	
Mica-esquisto	Granolepidoblástica - Lepidoblástica	Cuarzo, plagioclasa, ortoclasa, biotita, muscovita algunos con calcita y epidota	Andalucita?, sillimanita? estauroлита
Esquisto cuarzoso	Lepidoblástica con micropliegues	Cuarzo, biotita, moscovita, granate	



4.1.2. Caracterización Y Edad Del Metamorfismo

La caracterización del metamorfismo de la Serranía de San Lucas no ha sido un tema abordado en los diferentes trabajos sobre la región, se a inferido un metamorfismo regional, sin embargo no se han establecido facies ni condiciones de presión o temperatura posibles, en Bogotá y Aluja (1981) se sugiere una facie de metamorfismo anfibolita baja para la unidad Neis de San Lucas.

En cuanto a dataciones el estudio no ha sido mayor, Bogotá y Aluja (1981) infieren una edad Precámbrica para el Neis de San Lucas comparándolo con los neises de la Sierra Nevada de Santa Marta (900 y 1300 Ma). Martínez (1981) hace referencia de una datación radiométrica en rocas del basamento de la serranía que corresponde al Proterozoico.

Bogota y Aluja (1981) dan una edad Paleozoico Inferior para los Esquistos teniendo en cuenta que el bandeamiento como la esquistosidad tienen la misma orientación estructural como si hubiesen sido afectados por el mismo evento, estos autores consideran más antiguos los neises, no solamente por el mayor grado de metamorfismo sino por encontrarse cantos de neises dentro de un conglomerado perteneciente a la secuencia esquistosa. Además toman la presencia de braquiópodos del Paleozoico Inferior en rocas similares de menor grado de metamorfismo al sur de San Luis como referencia. En el informe de la Plancha 64 se infiere una edad Paleozoico (Inferior?) para los Esquistos de Armenia debido a las características del metamorfismo y la posición estratigráfica.



El metamorfismo en la Cordillera Central ha sido de gran controversia; Toussaint y Restrepo (1982), determinaron diferentes eventos que tuvieron como producto la formación de un basamento polimetamórfico para la cordillera a partir de las dataciones radiométricas realizadas para diferentes unidades. Ninguna de estas dataciones hace referencia a la Serranía de San Lucas. Definen un evento metamórfico Precámbrico que afectó la parte central de la faja oriental de la Cordillera, según dataciones de 1360 ± 270 m.a. K/Ar - Hb (Vesga y Barrero, 1978), en las anfibolitas de Tierradentro y para la parte occidental de la Cordillera se obtienen datos de K/Ar 1670 ± 500 m.a (Toussaint y Restrepo, 1978 a.). Para el Paleozoico se determinan dos eventos metamórficos sin embargo ninguna de las dataciones indica edades del Paleozoico Inferior que puedan ser correlacionadas con las edades inferidas para las unidades metamórficas encontradas en la Serranía de San Lucas.

Ward et al. (1973), considera que los neises de la Serranía de San Lucas pueden ser correlacionables con el Neis de Bucaramanga. Según Vargas (1981), la Serranía de San Lucas presenta un basamento Precámbrico y Paleozoico metamorfoseado, característico del basamento siálico del Oriente Andino, al cual también pertenecen la Cordillera Oriental, La Sierra Nevada de Santa Marta, y La Península de la Guajira.



5. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

5.1. ESTRATIGRAFÍA

Según los resultados del estudio cartográfico realizado dentro del convenio UIS – INGEOMINAS en la Serranía de San Lucas en la plancha 64 afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias (**Figura. 3**) con edades que van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario (**Figura 2.**), las cuales se describen a continuación con base en el trabajo anteriormente mencionado.

5.1.1. Precámbrico

Neis de San Lucas

Esta unidad es descrita por Feininger et al. (1970) y toma el nombre de la Serranía de San Lucas, cuyas estribaciones abarcan la región Oriental de la plancha 64 donde el neis de san Lucas aflora al SE de la misma principalmente.

Al Sur de la Falla Mejía se encuentra una amplia exposición de Neises cuarzo feldespáticos hornbléndicos, cuarzo-feldespáticos con biotita en ocasiones con textura augen (asociadas a deformaciones en ambientes dúctiles de la corteza, posiblemente relacionada con una importante banda de cizallamiento, que debió afectar a estas rocas durante la trayectoria de exhumación), neises cuarcítico-magnetíticos, cuarcíticos y anfibólicos, se



encuentran cortados por cuerpos ígneos graníticos y diques de composición dacítica y traquítica, al Norte (Corregimiento Colorado, Alto del Rosario, inspección de policía de Los Cerritos, entre otros), se observan cerros aislados que sobresalen en medio de una planicie con gran desarrollo de ciénagas y drenajes.

Son las rocas con mayor grado de metamorfismo en la plancha, provienen de protolitos pelíticos y cuarzo feldespáticos. Feininger et al. (1972), considera estas rocas proterozoicas, Bogotá y Aluja (1981) las comparan litológicamente con las rocas proterozoicas descritas por Tschanz et al. (1969) en la Sierra Nevada de Santa Marta. Ward et al. (1973), considera que pueden ser correlacionables con el Neis de Bucaramanga.

Figura 2. Columna Estratigráfica Generalizada de la Plancha 64. Modificado de Memoria Geológica Plancha 64, 2005.

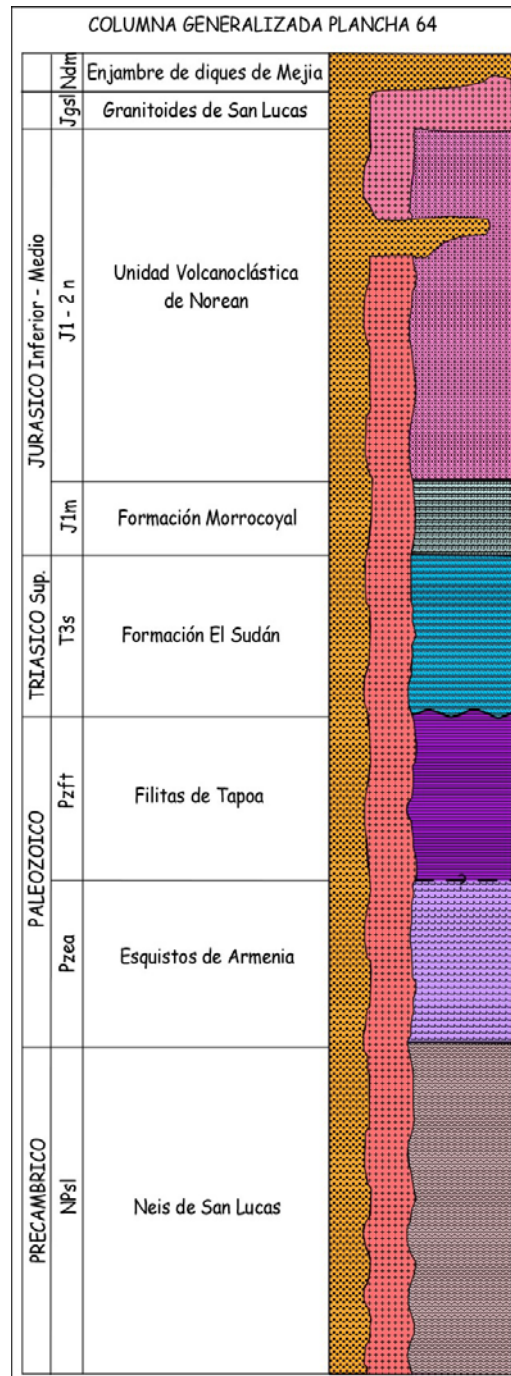
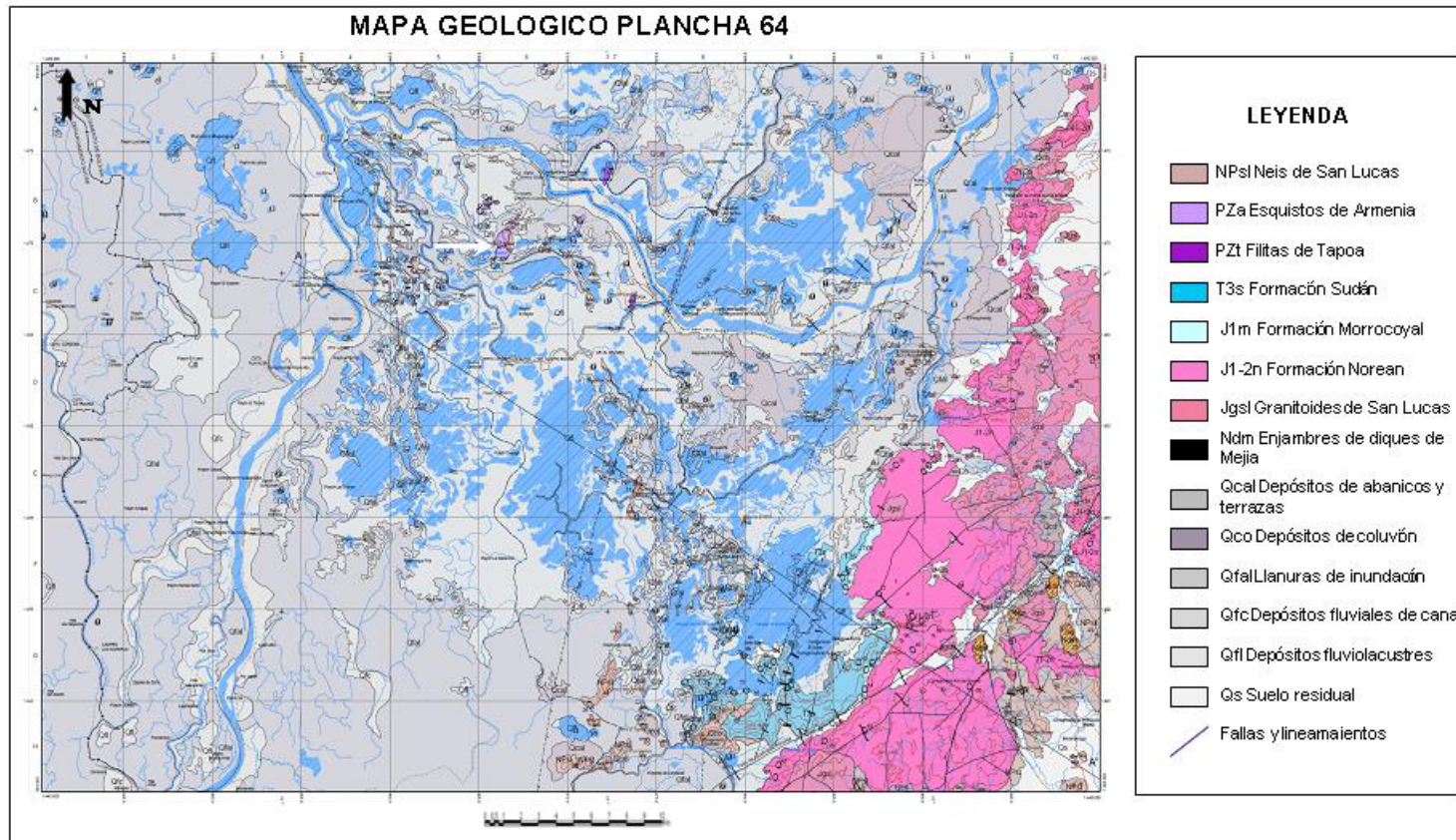


Figura 3. Mapa Geológico de la plancha 64 “Barranco de Loba”. Modificado de INGEOMINAS-UIS (2006).





5.1.2. Paleozoico

Unidad Metamórfica del Rosario

Esta unidad es propuesta en el Informe de la Plancha 64, producto de la fase inicial de Cartografía realizado dentro del Convenio; se le da este nombre a una unidad constituida hacia la base por esquistos andalucíticos, cuarcítico-anfibolíticos, cuarcítico biotíticos y feldespático cuarzosos con biotita denominados Esquistos de Armenia y hacia el techo por filitas de composición pelítica denominadas Filitas de Tapoa.

Esquistos de Armenia

Los Esquistos de Armenia se localizan al norte de la plancha 64 en una serie de cerros aislados que sobresalen entre las ciénagas formando islas, se encuentran al sur del Municipio de Armenia (corregimiento de Pinillos). De oeste a este o de base a techo se encuentran esquistos pelíticos con andalucita (Cerro La Caimanera), esquistos cuarcíticos intercalados con niveles milimétricos de anfíboles y micas localmente con estructuras de hidrofracturamiento (bandas cuarzosas paralelas a la foliación principal 30/75 con fragmentos de esquisto) se encuentran en el Cerro El Rosario, seguidos por esquistos cuarzo-anfibolíticos y cuarzo moscovíticos intercalados con nivelillos de esquistos andalucíticos, en la parte occidental del cerro se encuentran esquistos feldespáticos cuarzosos con biotita. Los afloramientos más orientales se encuentran en el Cerro Santo Domingo corresponden a esquistos pelíticos con andalucita.



Debido a las características del metamorfismo y la posición estratigráfica se infiere una edad Paleozoico (Inferior?) para esta unidad en la Memoria Geológica de la Plancha 64 (2005).

Filitas de Tapoa

Esta unidad informal se localiza en la parte central de plancha 64 entre las localidades de Santa Rosa y Río Nuevo, afloran en Cerros aislados de Guayabal y Tapoa donde recibe el nombre, con alturas hasta de 50 m, los cuales se ubican sobre la planicie aluvial actual del Río Magdalena.

Son rocas metamórficas de bajo grado, tipo filitas gris verdosas y rojas por alteración, sedosas por desarrollo de sericita, finamente laminadas e intercaladas irregularmente por cuarcitas blancas de tamaño de grano fino a medio. Se observa un patrón grano creciente de filitas a cuarcitas en el sector del Cerro Guayabal.

Esta unidad presenta alto replegamiento con una foliación metamórfica regional entre N10-40°E con foliaciones al NW y SE. Se indica una estrecha relación temporal entre el metamorfismo y la actividad tectónica de la Falla La Palestina debido a que el rumbo y las direcciones de foliación son regionalmente paralelos a la misma.

Se asume que esta unidad suprayace a los Esquistos de Armenia, el límite superior es fallado con la formación Neis de San Lucas. Litológicamente esta unidad es correlacionable con la parte más superior del Grupo Quetame en la región del Piedemonte Llanero y probablemente con la parte superior de las filitas de Ometá en la región de Paz del Río.



5.1.3. Mesozoico

Formación El Sudán

Esta formación fue definida por Geyer en 1982, en la sección aflorante entre el Caserío de El Sudán y el Cerro Los Angeles y en la sección aflorante en la Quebrada La Mojana. La Formación El Sudán corresponde morfológicamente a las zonas montañosas más próximas a las Ciénagas de El Amaparo y Morrocoyal. El rumbo general en este sector varían entre N60°E y N15°E, con buzamientos entre 18° NW y 40° NW respectivamente.

Corresponde a una secuencia sedimentaria de color rojo, la cual presenta fuertes contrastes morfológicos con las formaciones infra y suprayacentes (Neis de San Lucas y Morrocoyal respectivamente). La Formación El Sudán presenta 3 niveles conglomeráticos separados por potentes intervalos de limoarcillolitas de color rojizo y capas de arenitas tobáceas de color amarillo, cuarzoarenitas con matriz calcárea o cementadas en sílice con estratificación en artesa y arenitas rojas con matriz calcárea.

El contacto inferior de la Formación el Sudán es discordante sobre rocas metamórficas de la formación Neis de San Lucas según se observó en el Corregimiento Colorado. En la Formación El Sudán no se ha reportado la presencia de fósiles, siendo asignada su edad a Triásico, por encontrarse bajo la Formación Morrocoyal, cuyo registro paleontológico indica una edad de Jurásico inferior según Geyer (1969, 1982). Según Cediél et al. (1980, 1981) la formación El Sudán se puede correlacionar con la Formación Luisa del Valle Superior del Magdalena.



Formación Morrocoyal

El nombre de Formación Morrocoyal fue inicialmente empleado por Trumpy (1943) para referirse a una sucesión de arcillolitas y calizas oscuras bien laminadas ricas en amonitas y bivalvos, presente en la región de la Ciénaga de Morrocoyal.

La Formación Morrocoyal, aflora en la parte alta de la Loma de Los Ángeles. De base a tope, esta se caracteriza por una sucesión de limolitas y arcillolitas gris oscuras, bien laminadas. Hacia la base y hacia la parte media de esta sucesión se aprecian capas muy delgadas de calizas con impresiones fósiles. La abundancia de fauna fósil y el tamaño de los especímenes tiende a aumentar hacia el tope de la formación. En el sector de la Mina Santa Cruz, la formación es afectada por intrusiones de rocas de composición ácida (cuerpos riolíticos).

La edad de la Formación Morrocoyal según Geyer (1969), es Jurásico inferior, gracias a la abundante fauna de amonitas. La edad de la intrusión que afectó a la unidad en la zona de la Mina Santa Cruz es claramente post Jurásico inferior. Se considera como el equivalente estratigráfico facial de la Formación Saldaña (Cediel et al., 1980, 1981).

Unidad Volcanoclástica Noreán

El nombre de esta unidad fue propuesto por Clavijo (1996), para una secuencia volcanoclástica que aflora en la carretera Buturama – Bombeadero. Esta unidad que ocupa la mayor parte del área montañosa al Occidente de la Plancha 64.



Esta unidad se encuentra constituida por tobas y aglomerados cristalino-lífticos, de color gris verdoso a rosado en capas planas a ligeramente onduladas, de composición dacítica a riolítica, con fenocristales y cristales de plagioclasa, cuarzo y fragmentos angulares de tobas, con estructuras de flujo. Se intercalan capas de lavas dacíticas las cuales también se observan en forma de diques en algunos sectores.

Presenta un contacto discordante con la unidad Neis de San Lucas y concordante con la Formación Morrocoyal. La Unidad Volcanoclástica de Noreán constituye el registro de un importante evento volcánico de carácter predominantemente explosivo andesítico-dacítico que influenciaron una sedimentación continental-epicontinental, a principios y mediados del Jurásico (Clavijo, 1996). Es correlacionable con la Formación Jordán (Daconte y Salinas, 1980), con la formación La Quinta en la Serranía del Perijá (Maze, 1984) y con la Formación Guatapurí en la Sierra Nevada de Santa Marta y el valle del Cesar (Tschanz et al., 1969).

Granitoides de San Lucas

Esta unidad fue nombrada por Clavijo (1996), para describir un conjunto de rocas ígneas que afloran en la región Occidental de la plancha 65 constituida por granodioritas y cuarzodioritas.

En la plancha 64, estos cuerpos afloran en el extremo suroriental y se extienden desde el oriente desde el Caserío de La Pacha, hacia el Norte pasando por Pueblito Mejía y San Antonio.

Su composición varía entre granodiorita biotítico–hornbléndica,



cuarzomonzonita, monzogranito, sienogranito y monzonita. Son rocas cristalinas de grano grueso a medio, con altos contenidos de cuarzo y en menor proporción plagioclasa, feldespato potásico y anfíbol. En algunos sectores se encuentra altamente alterada y diaclasada desarrollando formas esferoidales, en sectores donde la meteorización es mayor se forman suelos residuales como los observados al oriente de la población de San Antonio.

Feininger (1970), asume una edad Jurásico Superior para estos cuerpos, evidenciada por la presencia de xenolitos de la unidad Volcanoclástica de Noreán.

5.1.4. Terciario

Enjambre de Diques de Mejía

Este Complejo incluye enjambres de diques de composición variable desde dacitas, traquitas, riolitas y andesito-basaltos, los cuales cortan al Neis de San Lucas, la Formación Sudán, la Unidad Volcanoclástica de Noreán y al Conjunto Granítico de San Lucas. Presentan texturas afaníticas (especialmente las dacitas) y porfiríticas-afaníticas (especialmente en los dique riolíticos, traquiticos y basaltico-andesíticos).



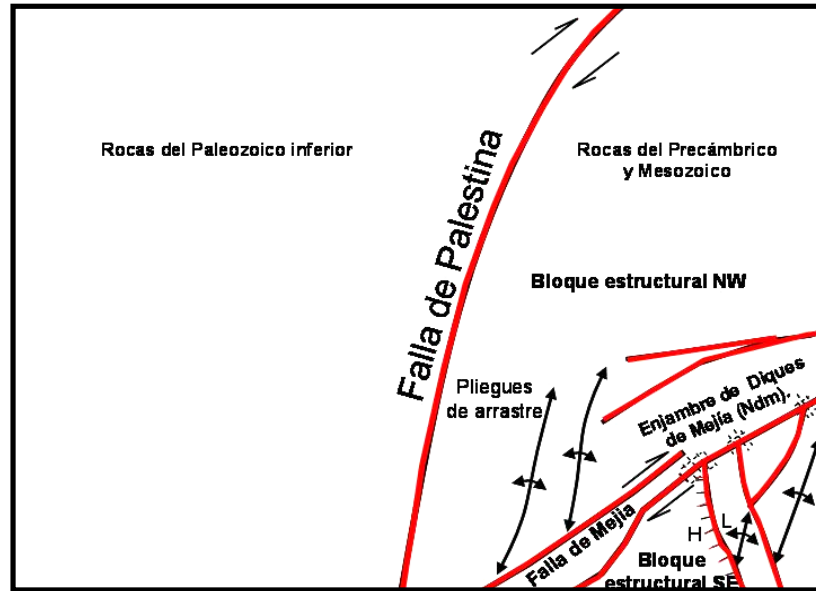
5.1.5. Cuaternario

El cuaternario se encuentra ocupando la parte occidental de la plancha 64, corresponde a depósitos de dinámica fluvial y de acumulación como depósitos de abanicos y terrazas aluviales, llanuras de inundación, depósitos fluviolacustres, depósitos de coluvión, depósitos fluviales de canal y suelos residuales. Presentan una gran extensión y son producto de la actividad de los ríos Magdalena y Cauca.

5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Según el estudio cartográfico realizado dentro del convenio UIS – INGEOMINAS, la región se puede dividir en dos bloques (**Figura 4.**); el bloque NW comprendido entre las fallas de Mejía y La Palestina y el bloque SE comprendido entre las fallas de Mejía y La Azulita (se ubica fuera de la plancha 64, Cerro el Piñal); estos bloques limitados por grandes fallas presentan sistemas de fallas de menor extensión.

Figura 4. Esquema estructural de la plancha 64. Tomado de INGEOMINAS, 2005.



5.2.1. Falla de Palestina

La falla la Palestina hace parte de un sistema de fallas que se considera que constituyen una sutura entre el terreno Cajamarca-Valdivia y el Terreno Chicamocha, la cual fue activa durante el Paleozoico medio a tardío (Cediel et. al, 2003). La edad de la reactivación de la falla no ha sido precisada, según Cediel et. al, (2003) fue iniciada en el Aptiano-Albiano o probablemente en el Terciario (Feinienger, 1970). Este sistema de fallas se caracteriza por mostrar movimientos dextralaterales, presentar evidencia de cizallamiento extensivo, vergencia y conexión al sur con el sistema de fallas de Romeral (Cediel et al., 2003).



En la plancha 64 el trazo de la falla no es visible debido a que se encuentra bajo la zona de ciénagas, es establecido a partir de mapas aeromagnéticos, se encuentra atravesando la plancha de sur a norte. Presenta rumbo NS en Corregimiento Colorado a NNE en el Corregimiento el Cerrito. Los cerros presentan una dirección de alargamiento paralela al rumbo de la falla, la cual coloca en contacto el Neis de San Lucas al E y las Filitas de Tapoa al W.

Según INGEOMINAS (2005), la Falla de Palestina se interpreta como una falla inversa, que gradualmente gana componente de rumbo dextralateral en la región del Corregimiento de Cerrito, por su gradual giro hacia el NE.

5.2.2. Falla de Mejía

Se ubica en la parte suroriental de la plancha 64, se extiende por más de 20 Km., presenta dirección N50° - 60° E, pone en contacto rocas de la unidad volcanoclástica de Noreán con rocas del Neis de San Lucas y los Granitoides de San Lucas. A esta falla se asocian geoformas como ganchos de falla, corrientes desplazadas y contrapendientes, evidenciando una falla normal con fuerte componente dextro-lateral, lo cual produce el basculamiento del bloque NW hacia el SE.

5.2.3. Bloque estructural NW

Se encuentra limitado por las fallas de Palestina y Mejía. Las fallas presentes en este bloque tienen rumbo N – S y NE - SW, subordinadas a las fallas límite. Esta zona se caracteriza por presentar rocas más jóvenes al oriente y más antiguas al occidente evidenciando un basculamiento del bloque por efecto de la falla de Mejía. Este bloque se caracteriza por presentar pliegues



con arreglo “echelon” con respecto a la falla Mejía, configurando una zona de deformación por cizalla simple dextral.

5.2.4. Bloque estructural SE

Se encuentra limitado por la falla de Mejía y la falla La Azulita, se caracteriza por presentar fallas con rumbo N 20° - 30° W y fallas de rumbo NE concordantes con la dirección dextral de cizalla, se encuentran pliegues con ejes dispuestos en “echelon” a 30° en sentido horario, los cuales afectan rocas metamórficas del Neis de San Lucas y la Unidad Volcanoclástica de Noreán. El bloque es el resultado del movimiento dextral conjugado entre las fallas de Mejía y La azulita, el cual plegó y fracturo la región permitiendo el emplazamiento de rocas de los Granitoides de San Lucas.



6. PETROGRAFIA DEL NEIS DE SAN LUCAS

En la unidad Neis de San Lucas se identificaron neises cuarzo-feldespáticos con biotita, cuarzo-feldespáticos con hornblenda, hornbléndicos, metagabros y granulitas. La ubicación de las muestras de esta unidad analizadas se presenta en la **Figura 5**.

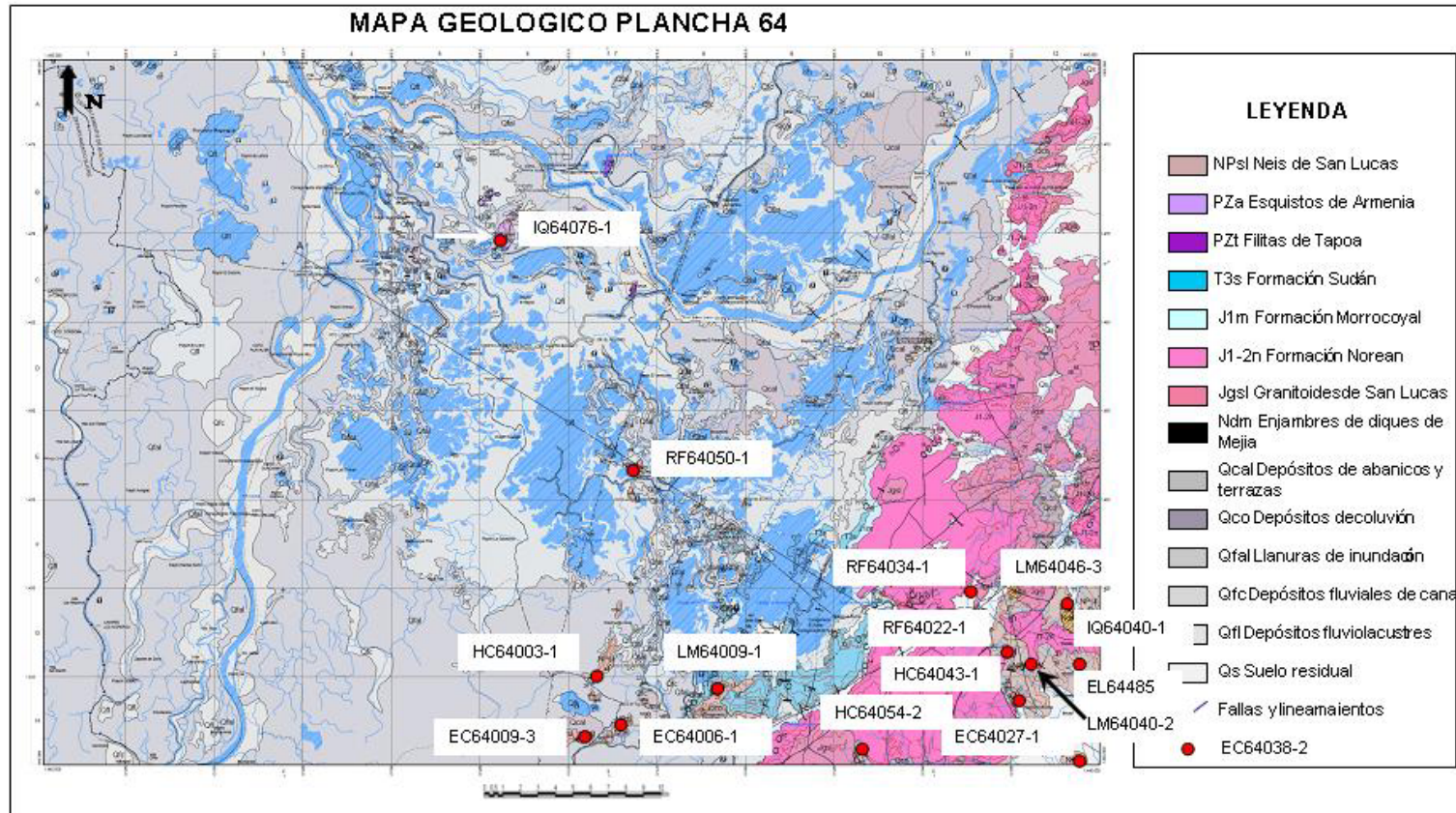
Un resumen de la composición mineralógica de las diferentes rocas del Neis de San Lucas se presenta en las **Tablas 2 y 3**.



Tabla 2. Composición mineralógica de los neises de la unidad Neis de San Lucas.

Mineral	Tipo de Roca		
	Neis cuarzo-feldespático con biotita	Neis cuarzo-feldespático con hornblenda	Neis hornbléndico
Qtz	24 - 31	29 - 44	10.4 - 30
Pl	15 - 22	26 - 31	15.8 - 28
Ser(Pl)	0 - 6	4 - 8.4	2.4 - 7.4
Carbonatos(Pl)		0 - 4	0 - 4
Ep(Pl)		0 - 2	
kfs	11- 16.4	0 - 16	0 - 12.4
Mc	0 - 13	0 - 20.8	
Hbl	0 - 7.6	1. - 9	6.6 - 22.8
Chl(Hbl)	0 - 3	0 - 6	3.4 - 10.6
Ep(Hbl)	0 - 7	0 - 11.8	
Carbonatos(Hbl)		0 - 2	0 - 4
Bt	8 - 19	0 - 4.8	0 - 7.4
Ep(Bt)			0 - 4
Chl(Bt)	0 - 3	0 - 2.6	
Ms		0 - 2.6	
Spn	0 - 8.2		
Op	1.5 - 4	1.2 - 5.2	1.6 - 7.2
Ilm	0 - 4		
Rt	0 - 3		0 - 1.4
Zrn	1 - 1.6	0.8 - 1.6	1 - 2
Ap	0 - 2	0 - 2	0 - 2

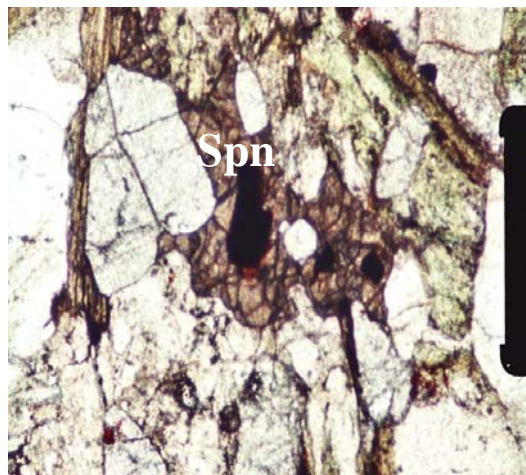
Figura 5. Mapa de ubicación de las muestras analizadas para el Neis de San Lucas.



6.1. NEIS CUARZO-FELDESPÁTICO CON BIOTITA

(Muestras: RF64050-1, LM64-009-1, EC64-006-1)

Figura 6. Coronas de esfena rodeando opacos (Muestra: LM64-009-1) N//, Aumento 8.

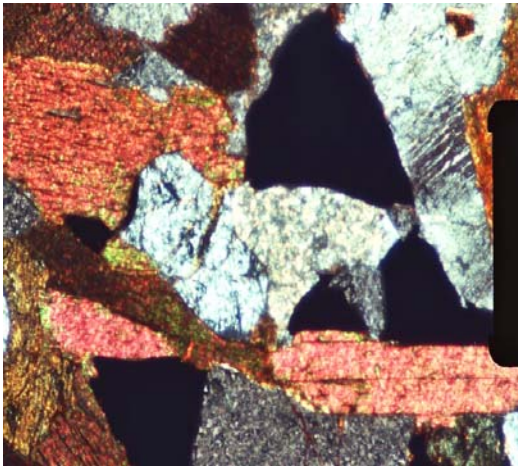


Macroscópicamente esta variedad presenta colores intermedios a oscuros, son rocas faneríticas, presentan estructura néisica ocasionalmente tipo Augen con porfidoblóstos de feldespato potásico, las bandas son discontinuas. Dentro de los minerales principales de estas rocas identificados al microscopio se encuentran individuos heteroblasticos en su mayoría subidoblásticos a xenoblásticos de: **Cuarzo** con bordes irregulares algunos subredondeados, contactos suturados, fracturados de tamaño de grano fino a medio con marcada extinción ondulante. Algunos cristales de forma redondeada se encuentran incluidos o englobados en plagioclasa. La **Plagioclasa** se presenta como individuos con maclado polisintético, con fracturas rellenas por óxidos, localmente presenta textura mirmekítica y/o

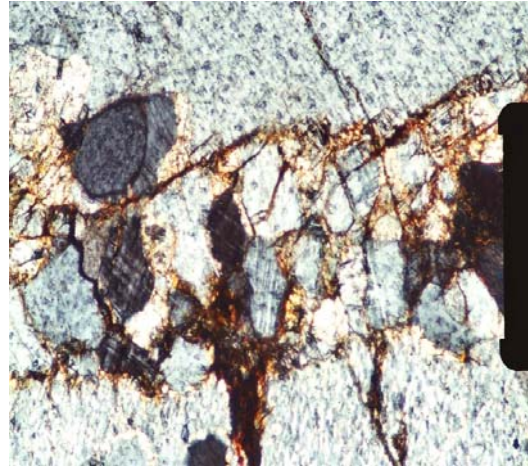


perítica, se encuentra alterada a sericita. Por medio del método Michel-Levy se determinaron las siguientes composiciones ($An_{69} Ab_{31}$), variando a ($An_{61} Ab_{39}$). En algunas muestras se observan recristalizaciones de menor tamaño de cuarzo y plagioclasa. También encontramos como minerales principales en algunas rocas la **Microclina** en forma de individuos con algunos bordes rectilíneos irregulares y macla de enrejado. El **Feldespato Potásico** se presenta como individuos con algunos bordes subredondeados, con fracturas rellenas con ilmenita, textura perítica, mirmekítica y simplectítica definida por intercrecimientos con plagioclasa, en algunas muestras se presentan como porfiroblastos de carácter sincinemático. Localmente presenta alteración a caolinita hacia los bordes. La **Biotita** se encuentra como individuos de color pardo, con pleocroísmo $X \approx Z =$ Pardo, $Y =$ Pardo rojizo, algunos con terminaciones irregulares, los colores se encuentran enmascarados por los óxidos que rodean los cristales y la elevada cloritización que presenta el mineral en algunas secciones. La **Esfena** se presenta como individuos o agregados granulares de color pardo formando coronas alrededor de opacos (**Figura 6**). En algunas rocas se encuentra **Hornblenda** como individuos de color verde amarillento, de tamaño de grano medio, o individuos de color verde con pleocroísmo $X =$ pardo, $Y =$ Verde amarillento, $Z =$ Verde, se encuentra altamente epidotizada y/o cloritizada, presenta inclusiones subredondeadas de cuarzo. Como minerales menores encontramos **Ilmenita** en agregados de color marrón rojizo o relleno de fracturas, **Rutilo** y **Opacos** ocasionalmente rodeados por coronas de esfena. Dentro de los minerales accesorios se encuentran el **Circón** y el **Apatito** de tamaños de grano muy finos. La textura general de la roca es Lepidogranoblástica localmente perítica y mirmekítica, en algunas rocas se observa textura granoblástica (**Figura 7**).

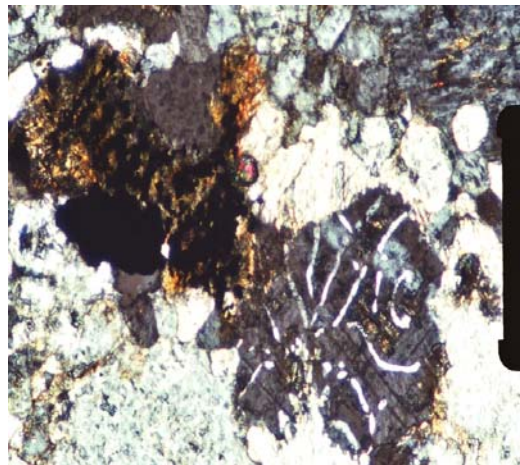
Figura 7. Texturas de los neises cuarzo feldespáticos con biotita. a. Lepidogranoblástica (Muestra: EC64-006-1) NX, Aumento 8, b. Granoblástica (Muestra: RF64050-1) NX, Aumento 8, c. Textura mirmekítica (Muestra: RF64050-1) NX, Aumento 8.



a.



b.



c.

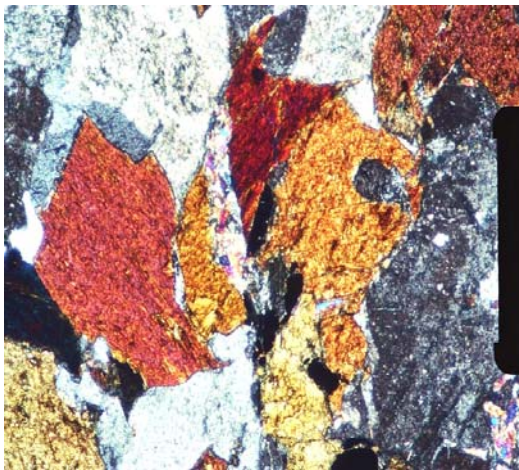


6.2. NEIS CUARZO FELDESPÁTICO CON HORNBLENDA (Muestras: HC64043-1, HC64054-2, IQ6404001, LM64040-2, EC64-027-1)

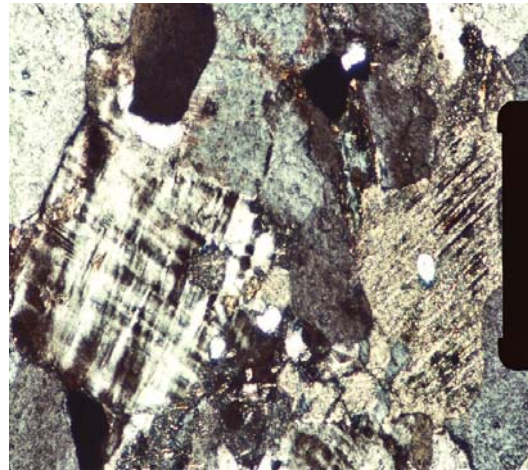
Rocas de colores claros a intermedios, son rocas faneríticas heteroblásticas con estructura néisica marcada por bandas oscuras de anfíboles, intercaladas con bandas cuarzo feldespáticas de diversos espesores, microscópicamente se identificaron individuos heteroblásticos, subidioblásticos a xenoblásticos de **Cuarzo** con bordes irregulares algunos suturados, con fracturas, extinción ondulante y cristales de forma redondeada incluidos o englobados en plagioclasa y hornblenda. **Plagioclasa** con bordes irregulares algunos rectos, con maclado polisintético y fracturas rellenas por clorita u opacos, se encuentran rodeados por cuarzo, presenta textura mirmekítica localmente, la sericitización en algunos cristales es más intensa que en otros, además se encuentra remplazada por carbonatos y epidota. Por medio del método Michel-Levy se determinó una composición ($An_{59} Ab_{41}$) para un grupo de plagioclasas con maclado polisintético. **Feldespato Potásico** no identificado con algunos bordes subredondeados, presentan fracturamiento, localmente presenta textura mirmekítica y peritítica. **Microclina** con bordes irregulares algunos rectilíneos, presenta macla de enrejado, algunos cristales presentan sericitización escasa principalmente hacia los bordes. La **Hornblenda** se presenta fracturada con pleocroísmo así: X = Amarillo claro, Y = Verde amarillento claro, Z = Verde oliva, de tamaño de grano medio, en otras secciones se observan como relictos debido a la cloritización y/o epidotización, las cuales producen colores de interferencia anómalos, también presenta manchas cafés de biotitización y en algunos casos se desarrollan carbonatos hacia los bordes. Generalmente presenta inclusiones de cuarzo. Como minerales menores encontramos **Biotita** individuos de color amarillo verdoso con pleocroísmo Z = verde, X =

amarillo, Y = amarillo verdoso, con terminaciones irregulares, exfoliación en una dirección, se encuentra altamente cloritizada. **Muscovita** como individuos de grano fino subidioblásticos y **Opacos** como fragmentos asociados a clorita o agregados de color marrón rojizo. Los minerales accesorio son **Circón** y **Apatito**. La textura general de la roca es granoblástica en algunas nematogranoblástica, localmente se presentan texturas pertítica y mirmekítica, algunas muestras presentan textura lepidogranoblástica debido a la cloritización de la hornblenda (**Figura 8.**).

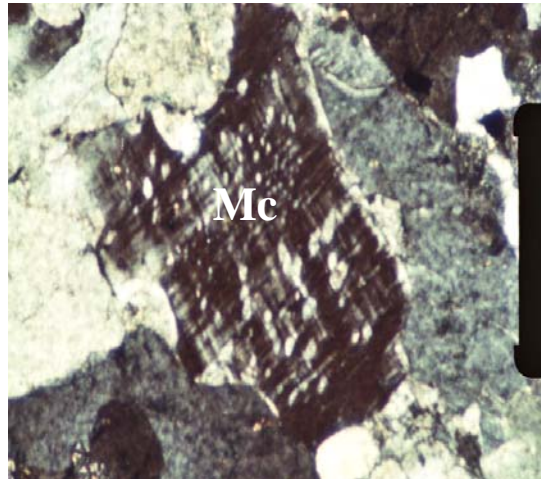
Figura 8. Texturas principales de los neises cuarzo feldespáticas con hornblenda. a. Nematogranoblástica (Muestra: IQ6404001) NX, Aumento 8, b. Granoblástica (Muestra: HC64054-2) NX, Aumento 8, c. Textura pertítica en microclina (Muestra: HC64054-2) NX, Aumento 8.



a.



b.

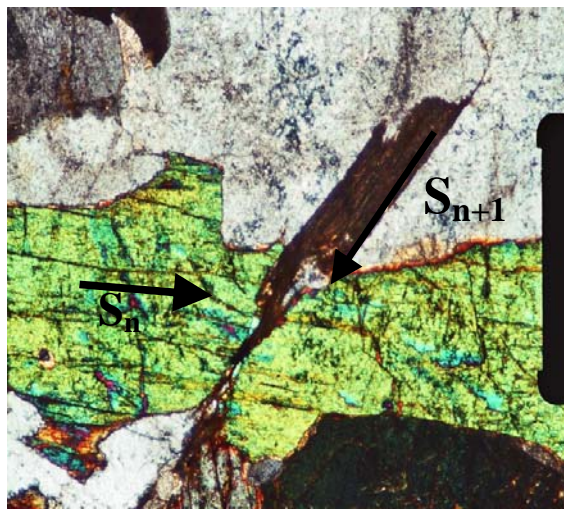


C.

6.3. NEIS HORNBLÉNDICO

(Muestras: EC64-009-3, LM64-046-3, RF64-022-1)

Figura 9. Foliación S_n y S_{n+1} en la muestra LM64-046-3, NX, Aumento 8.

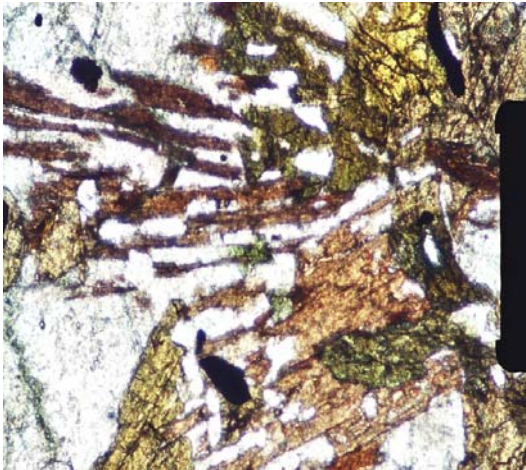




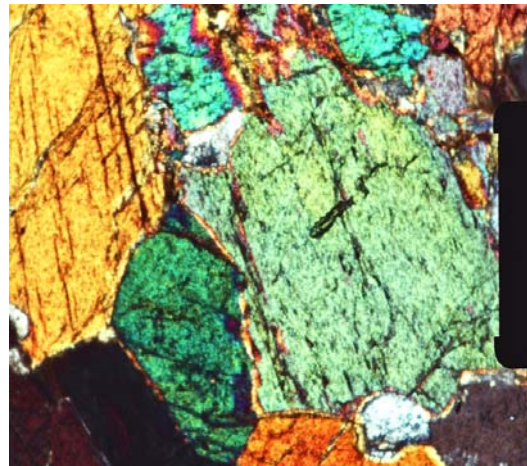
Macroscópicamente esta roca presenta color oscuro, es fanerítica y heteroblástica, en algunas muestras se observa estructura néisica en otras masiva, localmente se observan agregados cuarzo feldespáticos. En una de las secciones se observa que individuos subidioblásticos de hornblenda se asocian a plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico definiendo una foliación S_n y los individuos idioblásticos se asocian a biotita par definir una foliación S_{n+1} (**Figura 9.**) Los principales minerales constituyentes de esta variedad son individuos xenoblásticos a subidioblásticos, heteroblásticos de tamaño de grano medio de: **Hornblenda** individuos de color verde con pleocroísmo $X \approx Y =$ Amarillo claro verdoso o Pardo amarillento, $Z =$ verde, exfoliación en una y en dos direcciones, presentan relieve moderado y fracturas rellenas por clorita, algunos se encuentran maclados, se observan colores de interferencia de segundo orden, presenta inclusiones de cuarzo algunas orientadas en la dirección de la foliación, localmente se encuentra rodeada por óxidos, se encuentra fuertemente cloritizada y remplazada por calcita. En una de las secciones se observa que los individuos subidioblásticos se asocian a plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico definiendo una foliación S_n y los individuos idioblásticos se asocian a biotita par definir una foliación S_{n+1} . **Cuarzo** incoloro con bordes subredondeados, presenta extinción ondulante, se encuentra como inclusiones dentro de la hornblenda siguiendo la dirección de la exfoliación en algunos casos. **Plagioclasa** individuos incoloros, fracturados con macla polisintética ocasionalmente, colores de interferencia de primer orden, presenta sericitización en algunos casos muy abundante y reemplazamiento por carbonatos, localmente textura mirmekítica. En una de las muestras se pudo identificar una composición $An_{67} Ab_{33}$ para la plagioclasa. **Feldespato Potásico** individuos incoloros, presenta fracturas rellenas por clorita, localmente presenta textura perítica e inclusiones subredondeadas de cuarzo o relictos de plagioclasa dentro de los

crisales. ***Biotita*** individuos de color pardo con pleocroísmo X = Pardo rojizo, Y = Café, Z = Pardo, tabulares con terminaciones irregulares, exfoliación en una dirección y relieve muy marcado, colores de interferencia altos de segundo orden, presenta inclusiones de cuarzo, en algunas secciones presenta epidotización. En algunas secciones se encuentra como mineral menor ***Opacos*** como individuos xenoblásticos a subidioblásticos de tamaño de grano fino a medio, distribuidos de manera homogénea. Como minerales accesorios se observa ***Rutilo***, ***Circón*** y ***Apatito*** de tamaño de grano fino. Las textura general es nematogranoblástica localmente presenta textura pertítica y mirmekítica (**Figura 10.**).

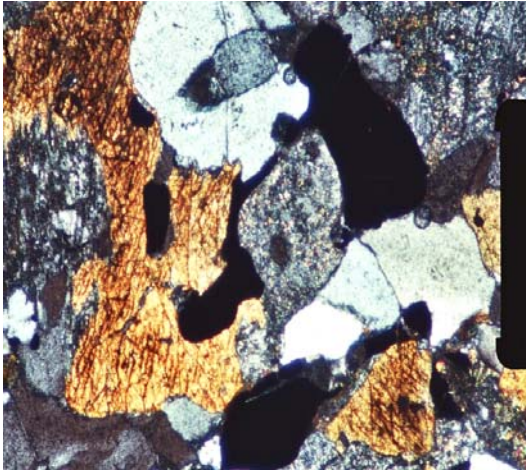
Figura 10. Textura nematogranoblástica en los neises hornbléndicos. a. Muestra RF64-022-1, N//, Aumento 8, b. Muestra LM64-046-3, NX, Aumento 8 c. Muestra EC64-009-3, NX, Aumento 8, d. Textura mirmekítica en plagioclasa sericitizada (Muestra: EC64-009-3) NX, Aumento 8.



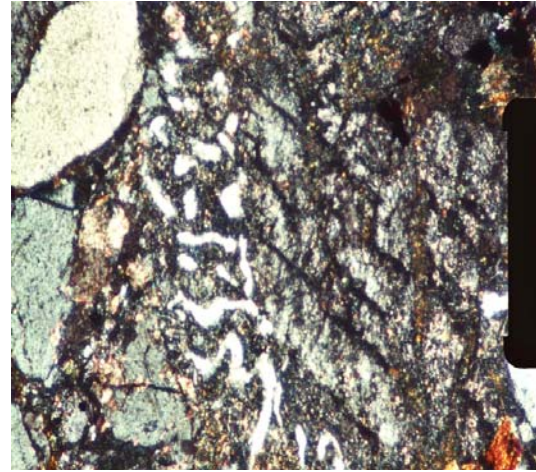
a.



b.



c.

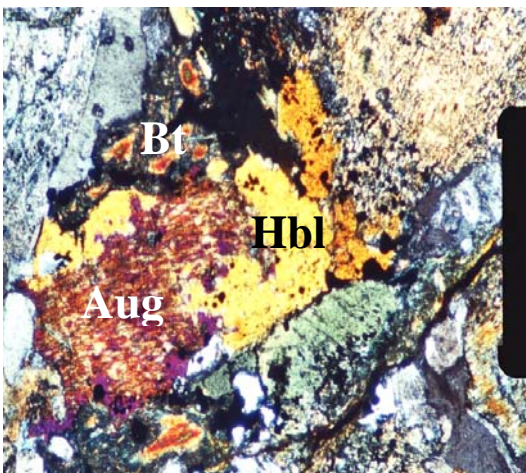


d.

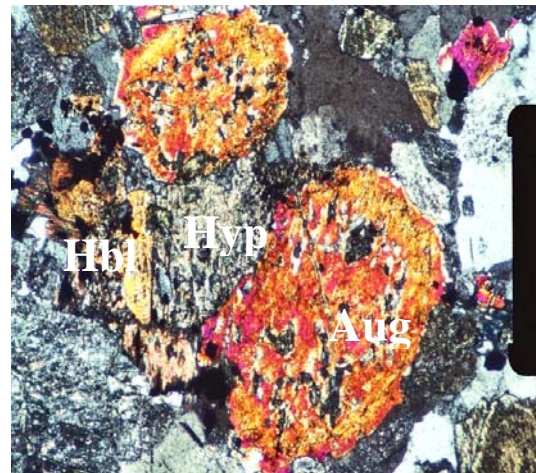
6.4. METAGABRO

(Muestra: RF64034001)

Figura 11. Textura nematogranoblástica. a. Hornblenda y biotita reemplazando augita. NX, Aumento 8, b. Hornblenda reemplazando augita e hiperstena. NX, Aumento 8.



a.



b.



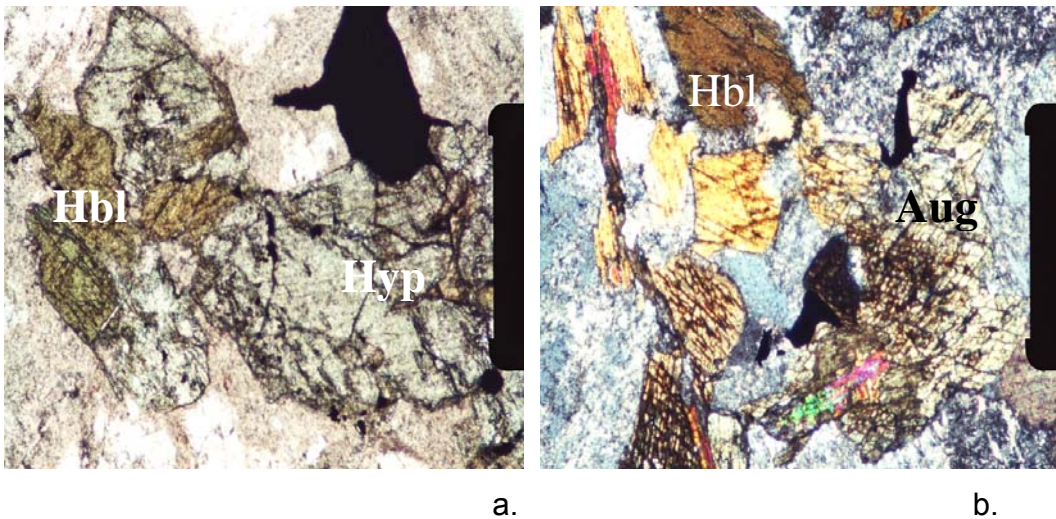
Roca de color oscuro, fanerítica, heteroblástica, presenta estructura masiva, esta compuesta por minerales xenoblásticos. Los minerales constituyentes de esta variedad son individuos xenoblásticos de tamaño de grano medio de: **Cuarzo** individuos incoloros, con extinción ondulante, colores de interferencia de primer orden y contactos suturados. **Hiperstena** individuos incoloros con pleocroísmo a pardo rojizo muy suave, de relieve alto, se encuentra alterada a biotita y epidota; **Plagioclasa** individuos incoloros, presenta macla polisintética, colores de interferencia de primer orden y seritización abundante, se determinó una composición ($An_{49}Ab_{51}$); **Augita** individuos incoloros o de tono amarillo muy claro, con exfoliación en dos direcciones, macla polisintética, colores de interferencia de segundo orden, se encuentra epidotizada y remplazada por hornblenda (**Figura 11.**) **Diópsido** individuos incoloros, de relieve moderado, con exfoliación en una dirección y colores de interferencia morados y azules de segundo orden, se encuentra epidotizada. Como minerales menores se encuentran **Opacos** como individuos asociados a epidota o venillas, y el **Circón** como mineral accesorio de tamaño de grano muy fino. Esta roca presenta una textura nematogranoblástica.

6.5. GRANULITAS

Macroscópicamente son rocas de color oscuro, faneríticas, homeoblásticas algunas heteroblásticas, algunas presentan estructura masiva en otras se observa estructura néisica con bandas de espesores variables. Estas granulitas se dividen en dos grupos debido a su grado de alteración:

- **Granulitas puras (poco alteradas)**
(Muestra: EL64-485)

Figura 12. Relictos de hiperstena y augita en una granulita poco alterada con textura nematogranoblástica. a. N//, Aumento 8 y b. NX, Aumento 8.

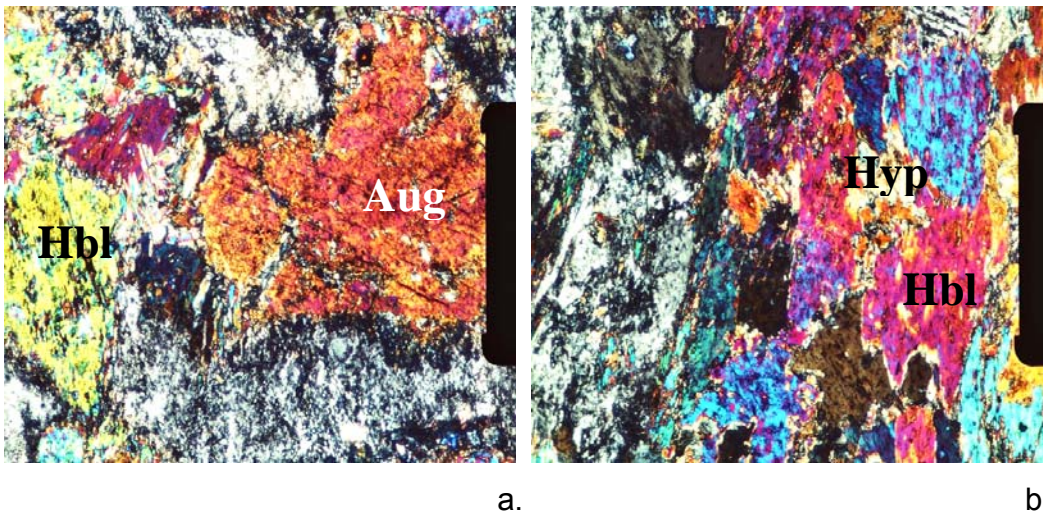


Los minerales que las conforman son: **Plagioclasa** ($An_{60} Ab_{40}$), individuos incoloros de aspecto sucio, suidioblásticos a xenoblásticos de tamaño de grano medio, en algunos se observa macla polisintética, se encuentra altamente sericitizada y remplazada por carbonatos. **Hiperstena** se presenta como relictos dentro de biotita, presenta un relieve alto, incolora, altamente fracturada y con birrefringencia baja. **Augita** relictos incoloros dentro de biotita o epidotizados, altamente fracturados, con colores de interferencia amarillos y naranjas de segundo orden. La hornblenda se encuentra hacia los bordes de la Augita y la Hiperstena como producto del reemplazamiento. **Opacos** individuos xenoblásticos, heteroblásticos, de tamaño de grano fino a medio, distribuidos de manera homogénea en la sección. Como accesorio se

encuentra **Apatito**. La textura de la roca es nematogranoblástica (**Figura 12.**).

**- Granulitas alteradas
(Muestra: IQ64076-1)**

Figura 13. a. y b. Textura nematoblástica en las granulitas alteradas con relictos de hiperstena, augita y plagioclasa. NX. Aumento 8.



Los principales minerales encontrados en esta variedad son piroxenos como: **Hiperstena** y **Augita** los cuales se caracterizan por ser muy xenoblásticos de bordes irregulares, presentan alto fracturamiento y presentan una abundante variedad de alteraciones como epidota, hornblenda, clorita, clinzoisita, actinolita, biotita, estas alteraciones se encuentran hacia los bordes o rodeando los relictos; también se encuentran relictos de **Plagioclasa** subidioblásticos a xenoblásticos, heteroblásticos con maclado polisintético, altamente sericitizados. Como minerales menores se encuentra **Cuarzo**



subredondeado de tamaño de grano fino, ***Esfena*** como individuos de relieve alto idioblásticos de tamaño de gran fino. Como accesorios se encuentran venillas de ***Cuarzo secundario***, ***Muscovita*** de tamaño muy fino asociada a hornblenda, ***Opacos*** asociados a los piroxenos o como venillas de color marrón rojizo, ***Circón*** subidioblástico a idioblástico de tamaño de grano muy fino. Se observan evidencia de alta deformación (milonización), la textura de esta variedad es Nematoblástica (**Figura 13.**).

Tabla 3. Composición mineralógica de los metagabros y granulitas de la unidad Neis de San Lucas.

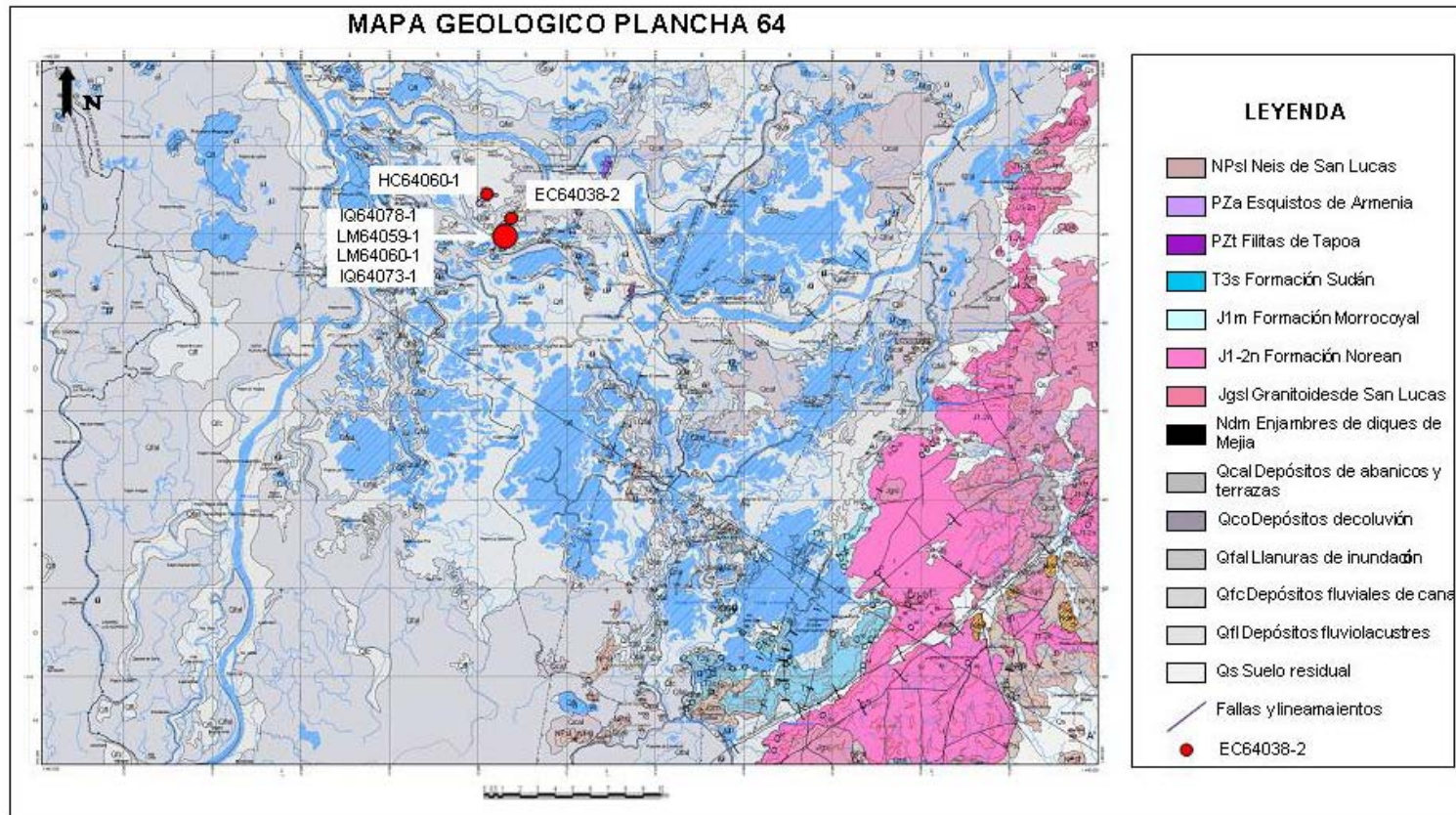
Mineral	Tipo de Roca	
	Metagabro	Granulitas
Qtz	32.4	0 – 2.2
Pl	2.6	12.4 – 22
Ser(Pl)	8.8	0.8 – 8
Carbonatos		0 – 4.6
Hyp	5	4 - 4.5
Bt(Hyp)	5.2	
Ep(Hyp)	4	5.8 – 14.6
Aug	8.8	5.5 – 6.2
Bt(Aug)		0 – 13.2
Ep(Aug)	3.6	
Chl(Aug)		0 – 5.4
Hbl(Aug)	0.8	27.8 – 30.4
Act(Aug)		0 – 4
Czo(Aug)		0 – 14.2
Di	2.8	
Ms		0 – 0.5
Spn		0 – 4.6
Op	2.6	3 – 3.8
Zrn	0.8	0 – 2.2
Ap		0 – 2.2



7. PETROGRAFIA DE LOS ESQUISTOS DE ARMENIA

El miembro Esquistos de Armenia de la unidad metamórfica el Rosario esta conformado por intercalaciones de esquistos pelíticos micáceos con andalucita y grafito hacia la base principalmente y esquistos calco-silicatados cuarzo-feldespáticos con hornblenda, epidota, biotita y actinolita hacia el techo de la unidad. La ubicación de las muestras analizadas se presenta en la **Figura 14**.

Figura 14. Mapa de ubicación de las muestras analizadas para los Esquistos de Armenia. Modificado de INGEOMINAS-UIS (2006).





7.1. ESQUISTOS CALCO-SILICATADOS

7.1.1. Esquistos feldespático-cuarzosos con biotita

(Muestra: IQ64073-1)

Rocas de color claro, faneríticas, heteroblásticas, con estructura esquistosa, los espesores de los planos varían de 1 a 3 mm. Los minerales principales constituyentes de esta variedad son individuos heteroblásticos, xenoblásticos a subidioblásticos de: **Cuarzo** con alargamiento en dirección de la foliación principal especialmente cerca de las bandas de biotita en donde el tamaño de los cristales se reduce en algunos sectores. Algunos cristales de forma redondeada se encuentran incluidos o englobados en plagioclasa. **Plagioclasa** con bordes irregulares algunos rectos, maclado polisintético, se asocia al cuarzo y microclina formando bandas cuarzo feldespáticas, localmente se presentan como porfidoblásticos dentro estas bandas, presenta seritización. **Biotita** individuos color café verdoso con pleocroísmo X = amarillo claro, Y = amarillo verdoso y Z = café verdoso, tabulares con terminaciones irregulares, se encuentra en forma de agregados que definen bandas de biotita intercaladas con bandas cuarzo feldespáticas que marcan la foliación de la roca, presenta cloritización. **Epidota** individuos incoloros idioblásticos alargados de tamaño de grano fino, se asocian a la biotita y se encuentran orientados siguiendo la dirección de la foliación. **Microclina** individuos con algunos bordes rectilíneos irregulares y macla de enrejado. **Esfena** como agregados granulares incoloros, de tamaño de grano fino, fracturados, con colores de interferencia altos enmascarados por el color del mineral, se encuentra frecuentemente asociada a la biotita. **Clinzoisita** individuos incoloros de tamaño de grano de fino a medio, relieve alto, colores



de interferencia azules y amarillos de primer orden. Como accesorios se encuentran **Apatito** y **Circón** de tamaño de grano fino idioblásticos. Estos esquistos presentan textura lepidogranoblástica, localmente porfidoblástica en matriz granoblástica en las bandas cuarzosas.

7.1.2. Esquistos Cuarzosos con biotita

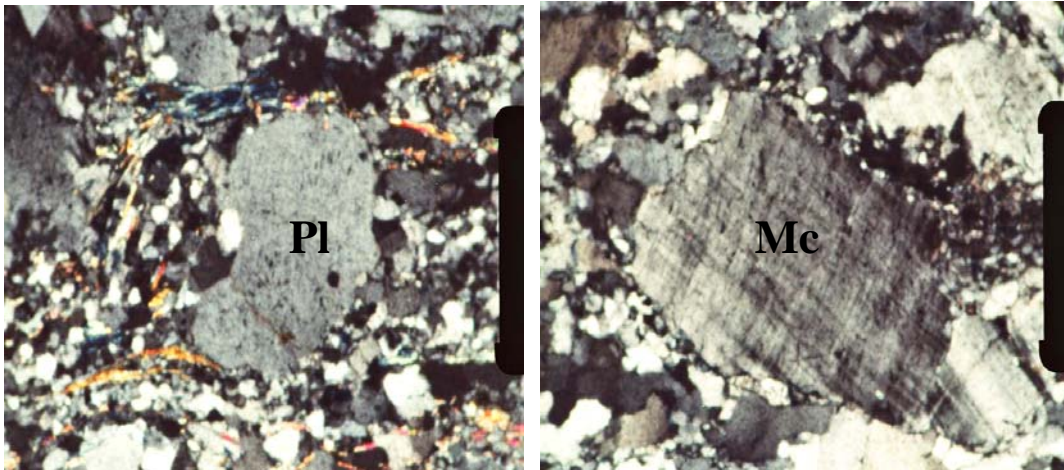
(Muestra: IQ64-078-1)

Rocas de color claro, faneríticas, heteroblásticas con estructura esquistosa definida por bandas de espesores de hasta 2mm. Esta roca esta compuesta principalmente por minerales xenoblásticos a subidioblásticos, heteroblásticos como: **Cuarzo** individuos incoloros, con formas alargadas en dirección de la foliación, de tamaño fino a medio, altamente fracturados, extinción ondulante colores de interferencia de primer orden y contactos suturados; se distribuye en forma de bandas intercaladas de diferentes tamaños de grano. Además se presenta una segunda generación en forma de venillas siguiendo la foliación. **Biotita** individuos color café claro con pleocroísmo $X \approx Z = \text{Café claro}$, $Y = \text{Amarillo claro}$, tabulares de tamaño de grano fino, presenta colores de interferencia de segundo orden, se encuentra orientada formando bandas que se intercalan con niveles cuarzo-feldespáticos. **Esfena** individuos pardos a incoloros o agregados granulares, de relieve alto, presenta una distribución homogénea. **Epidota** individuos incoloros alargados en el sentido de la foliación, de tamaño de grano fino y relieve moderado, presentan fracturas perpendiculares a la dirección de alargamiento algunos cristales se observan curvados, se encuentran orientada siguiendo la dirección de la foliación. Como minerales menores se encuentran: **Plagioclasa** individuos incoloros, se presentan como



porfidoblástos con macla de la albita poco visible debido al alto grado de alteración a sericita, presenta inclusiones de cuarzo, la relación con los dominios clivaje (bandas de biotita) indica un carácter pre-cinemático para estos porfidoblástos (**Figura 15**). **Actinolita** individuos de color verde pálido casi incoloros, idióblásticos prismáticos largos, con partición paralela al alargamiento, orientada y se asocia a biotita, epidota, cuarzo para formar los dominios de clivaje, presenta alteración a clorita. **Microclina** individuos incoloros, algunos porfidoblástos, se caracteriza por la presencia de la macla de enrejado, la relación con los dominios de clivaje indica un carácter pre-cinemático para los porfidoblástos. El **Circón** se presenta como mineral accesorio en forma de individuos incoloros subredondeados de relieve muy alto, tamaño de grano fino y colores de interferencia elevados. La textura predominante es lepidogranoblástica localmente porfidoblástica en matriz granoblástica (**Figura 16**).

Figura 15. Relación pre-cinemática de porfidoblóstos de plagioclasa y microclina. a. Muestra IQ64-078-1, NX, Aumento 8, b. Muestra LM64-059-1, NX, Aumento 8.



a.

b.

7.1.3. Esquisto Cuarzoso con hornblenda

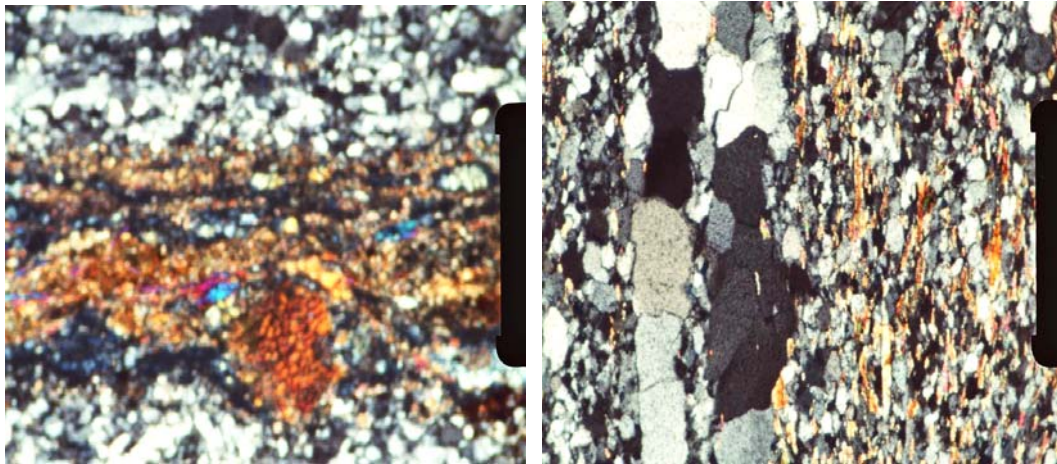
(Muestra: LM64-059-1, LM64-060-1)

Rocas de color claro, faneríticas, heteroblásticas con porfidoblóstos subredondeados de plagioclasa en una matriz con estructura esquistosa. La roca esta constituida por **Cuarzo** individuos incoloros xenoblásticos de tamaño fino a medio, presenta extinción ondulante y contactos suturados, los colores de interferencia son de primer orden, se encuentran alargados en la dirección de la foliación formando bandas. **Hornblenda** individuos de color verde, tamaño de grano medio, esta siendo remplazada por biotita. Se encuentra orientada en dirección de la foliación asociado a la epidota formando dominios de clivaje. **Microclina** individuos incoloros, algunos son de tamaño medio y se encuentran dentro de la matriz, también se presenta



como porfidobláastos pre-cinemáticos (**Figura 15.**), presentan macla de enrejado. **Plagioclasa** individuos incoloros, subidioblásticos a xenoblásticos, se presentan como porfidobláastos, de relieve bajo, altamente fracturados, alterados a sericita, presentan una relación pre-cinemática con los microlitones. Como minerales menores se encuentran **Epidota** en individuos incoloros xenoblásticos, con exfoliación en una dirección, alargados y orientados en la dirección de foliación, presenta colores de interferencia elevados de segundo orden y **Clinzoisita** en agregados granulares incoloros de relieve alto y colores de interferencia azul y amarillo de primer orden. Los minerales accesorio son: **Esfena**, **Opacos** y **Circón**. Estos esquistos presentan textura nematogranoblástica localmente porfidoblástica en matriz granoblástica (**Figura 16.**). Presentan deformación posterior observada en el reordenamiento del cuarzo y alto fracturamiento de plagioclasa y microclina, presenta bandeamiento tectónico.

Figura 16. Texturas principales de los esquistos calco-silicatados. a. Nematogranoblástica (Muestra: LM64-059-1) NX, Aumento 8, b. Lepidogranoblástica (Muestra: IQ64-078-1) NX, Aumento 8.



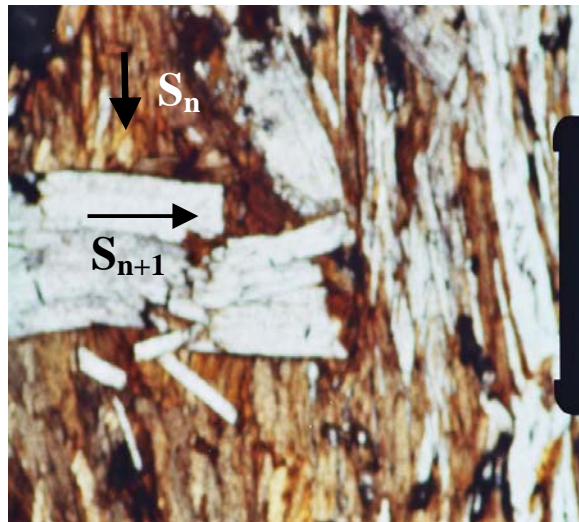
a.

b.

7.2. ESQUISTOS PELÍTICOS

7.2.1. Esquisto biotítico cuarzoso (Muestra: EC64-038-2)

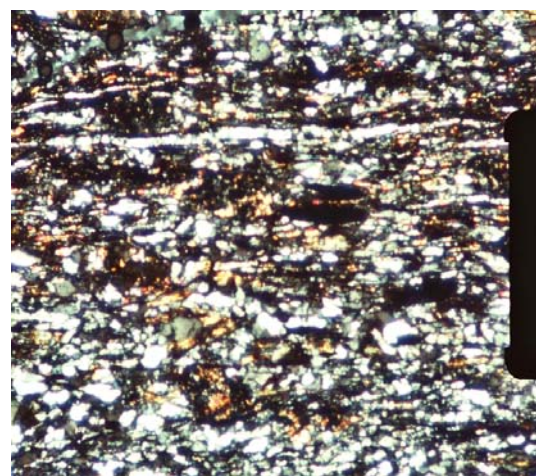
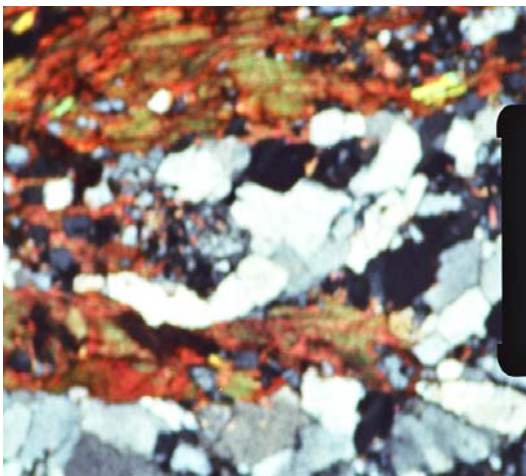
Figura 17. Foliación S_n y S_{n+1} . N//, Aumento 8.



Rocas de color intermedio, faneríticas, heteroblásticas con estructura esquistosa slaty cleavaje. Se identifica una foliación S_n definida por individuos de biotita de tamaño medio y muscovita, una foliación S_{n+1} es definida por porfidoblástos de muscovita (**Figura 17.**). Los minerales principales de esta roca son: **Cuarzo** individuos y agregados incoloros, xenoblásticos, de tamaño de grano fino a medio, extinción ondulante, presenta contactos suturados, se encuentra formando microlitones de cuarzo y feldespato. Además se presenta una segunda generación en forma de venillas. **Biotita** individuos de color pardo con pleocroísmo $X \approx Z =$ Pardo, $Y =$ Pardo rojizo, subidioblásticos a idioblásticos, tabulares, los individuos de tamaño fino se asocian principalmente a los dominios de clivaje. **Moscovita** individuos incoloros subidioblásticos a idioblásticos tabulares, de tamaño de grano medio, se observa exfoliación en una dirección localmente curvada, localmente se presentan como individuos delgados en los microlitones. Una segunda generación de muscovita se presenta como porfidoblástos incoloros

subidioblásticos. **Plagioclasa** individuos incoloros, xenoblásticos, se presentan como porfidoblóstos dentro de los microlitones en una matriz cuarzosa, presentan macla polisintética, y sericitización. Como minerales menores se encuentran **Opacos** individuos xenoblásticos de tamaño de grano fino, se encuentran orientados siguiendo la foliación, se encuentran generalmente asociados a la biotita. Como mineral accesorio se encuentra el **Circón**. La textura de estos esquistos es lepidogranoblástica localmente porfidoblástica (**Figura 18.**).

Figura 18. Texturas principales de los Esquistos pelíticos. a. Lepidogranoblástica (Muestra: EC64-038-2) NX, Aumento 8, b. Matriz lepidoblástica (Muestra: HC64060-1) NX, Aumento 8.



a.

b.

7.2.2. Esquisto andalucítico

(Muestra: HC64060-1)

Roca de color oscuro, heteroblástica con porfidoblóstos de andalucita alargados y orientados en una matriz afanítica, con estructura esquistosa. Esta roca se encuentra constituida por: **Cuarzo** individuos homeoblásticos,



subidioblásticos a xenoblásticos, con bordes irregulares de geometría alargada en dirección de la esquistosidad, constituye agregados junto con la plagioclasa formando la matriz de la roca. **Andalucita** porfidoblásticos incoloros, heteroblásticos, xenoblásticos fracturados, se observan dos direcciones de exfoliación e inclusiones de grafito en forma de cruz, lo cual define la variedad quistolita, presenta una alta sericitización hacia los bordes conservándose andalucita hacia el centro, los contornos se presentan alargados en la dirección de la foliación, los porfidoblásticos se encuentran rodeados por la foliación externa constituida por cuarzo, biotita y minerales opacos, no presenta inclusiones orientadas de los minerales de la matriz, por tal razón la relación pórfido matriz indicaría para los pórfidos un carácter precinemático. **Plagioclasa** individuos heteroblásticos, subidioblásticos a xenoblásticos, presentan bordes irregulares algunos rectos, presentan maclado polisintético y sericitización. **Biotita** se presentan de dos formas, la primera, corresponde a porfidoblásticos de menor tamaño que la andalucita color pardo amarillento con pleocroísmo X = crema claro, Y = amarillo claro, Z = pardo amarillento, heteroblásticos, subidioblásticos de forma tabular, con extremos irregulares, algunos cristales se presentan alineados con la esquistosidad otros presentan una orientación contraria, se encuentra cloritizada y esta asociada a la andalucita. La segunda corresponde a individuos de color amarillo oscuro con pleocroísmo X = crema casi incoloro, Y = amarillo claro, Z = amarillo oscuro, heteroblásticos, subidioblásticos de forma alargada siguiendo la esquistosidad, alterada a clorita, se asocia a cuarzo y plagioclasa para formar la matriz de la roca. **Grafito** se presenta en agregados escamosos, que siguen la esquistosidad de la roca, se encuentran frecuentemente relacionados a la matriz, en contactos netos con biotita principalmente, cuarzo y plagioclasa, además se presenta incluido en la andalucita. Se presentan dos generaciones de **Muscovita**, la primera se



presenta como individuos heteroblásticos de tamaño fino, asociados principalmente a cuarzo y biotita de la matriz, la segunda generación se encuentra como agregados cristalinos es producto de la recristalización tardía de la sericita presente en los bordes de alteración de la andalucita. Como minerales accesorio se encuentran **Rutilo** y **Circón**. Estos esquistos presentan textura porfidoblástica en matriz lepidoblástica (**Figura 18**).

Un resumen de la composición mineralógica de las diferentes rocas los Esquistos de Armenia se presenta en la **Tabla 4**.



Tabla 4. Composición mineralógica de los Esquistos de Armenia.

Mineral	Tipo de Roca					
	Calco-pelíticos				Pelíticos	
	Esquisto feldespático cuarzoso con biotita	Esquisto cuarzoso con biotita	Esquisto cuarzoso con hornblenda	Esquisto cuarzoso con hornblenda	Esquisto biotítico cuarzoso	Esquisto andalucítico
Qtz	30	58	66.8	59.8	45	33.08
Pl	26	4	5	4.4	6.6	1.5
Ser (Pl)	4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4
Mc	5	1.6	5.4	1.8		
Hbl			9.8	10.6		
Bt	16	12		4.6	25.8	17.8
Chl(Bt)	3	1.4				7.5
Ms					15.2	11
Ep	9	7.8	7.6	8.6		
Act		3.4				
And						4.5
Ser (And)						8.7
Spn	5	9	1	6.6		
Gr						14.33
Op			1	1.8	3.4	
Rt						1.66
Zrn	1	0.4	0.8	1	0.8	0.5
Ap	1					



8. METAMORFISMO DEL NEIS DE SAN LUCAS

Las paragénesis observadas en el Neis de San Lucas son presentadas en la **Tabla 5.**

Las rocas de la unidad Neis de San Lucas presentan paragénesis características de facie anfibolita principalmente zona de la silimanita-almándino predominando asociaciones de Hbl + Pl + Qtz, y paragénesis de la zona de transición cianita-silimanita en algunas rocas metacuarzo-feldespáticas. Las paragénesis observadas indican un metamorfismo de la serie de Media P/T.

Por otra parte las granulitas presentan paragénesis con clino y ortopiroxenos sin biotita y hornblenda, las cuales son evidencia de que pertenecen a la zona de las granulitas de alta temperatura o granulitas piroxénicas, es decir ya han superado la zona de transición Granulita-Anfibolita caracterizada por la coexistencia de minerales hidratados y no hidratados.



Tabla 5. Paragénesis de las rocas del Neis de San Lucas (abreviaturas minerales según Kretz, 1983).

LITOLOGIA	TIPO DE ROCA	PARAGENESIS	FACIE	ZONA
Neis cuarzo-feldespático con biotita	Cuarzo-feldespática	PI + Mc+Qtz	Anfibolita	Transición cianita - Silimanita
		Bt + Kfs + PI + Qtz		
		PI + Kfs+Qtz	Anfibolita	Silimanita-Almandino
		PI + Bt + Hbl+Qtz	Anfibolita	
		PI + Kfs+Qtz		
Hbl + Bt + PI+Qtz	Anfibolita			
Neis cuarzo feldespático con hornblenda	Cuarzo-feldespática	Hbl + PI+Qtz	Anfibolita	Transición cianita - Silimanita
		PI + Kfs+Qtz		
		PI + Mc+Qtz	Anfibolita	Transición cianita - Silimanita
		Hbl + PI + Qtz		
		PI + Kfs+Qtz	Anfibolita	Silimanita-Almandino
		Hbl + Bt + PI		
PI + Kfs + Hbl+Qtz	Anfibolita	Silimanita-Almandino		
Neis Hornbléndico	Máfica	Hbl + PI+Qtz	Anfibolita	Silimanita-Almandino
		Kfs + Hbl+Qtz ± PI	Anfibolita	Silimanita-Almandino
		Hbl + Bt + PI		
		Kfs + PI+Qtz	Anfibolita	Silimanita-Almandino
		Hbl + Bt + PI		
		Hbl + PI+Qtz	Anfibolita	Silimanita-Almandino
Kfs + PI + Qtz				
Metagabro	Máfica	Bt + Hbl + Ep + Qtz	Epidota-Anfibolita	
Granulita	Máfica	Aug + Hyp + PI	Granulita	Granulita piroxenica
		Aug + Hyp + PI	Granulita	Granulita piroxenica



8.1. HISTORIA REACCIONAL Y CONDICIONES DE EQUILIBRIO DE LAS PARAGÉNESIS

A partir de la historia reaccional se pretende dar una aproximación de la trayectoria de P/T que siguieron estas rocas, sin embargo, en el caso de los neises, se trataron solo las rocas de origen máfico, ya que las meta cuarzo-feldespáticas presentan asociaciones muy generales, las cuales no permiten tener un aproximación de la historia reaccional.

8.1.1. Rocas Máficas

Neises

Las paragénesis encontradas en los neises hornbléndicos son:



Para estas asociaciones es difícil establecer una historia reaccional debido al amplio campo de estabilidad de los minerales que las componen, sin embargo se conoce que a medida que aumenta la temperatura en la facie anfibolita se tiene un aumento en el contenido de anortita en la plagioclasa y el cambio en la composición de la hornblenda.

Según la composición de la plagioclasa determinada mediante el método Michel-Levy se tienen contenidos de $\text{An}_{67}\text{Ab}_{33}$ (Labradora); el alto porcentaje

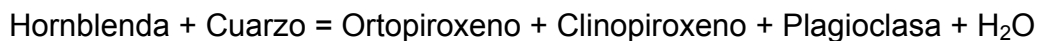


anortítico indica una alta temperatura, además la presencia de feldespato potásico es indicadora de condiciones de la zona silimanita-almandino.

Granulitas

Las granulitas estudiadas presentan una paragénesis Opx + Cpx + Pl, según Pattison (2003), esta paragénesis corresponde a un dominio estable solo en condiciones de baja a intermedia presión y ubica la mínima temperatura de formación de las granulitas en un intervalo entre 800-850°C en ausencia de infiltración de fluidos.

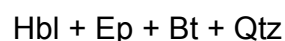
Esta asociación puede ser producto de la reacción:



Esta reacción ocurre en un intervalo de temperaturas entre 825 y 890 °C a presiones entre 3 a 10 kbar (Pattinson, 2003).

Metagabro

Esta roca presenta una paragénesis característica de la facie de transición Epidota-Anfibolita:



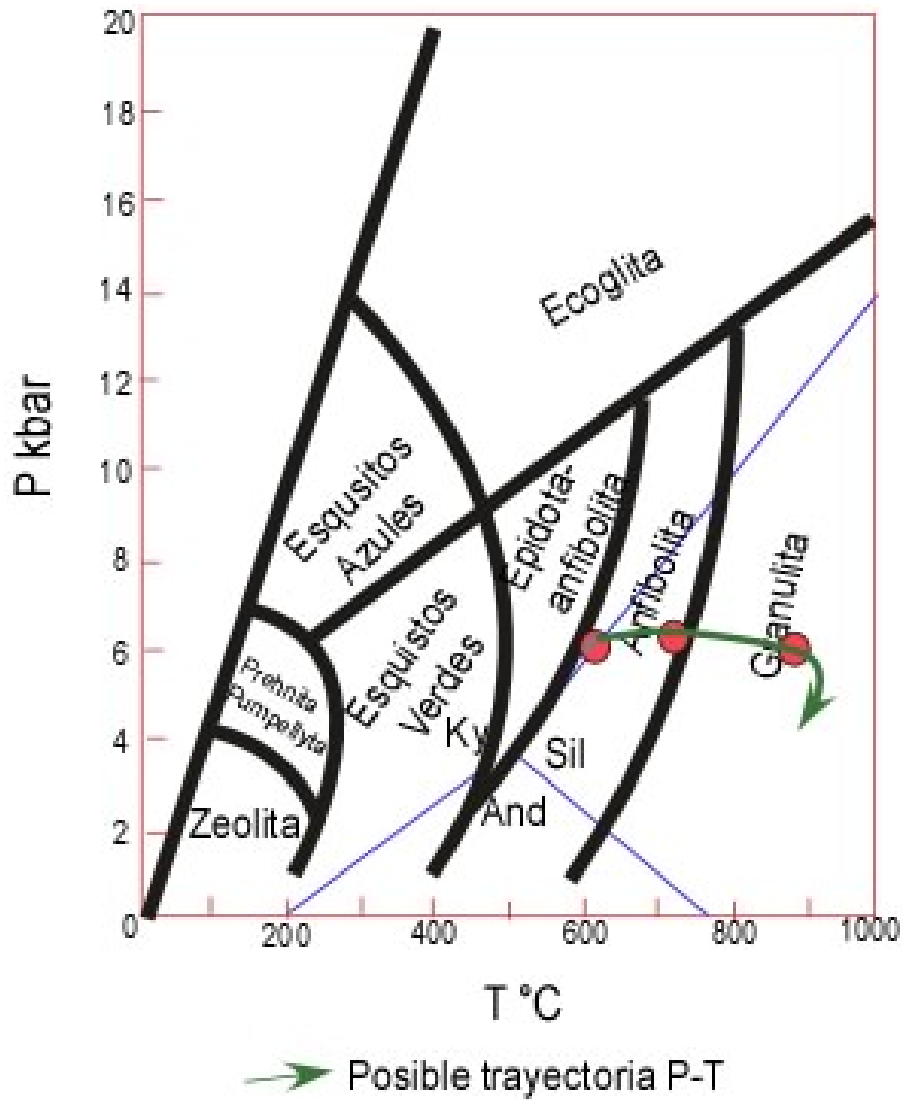
Resultados de estudios realizados acerca de esta facie de muestran que las reacciones clorita-out intersectan las reacciones epidota-out a



aproximadamente 3.3 kbar, a presiones sobre esta intersección la clorita se descompone y a presiones bajo la intersección se descompone la epidota; estos experimentos definen el intervalo de temperaturas para la facie epidota anfibolita entre 540 – 690 °C, el límite inferior corresponde a la temperatura en la cual la clorita desaparece y aumenta el contenido de anfíboles en la roca, el límite superior corresponde a la temperatura a la cual desaparece la epidota dando paso a las paragénesis de la facie anfibolita (Spear, 1993).

A partir de la historia reaccional se obtuvo la trayectoria P-T progradada en sentido horario para las rocas del Neis de San Lucas (**Figura 19.**), la cual corresponde a una serie de Media P/T, esta trayectoria se caracteriza por el aumento de la temperatura a presiones intermedias, con una secuencia típica Barroviense característica de ambientes de colisión continental.

Figura 19. Posible Trayectoria P-T para las rocas del Neis de San Lucas.





9. METAMORFISMO DE LOS ESQUISTOS DE ARMENIA

Las relaciones de campo muestran que la unidad Esquistos de Armenia es una intercalación de rocas metapelíticas y meta cuarzo-feldespáticas calco-silicatadas; los esquistos pelíticos encontrados hacia la base presentan un mayor grado de metamorfismo con facies Epidota-Anfibolita y Anfibolita zona Andalucita-Almandino, los esquistos calco-silicatados predominantes hacia el techo de la unidad presentan facies desde Epidota-Anfibolita hasta Esquistos Verdes zona de la biotita. Las paragénesis son mostradas en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Paragénesis de las rocas de los Esquistos de Armenia (abreviaturas minerales según Kretz, 1983).

LITOLOGIA	TIPO DE ROCA	PARAGENESIS	FACIE	ZONA
Esquisto Cuarzoso con hornblenda	Calco-silicatada	Hbl + Ep + Czo	Epidota-Anfibolita	
		Hbl + Ep ± Bt		
		Mc + Pl+Qtz		
Esquisto Cuarzoso con biotita	Calco-silicatada	Ep + Bt + Act ± Qtz	Esquistos Verdes	Biotita
		Pl + Mc+Qtz		
Esquisto feldespático cuarzoso con biotita	Calco-silicatada	Pl + Mc+Qtz	Esquistos Verdes	Biotita
		Ep + Bt + Qtz ± Pl		
Esquisto biotítico cuarzoso	Pelítica	Bt + Ms ₁ ± Qtz ₁	Anfibolita	Andalucita-Almandino
		Pl + Ms ₂		
Esquisto andalucítico	Pelítica	And + Bt	Anfibolita	Andalucita-Almandino
		Pl + Bt + Ms ₁ + Gr + Qtz		



9.1. HISTORIA REACCIONAL Y CONDICIONES DE EQUILIBRIO DE LAS PARAGÉNESIS

La historia reaccional se construye teniendo en cuenta el tipo de roca y la relación espacial que presentan las muestras.

9.1.1. Rocas Metapelíticas

Las rocas metapelíticas se caracterizan por las paragénesis

- (1) $\text{And} + \text{Bt}$
- (2) $\text{Bt} + \text{Ms} + \text{Pl} + \text{Gr} + \text{Qtz}$
 $\text{Bt} + \text{Ms}_1 \pm \text{Qtz}_1$

A continuación se presenta la posible historia reaccional que dio lugar a estas asociaciones, las cuales se encuentran caracterizadas por un sistema químico KFMASH:

- (1) La primera aparición de biotita asociada a andalucita se da a partir de la siguiente reacción:



Durante esta reacción se consume la estaurolita y parte de la clorita, dejando una asociación de $\text{And} + \text{Bt} + \text{Chl}$, se parte de esta reacción sin embargo no se tienen relictos de estaurolita que den evidencia de su ocurrencia.

Con un leve aumento de temperatura se produce la reacción continua:



Esta reacción produce el crecimiento de la biotita y la andalucita y la desaparición de la clorita, generando un sistema biotita-in, estauroлита-out y clorita-out, esta trayectoria es típica de rocas con alto contenido de aluminio con metamorfismo en zonas de bajas presiones. De acuerdo a lo anterior la paragénesis And + Bt se ubicaría en un diagrama P/T dentro del campo de estabilidad de la andalucita a bajas presiones como se muestra en la **Figura 20**.

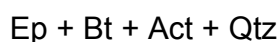
(2) La primera aparición de la asociación Bt + Ms se marca dentro de la zona de la biotita en rocas pelíticas con bajos contenidos de aluminio, la reacción que da paso a esta asociación en el sistema KFMASH es:

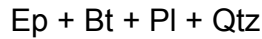


Sin embargo esta asociación tiene un muy amplio intervalo de condiciones en las que permanece en equilibrio, por tanto, teniendo en cuenta la cercanía espacial que rocas con esta asociación presentan con rocas con asociaciones And + Bt, se pueden inferir las mismas condiciones de facie Anfibolita, zona Andalucita-Almandino.

9.1.2. Rocas calco-silicatadas

Estas rocas presentan un alto contenido de cuarzo >30 % y minerales calco-silicatados >6%, se tienen las siguientes paragénesis:



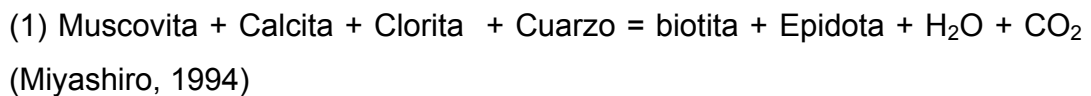


Las ecuaciones encontradas para las asociaciones Ep + Act son para rocas máficas, las rocas estudiadas contienen un exceso de sílice(cuarzo) y potasio(biotita), asociaciones similares a las analizadas se dan en rocas metapelíticas como producto de reacciones con presencia de carbonatos e infiltración de fluidos en la facie esquistos verdes, según Miyashiro (1994).

La presencia de carbonatos induce a reacciones de decarbonatación que producen CO₂ y causan un incremento del potencial químico del CO₂ en el fluido intergranular, estos cambios pueden generar variaciones en tipo y orden de las reacciones en el metamorfismo progrado si hay infiltración de fluidos según Miyashiro, (1994).

Si no hay infiltración estos carbonatos pueden generar reacciones continuas que formen biotita asociada a minerales como epidota o plagioclasa en la isograda de la biotita zona de la biotita.

Asumiendo que para las rocas estudiadas no hubo infiltración de fluidos y teniendo en cuenta que la única evidencia de presencia de minerales carbonatados en el protolito son los minerales calco-silicatados de las asociaciones, se podría tener una historia reaccional representada por cualquiera de las ecuaciones mostradas a continuación:





(2) Muscovita + Ankerita + Clorita + Cuarzo = biotita + Plagioclasa + H₂O + CO₂ (Miyashiro, 1994).

Otra reacción que podría dar lugar a estas asociaciones es:

(3) Clorita baja en Al + carbonatos + oxidos = actinolita ± zoisita + CO₂ + H₂O

Esta última define la primera aparición de actinolita en la facie Esquistos Verdes, zona de la clorita, para rocas máficas.

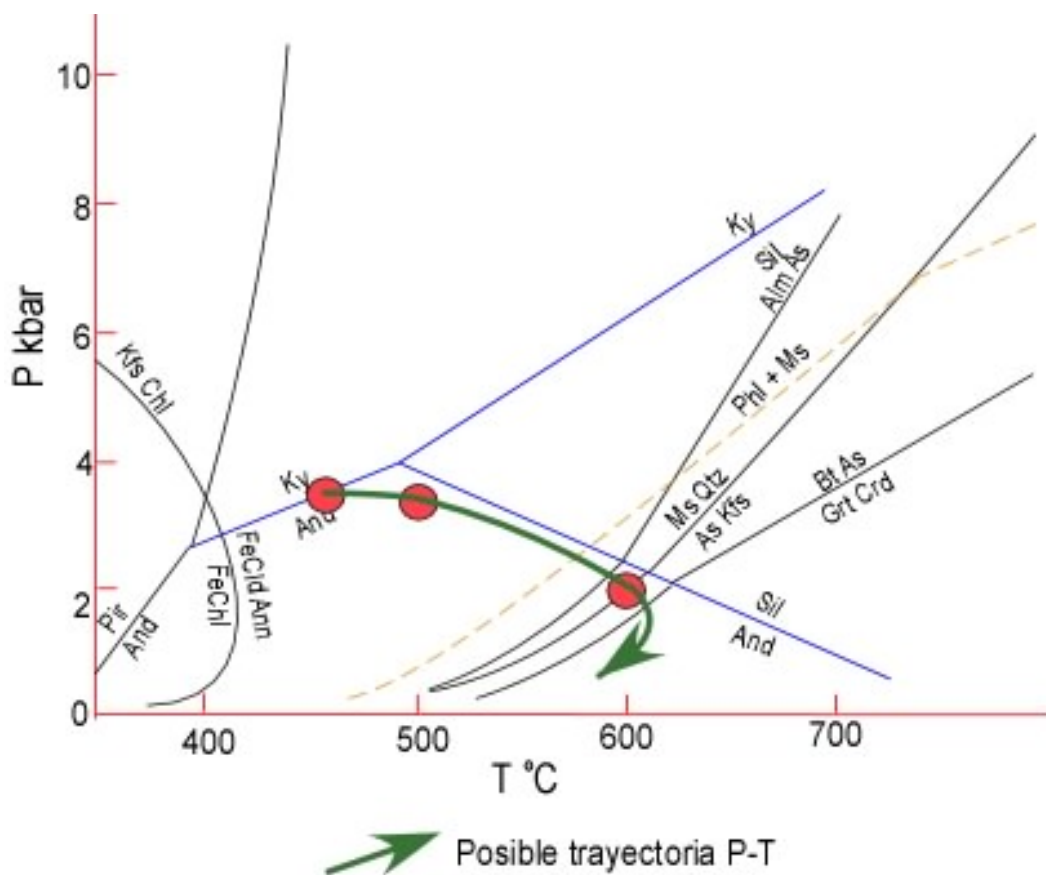
Según las ecuaciones analizadas, para la asociación Ep + Bt + Pl, se establecen condiciones de facie Esquistos Verdes zona de la biotita, debido a la cercanía de la muestra anterior con la que presenta la asociación Ep + Bt + Act + Qtz y al amplio rango de estabilidad de la actinolita se infieren las mismas condiciones de metamorfismo para esta asociación.

Para la asociación Hbl + Ep + Czo característica de la facie epidota-anfibolita no se pueden precisar las condiciones debido a que los minerales que coexisten tienen un muy amplio rango.

El resultado del estudio de la historia reaccional es una posible trayectoria P-T progradada en sentido horario, para los Esquistos de Armenia, la cual pertenece a la serie de Baja P-T (serie andalucita-silimanita), la cual se produce en zonas donde hay intenso calentamiento a bajas profundidades como se ve en la **Figura 20**.

Esta secuencia de Baja P/T puede ocurrir en un ambiente tectónico caracterizado por el calentamiento de la corteza superior por intrusiones ígneas y flujo de fluidos en zonas de colisión continental Miyashiro (1994).

Figura 20. Posible trayectoria P-T de las rocas de los Esquistos de Armenia.





10. DISCUSION

La discusión presentada es una comparación de los datos obtenidos a partir de este trabajo, con los resultados de estudios anteriores de la Serranía de San Lucas, no se especula acerca del contexto geológico en el que se produjo el metamorfismo, ya que los datos son aproximados.

En el estudio petrográfico realizado en esta formación se identificaron neises con protolitos cuarzo-feldespáticos y máficos, metagabros y granulitas, estos últimos no habían sido reportados anteriormente. El metamorfismo de esta unidad se ubica en la serie de Media P/T, con una secuencia típica de gradiente Barroviense, característica de zonas de colisión. Los estudios previos realizados en la Serranía de San Lucas definen la unidad Neis de San Lucas como una secuencia de neises de composición cuarzo-feldespática y en menor proporción hornbléndica y micácea con facies anfibolita baja y de edad Proterozoica (Bogota y Aluja, 1981).

Las granulitas de esta unidad podrían correlacionarse con diferentes afloramientos de granulitas encontradas en Colombia como son las granulitas de los Mangos (SNSM), El Retiro (Antioquia) etc, las cuales se presentan en complejos metamórficos compuestos por neises cuarzo-feldespáticos, hornbléndicos, migmatitas, ortoneises, en donde predominan las facies anfibolita sobre las facies granulíticas para las cuales se reportan edades del Proterozoico Medio (Gómez, 1990). Se han dado varias interpretaciones a la presencia de granulitas, según Gómez (1990), algunos autores consideran las granulitas como una prolongación del Escudo de



Guyana, otros autores sugieren que representan terrenos alóctonos que chocaron con el continente Suramericano; según Kroonenberg en Gómez (1990), son una prolongación del Cinturón Grenville.

A partir de la cartografía realizada dentro del convenio UIS-INGEOMINAS, se definieron los esquistos como un miembro de la unidad metamórfica El Rosario. Según el estudio petrográfico se determinaron dos protolitos para los Esquistos de Armenia, uno pelítico y otro calco-silicatado. El metamorfismo corresponde a una serie de Baja P/T con facies que van desde Esquistos Verdes zona biotita (rocas calco-silicatadas) hasta anfibolita zona de la andalucita (rocas pelíticas), el cual puede ocurrir por calentamiento de la corteza a partir de intrusiones en un ambiente de colisión. Los Esquistos son definidos en estudios anteriores como una unidad Paleozoica inferior compuesta por esquistos grafitosos con alternancia de niveles más silíceos representados por cuarcitas y esquistos cuarzo-sericíticos, muscovíticos y cloríticos. En trabajos previos no se establecen condiciones de metamorfismo para esta unidad.



CONCLUSIONES

- Petrológicamente la unidad Neis de San Lucas esta conformada por neises cuarzo-feldespáticos con biotita, cuarzo-feldespáticos con hornblenda, hornbléndicos, metagabros y granulitas.
- El metamorfismo del Neis de San Lucas es predominantemente regional de facie anfibolita con zonas de metamorfismo desde transición cianita-silimanita, silimanita-almandino hasta la zona de las granulitas piroxénicas.
- A partir del análisis de la historia reaccional y condiciones de equilibrio las facies identificadas para el neis de San Lucas, se sugiere un metamorfismo de Media P/T en una secuencia Barroviense, la cual indica una zona de colisión continental.
- El miembro Esquistos de Armenia de la unidad metamórfica el Rosario esta conformado por intercalaciones de esquistos calco-silicatados cuarzo-feldespáticos con hornblenda, epidota, biotita y actinolita hacia el techo de la unidad, y esquistos pelíticos micáceos con andalucita y grafito hacia la base.
- El metamorfismo de los Esquistos de Armenia es de carácter regional, presentan facie Anfibolita zona de la silimanita-almandino hacia la base de la unidad principalmente, facie Epidota-Anfibolita y facie Esquistos Verdes zona de la biotita.



-
- A partir del análisis de la historia reaccional para el miembro Esquistos de Armenia, se establecieron condiciones de metamorfismo de la serie de Baja P/T, la cual se puede presentar por calentamiento de la corteza debido a intrusiones en un ambiente colisional.



RECOMENDACIONES

- Realizar análisis geoquímicos y geotermobarométricos que permitan precisar las condiciones de metamorfismo del Neis de San Lucas y los Esquistos de Armenia.
- Realizar dataciones que permitan correlacionar el metamorfismo del Neis de San Lucas y los Esquistos de Armenia con eventos tectono-termales conocidos.



BIBLIOGRAFIA

- ALEMAN A., RAMOS V., 2000. Tectonic Evolution of South America, Northern Andes. p. 462 – 470.
- BOGOTA J., ALUJA J., 1981. Geología de la Serranía de San Lucas. IAN y COGEMA. *Geología Norandina* 4. pag. 49 – 55.
- CACERES C., CEDIEL F., 2000. Geological Map of Colombia, Third Edition. Geotec Ltd., Bogotá.
- CEDIEL F., MOJICA J., MACIA C., 1980. Definición estratigráfica del Triásico en Colombia, Suramérica - Formaciones Luisa, Payandé y Saldaña. *Newsletters on Stratigraphy*. Volumen 9 No. 2, p. 73-104. Honnover.
- CEDIEL F., MOJICA J., MACIA C., 1981. Las formaciones Luisa, Payandé y Saldaña. Sus columnas estratigráficas características. *Geología Norandina* No. 3, p. 11-19. Bogotá.
- CEDIEL F., SHAW R., CACERES C., 2003. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. *AAPG Memoria* 79, p. 815 -848.
- CLAVIJO J. (1996). Mapa geológico de Colombia, Plancha 75 – Aguachica. Ingeominas. Memoria explicativa, pp. 1-48. Bucaramanga.
- DACONTE R., SALINAS R., 1980. Geología de las Planchas 66 Miraflores y 76 Ocaña. Ingeominas. Informe 1844. 105 p. Bogotá.
- FEININGER T., 1972. Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (subzona IIB). INGEOMINAS. *Bol. Geol.*, 20 (2): 1-173. Bogotá.
- GALVIS J., DE LA ESPRIELLA R., 1992. Vulcanismo Terciario al Sur de la Isla de Mompox (Parte Nororiental de la Serranía de San Lucas).



- Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol XVIII. No 70, pp. 359-367. Bogotá
- GARCIA C., 1997. Manual de Laboratorio de Petrología Metamórfica. UIS. 74p.
 - GARCIA C., 2000. Facies de Metamorfismo Regional y de Contacto. UIS. 43p.
 - GEYER O., 1969. La Fauna de amonites del perfil típico de la Formación Morrocoyal. Primer Congreso Colombiano de Geología. Memoria, pp. 111-134. Bogotá.
 - GEYER O., 1982. Comparaciones estratigráficas y faciales en el Triásico Norandino. Geología Norandina, 5:27-31. Bogotá.
 - INGEOMINAS, UIS, 2005. Memoria Geológica Preliminar Plancha 64.
 - INGEOMINAS, UIS, 2006. Mapa Geológico Plancha 64 "Barranco de Loba".
 - KASSEM T., ARANGO J. L., 1977. Mapa fotogeológico de la Serranía de San Lucas. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Bogotá.
 - KRETZ R. 1983. Symbols for Rock-Forming Minerals. American Mineralogist, Vol 68 , p 277-279.
 - LEUTSH Y., LAMBERT A., BOGOTÁ J., 1980. Zona San Lucas-Reconocimiento Geológico Preliminar. Anexo Fotográfico. Informe No. 080 (Inédito). IAN
 - LÓPEZ E., DUARTE R., OSORIO A., 2005. Informe de la Fotogeología a Escala 1:100.000 de las Unidades del Mioceno Superior y Cuaternario e La Serranía De San Lucas-Planchas 55, 64, 85 Y 96.
 - MARTÍNEZ A., 1981. Subsistencia y geomorfología de la depresión inundable del río Magdalena. Revista CIAF, V. 6 (1-3), pp 319 - 328.



- MAZE W., 1984. Jurassic La Quinta Formation in the Sierra Perijá, northwestern Venezuela: Geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks, in: Bonini *et al.* (ed.). Geological society America Memoir 162.
- MIYASHIRO, A., 1994. Metamorphic Petrology. New York, Oxford University Press. 404 p.
- PATTISON D. R. M., 2003. Petrogenetic significance of orthopyroxene-free garnet + clinopyroxene + plagioclase \pm quartz-bearing metabasites with respect to the amphibolite and granulite facies. Journal of Metamorphic Geology, Volume 21, Numero 1. p 21 - 34.
- RESTREPO J., TOUSSAINT J, 1978a. Ocurrencia de Precámbrico en las cercanías de Medellín, Cordillera Central de Colombia. Publicación Especial Universidad Nacional N° 12, p. 1-11, Medellín.
- RESTREPO, TOUSSAINT, 1982. Metamorfismos Superpuestos en la Cordillera Central de Colombia. Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina. pag. 505 - 512.
- RESTREPO-PACE P.A., RUIZ J., GEHRELS G., COSCA M., 1997. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville age rocks in the Colombian Andes : new constraint for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Science letters*, 150. p. 427-441.
- ROYERO J. M., CLAVIJO J., 2002. Mapa Geológico del Departamento de Bolívar, Escala 1:400.000. Ingeominas. *Memoria explicativa*, pp. 1-99. Bucaramanga
- ROYERO, J. M., 1997. Mapa geológico de Colombia. Plancha 65 - Tamalameque. Ingeominas. Memoria explicativa, pp. 1-53. Bucaramanga.
- SARMIENTO L.F., 2002. Mesozoic Rifting and Cenozoic Basin Inversion History of The Eastern Cordillera, Colombian Andes, Interferences from tectonics models. Netherlands Research Schools of Sedimentary Geology.



- SCHMID R., et al., 2004. How to Name a Metamorphic Rock. IUGS.
www.bgs.ac.uk/SCMR/docs/scmr_how_r4.pdf
- SPEAR F. 1993. Metamorphic phase equilibria and Pressure – Temperature – Time Paths. Mineralogic Society of America. Monograph. BookCrafters. Michigan. 799p.
- TRUMPY D., 1943. Pre-Cretaceous of Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, 54. p. 1281-1304.
- TSCHANZ, CH., et al., 1969. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. Ingeominas, informe interno No. 1829. Bogotá.
- VARGAS J.M., 1981. Prospección de minerales radiactivos en la Serranía de San Lucas. IAN. Informe interno. 61 p. (Inédito). Bogotá.
- WARD D., et al., 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Ingeominas. Boletín Geológico 21 (1-3) Bogotá.