

# ASPECTOS PETROGRAFICOS Y GEOQUIMICOS DE LAS ROCAS METAMORFICAS DEL SECTOR BARRANCO DE LOBA (SERRANIA DE SAN LUCAS)

Carlos Alberto García R.<sup>1</sup>; Karen Correa; Luis C. Mantilla F.<sup>1</sup>; Luis Bernal<sup>2</sup>

## RESUMEN

Las rocas metamórficas aflorantes en la Plancha 64 (estribación NE de la Serranía de San Lucas, Cordillera Central), están agrupadas en dos unidades estratigráficas: una denominada formación Neis de San Lucas y otra unidad de carácter informal, denominada Unidad Metamórfica de Pinillos. Esta última, compuesta por los Esquistos de Armenia y las Filitas de Tapoa. El Neis de San Lucas, consiste en neises cuarzo-feldespáticos (neises cuarzo-feldespáticos con biotita, neises cuarzo-feldespáticos con hornblenda) y rocas metamáficas (neis hornblendico, granulitas, metagabros). Los Esquistos de Armenia, se componen de esquistos pelíticos, tales como esquistos micáceos y esquistos micáceos con andalusita, y esquistos calco-silicatados, los cuales son cuarzosos con cantidades variables de minerales del grupo de la epidota, hornblenda y actinolita. Las Filitas de Tapoa son rocas compuestas de cuarzo y sericita con minerales opacos alterados. El metamorfismo del Neis de San Lucas es regional, alcanzando las facies anfíbolita alta y granulita piroxénica. Edades U-Pb en circones de esta formación, apunta a un evento tectonotermal del Mesoproterozoico (1124Ma±22 Ma), relacionado con la orogenia Grenviliana, durante la consolidación del supercontinente Rodinia. Las rocas de la Unidad Metamórfica de Pinillos, es considerada por sus relaciones de campo, como de edad Paleozoica Temprano.

**Palabras claves:** Metamorfismo, Serranía de San Lucas, Formación Neis de San Lucas, Esquistos de Armenia, geocronología

## PETROGRAPHIC AND GEOCHEMISTRY ASPECTS OF METAMORPHIC ROCKS IN BARRANCO DE LOBA AREA (SERRANIA DE SAN LUCAS)

### ABSTRACT

The metamorphic rocks that outcrop in the San Lucas foothills (in the area covered by the map indentified as number 64), are grouped in two stratigraphic units: The so-called San Lucas Gneiss Formation and the Pinillos Metamorphic Unit (informal stratigraphic denomination). This latter unit is composed by The Armenia Schists and Tapoa Phyllites. The San Lucas Gneiss Formation, comprise quartz-feldspar gneisses (quartz-feldspar gneisses with biotite, quartz-feldspar gneisses with hornblende) and metamafic rocks (hornblende gneiss, granulites and metagabbros). The Armenia Schists is composed by pelite schists; such as micaceous schists; micaceous schists with andalusite; and calco-silicate schists, quartz rich and with variable amounts of minerals from epidote, hornblende and actinolite groups. The Tapoa Phyllite Rocks are composed by quartz and sericite with altered opaque minerals. The San Lucas Gneiss Formation Metamorphism is regional and reaches the high amphibolite and pyroxene granulites facies. The 1.124Ma ± 22 zircon U-Pb age, indicates a Mesoproterozoic tectonothermal event, related to the Grenville Orogeny, that took place during the Rodinia supercontinent consolidation. The Pinillos Metamorphic Rocks Unit, is Early Paleozoic in age, according to the field relations.

**Key words:** Metamorphism, Serrania de San Lucas, San Lucas Gneiss Formation, Armenia Schist, Geochronology.

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología, Bucaramanga, Colombia. cgarciar@uis.edu.co

<sup>2</sup> Ingeominas, Bogotá

## **INTRODUCCION**

La Serranía de San Lucas constituye la región más septentrional donde afloran rocas del basamento cristalino de la Cordillera Central de Colombia. Por esta razón, su estudio aporta nuevos elementos al conocimiento de este sector de los Andes Colombianos.

En el presente trabajo, se describen las unidades metamórficas aflorantes en la Plancha 64-Barranco de Loba (estribaciones N y NW de la Serranía de San Lucas). Las rocas metamórficas se estudiaron mediante análisis mineralógico-petrográficos, geoquímicos y puntualmente se realizaron algunas dataciones. Estos métodos permitieron caracterizar el metamorfismo, determinar facies y zonas de metamorfismo, definir el protolito y la edad del evento metamórfico.

Esta investigación se desarrolló en el marco del convenio de cooperación específico N° 004, suscrito entre el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) y la Universidad Industrial de Santander (UIS), para estudiar la geología de un área total que abarcó, las estribaciones de la Serranía de San Lucas (Cordillera Central), y las planicies aledañas al Valle Medio del Magdalena, y un sector del flanco occidental de la Cordillera Oriental, y el Valle del río Cauca (Informes INGEOMINAS-UIS, 2006a,b,c,d).

## **ANTECEDENTES Y CONTEXTO GEOLOGICO**

La Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), firmaron en diciembre del año 2004 un convenio específico de cooperación científica, el cual permitió aunar esfuerzos para estudiar conjuntamente la geología de un área de 9.600Km<sup>2</sup>, distribuidos en las planchas 55, 64, 85 y 96 (a escala 1:100.000), las cuales cubren fundamentalmente estribaciones de la Serranía de San Lucas (Cordillera Central) y las planicies aledañas del Valle Medio del Magdalena, y en menor medida un sector del flanco occidental de la Cordillera Oriental y el Valle del Río Cauca. Una información más detallada sobre la geología de cada una de las planchas, se presenta en los correspondientes informes técnicos y sus respectivos mapas geológicos (INGEOMINAS-UIS, 2006 a,b,c,d).

Durante este trabajo conjunto, desarrollado durante los años 2005 y 2006, se efectuó la cartografía geológica del área de la plancha 64 (a escala 1:100.000), y

posteriormente se realizaron diversos análisis de laboratorio. Estos estudios, permitieron identificar en los 2.400 Km<sup>2</sup> de la plancha 64, las siguientes litologías: a) rocas metamórficas de edad Mesoproterozoica y Paleozoica (?), las cuales comprenden la Formación Neis de San Lucas y la Unidad Metamórfica de Pinillos de carácter informal; b) rocas volcanosedimentarias y sedimentarias de edad Triásica-Jurásica, las cuales se agruparon en tres formaciones: El Sudán, Morrocoyal y Noreán; c) rocas ígneas de edad Jurásico Medio, incluidas en la unidad Granitoide de San Lucas; d) dos unidades ígneas de edad Cretácica dudosa la primera (puede ser Jurásica Tardía), y Cretácica Tardía la segunda, denominadas informalmente Enjambre de Diques y; e) depósitos Cuaternarios de abanicos, terrazas aluviales, coluviones, fluviales de canal y suelos residuales, entre otros (INGEOMINAS-UISa, 2006; Mantilla *et al.*, 2007; Clavijo *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista estructural, la Serranía de San Lucas en su proceso actual, es un bloque controlado por las Fallas transcurrentes mayores la del Espíritu Santo (al norte) y La Falla de Cimitarra (al sur), las cuales a su vez, se originaron a consecuencia del desprendimiento cinemático de éste bloque del sistema maestro de Palestina. En este proceso, la velocidad diferencial entre las fallas transcurrentes mayores mencionadas, generan al interior del bloque deformaciones asociadas a rotaciones de bloques menores en un claro sistema de cizalla simple (Osorio y Orozco, 2004). En el marco de este mecanismo de cizalla, destaca en el área de la plancha 64, principalmente la falla de Mejía (INGEOMINAS-UIS, 2006a; Mantilla *et al.*, 2007).

Considerando que el objetivo principal del presente trabajo son las rocas metamórficas de la plancha 64 (Barranco de Loba, Serranía de San Lucas), a continuación se presenta una síntesis de la evolución del conocimiento geológico relacionado con este tema, pero el cual esta más ampliamente abordado en el informe INGEOMINAS-UIS (2006a).

Leutsh *et al* (1980), en un informe inédito realiza la descripción microscópica de rocas metamórficas encontradas en la Serranía de San Lucas, la cual incluye las microestructuras, texturas principales y la composición mineralógica.

En el trabajo de Bogota y Aluja (1981), se presenta una breve descripción de dos unidades metamórficas principales: Neis de San Lucas (Precámbrico) y Esquistos (Paleozoico). El Neis de San Lucas consiste según estos autores en rocas de composición cuarzo-feldespática y en

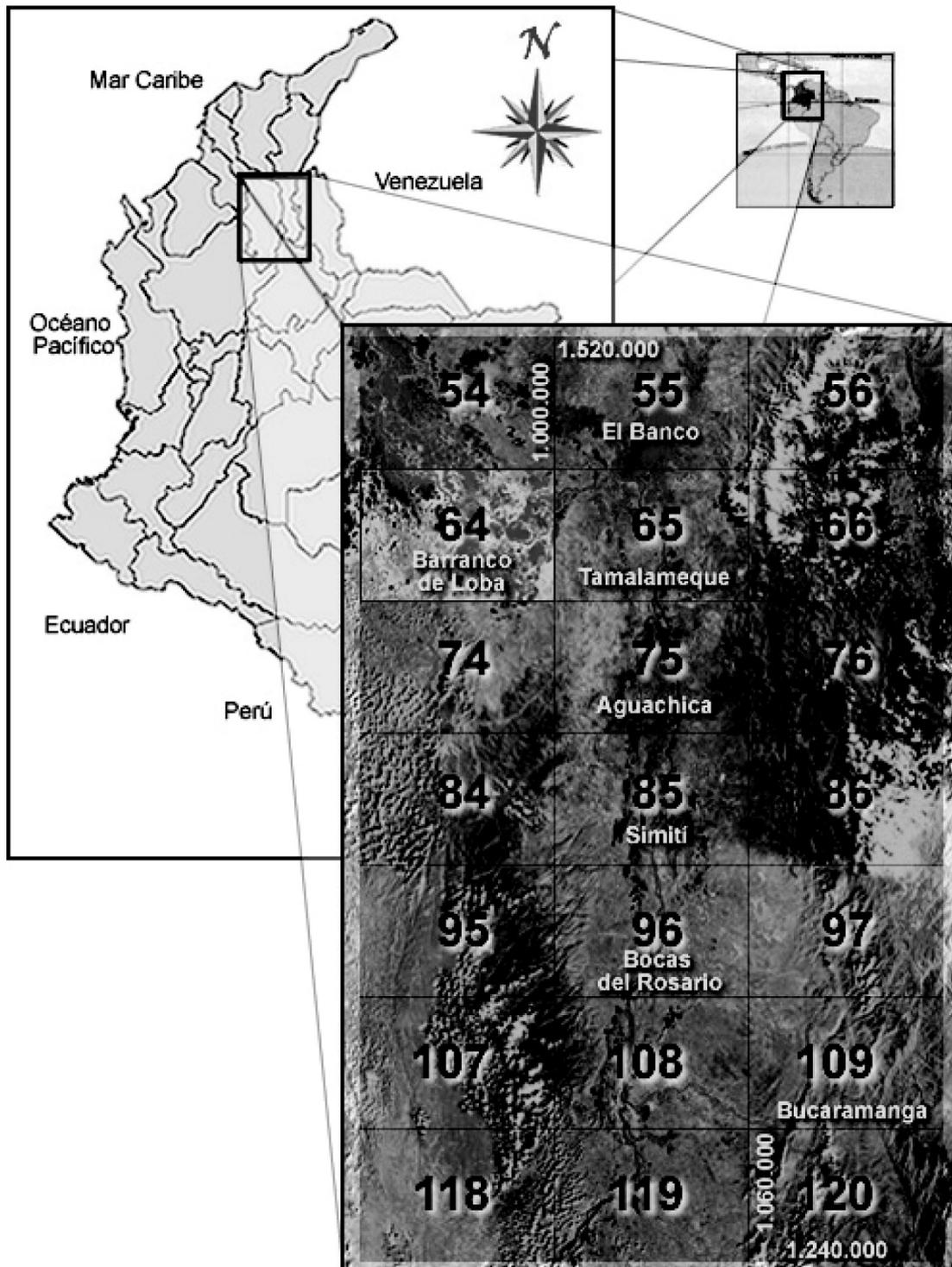


FIGURA 1. Mapa de localización de la plancha geológica 64 (Barranco de Loba, Serranía de San Lucas) correspondiente al área de estudio.

menor proporción hornbléndica y micácea, alcanzando la facies anfibolita baja. Los Esquistos son grafitosos con alternancia de niveles más silíceos representados por cuarcitas y esquistos cuarzo-sericíticos, moscovíticos y cloríticos. El sector oriental presenta esquistos negros con andalucita. La edad Paleozoica Inferior asignada a los Esquistos por estos autores, fue sugerida con base en una orientación diferente de la esquistosidad con respecto al Neis de San Lucas.

Vargas (1981), define una unidad compuesta por neises cuarzo feldespáticos con alternancias milimétricas de capas compuestas por biotita y/o hornblenda con numerosas variaciones litológicas como leuconaises y anfibolitas. Igualmente, este autor describe una unidad de esquistos y mica-esquistos grafitosos negros con intercalaciones centimétricas de cuarcitas, niveles carbonáticos, cuarcitas con cemento carbonatado y mármoles. En este trabajo, se concluye que 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.

Toussaint y Restrepo (1982), proponen un polimetamorfismo para las rocas de la Cordillera Central del intervalo Precámbrico-Cretácico. Un primer evento metamórfico debió tener lugar en el Precámbrico, representado en las anfibolitas granatíferas y el Neis de La Miel. En el intervalo Devónico - Carbonífero se produce el segundo evento metamórfico, el cual estuvo acompañado por la intrusión sintectónica de granito y aportes de fluidos corticales por efectos de anatexia. Edades K/Ar evidencian un evento tectono-metamórfico Pérmico-Triásico, producto de las orogenias Tardicalledonianas en el Devónico - Carbonífero y Tardihercínica en el Pérmico-Triásico. Durante el Cretácico se registran dos eventos metamórficos, el primero de ellos ocurre en el borde occidental de la cordillera asociado al emplazamiento de ofiolitas y, el segundo afectó el núcleo de la cordillera, estando relacionado con el emplazamiento de plutones y batolitos durante el Cretácico Tardío.

Correa (2006) realiza la descripción petrográfica y establece condiciones de metamorfismo según la historia reaccional y de equilibrio de las paragénesis de las rocas del Neis de San Lucas y Esquistos de Armenia. El Neis de San Lucas, esta constituido por neises cuarzo feldespáticos con biotita-hornblenda, hornbléndicos de facies anfibolita zona de la sillimanita, metagabros de facies epidota-anfibolita y granulitas piroxénicas de presión intermedia, los cuales indican una trayectoria de media P típica de gradiente barroviense y ambientes de

colisión continental. Por otro lado, para los Esquistos de Armenia se definen dos protolitos uno calco-silicatado, el cual dio lugar a esquistos cuarzo feldespáticos, de la facies esquistos verdes zona de la biotita y facies epidota anfibolita hacia el techo de la unidad, y otro pelítico con esquistos micáceos, con andalucita y grafito de facies anfibolita zona de la andalucita hacia la base, los cuales indican una trayectoria de baja P en zonas donde hay calentamiento a bajas profundidades en ambientes de colisión.

Niz (2007) presenta las características geoquímicas de las unidades metamórficas Neis de San Lucas y Esquistos de Armenia, con base en la química de elementos mayores. Se determinaron las condiciones de metamorfismo a partir del estudio paragenético y, el protolito mediante métodos geoquímicos (diagramas de Harker, Winkler, De La Roche, Rubo y Nematov). Algunas rocas del Neis de San Lucas muestran afinidad a protolitos sedimentarios principalmente, mientras que otras rocas están localizadas en el campo de los protolitos ígneos de composición dacítica. Los protolitos de los Esquistos de Armenia, son sedimentarios de composición pelítica principalmente.

Ordóñez, Restrepo y Londoño (2007), reportan rocas metamórficas de alto grado en cercanías de los municipios de Barranco y San Martín de Loba. Las rocas son principalmente migmatitas, neises cuarzofeldespáticos y granulitas. Estos autores atribuyen una edad precámbrica y las cuales posiblemente pertenecerían al cinturón granulítico Grenviliano.

Considerando la información existente sobre las rocas metamórficas en el área objeto de estudio, se reconoce la necesidad (entre muchas otras) de profundizar en aspectos relacionados las condiciones P-T del metamorfismo. Por esta razón, el presente trabajo se enfoca en este sentido.

## **METODOLOGIA**

Los estudios a nivel de laboratorio estuvieron precedidos de cartografía geológica y muestreo de las rocas metamórficas que afloran en el sector de estudio. Las muestras recolectadas fueron estudiadas mediante análisis mineralógico-petrográficos, geoquímicos y geocronológicos.

Los análisis mineralógicos y petrográficos a escala macroscópica se enfocaron a la descripción de las rocas y sus minerales, así como a la selección de muestras para la elaboración de secciones delgadas, delgadas-pulidas

y la separación manual de minerales para algunas dataciones radiométricas puntuales. Las muestras de mano se estudiaron en estereomicroscopios Carl-Zeiss de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS). A nivel microscópico, se analizó la composición mineralógica, los rasgos microestructurales, texturales y paragenéticos. Estos análisis se llevaron a cabo en microscopios marca Nikon Eclipse E200 y NIKON Alphaphot – 2 YS2, en los laboratorios de microscopía óptica de la Escuela de Geología de la UIS, sedes principal, y Guatiguará. El contenido de minerales (en %) se determinó con base en el conteo de 500 puntos, usando un contador electrónico de puntos marca Prior.

Las abreviaturas de los minerales que aparecen en las paragénesis, tablas y fotografías son las recomendadas por Kretz (1983).

Los análisis geoquímicos se realizaron en un espectrómetro de fluorescencia de rayos X de energía dispersa marca Shimadzu EDX 800 HS, compuesto por un detector en estado sólido Si (Li), la fuente de rayos X

es un tubo de Rodio, un colimador de 10mm y sin filtro. Para los elementos livianos se utilizó un canal de Na-Sc con una presión menor de 30Pa, voltaje del tubo 15KV – 100 $\mu$ A y tiempo de transición de 100s; mientras que para elementos pesados se utilizó una canal de Ti-U a una presión menor de 30Pa, voltaje del tubo 50KV – 100 $\mu$ A y un tiempo de transición de 100s. La cuantificación de los elementos presentes se realizó empleando el método de los Parámetros Fundamentales (FP), mediante el software DXP-700E versión 1.00 Rel. 014. Estos análisis se realizaron en el Centro de Desarrollo Productivo de Joyería (CDP de Joyería), en la Ciudad de Bucaramanga. Las dataciones U-Pb, se realizaron en el Centro de Pesquisas Geocronológicas del Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo (Brasil).

## PETROGRAFIA NEIS DE SAN LUCAS

Se presenta como un cinturón de rocas metamórficas de alto grado. Petrograficamente consiste en neises cuarzo-

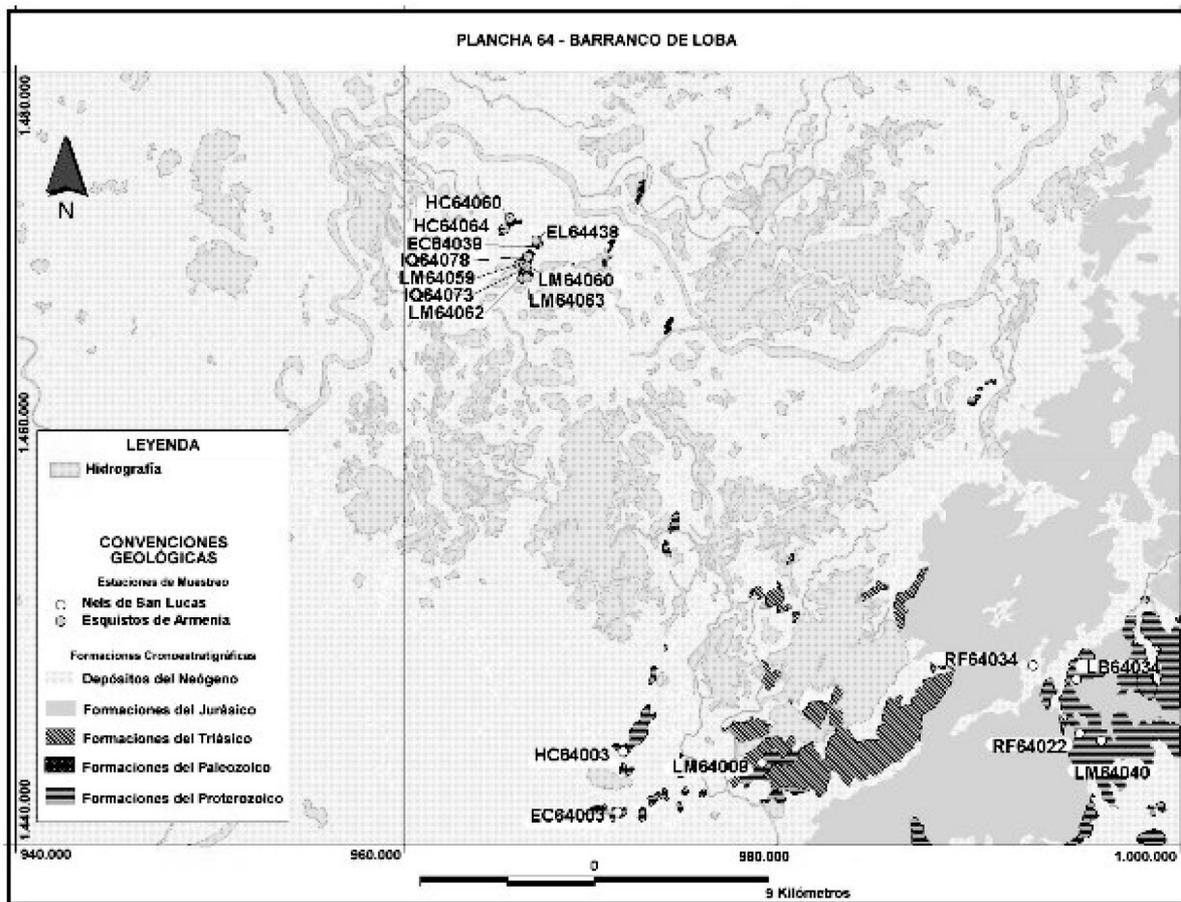


FIGURA 2. Esquema geológico del área de estudio con la localización de las muestras recolectadas. Modificado de INGEOMINAS-UIS (2006a).

feldespáticos (neises cuarzo-feldespáticos con biotita, neises cuarzo-feldespáticos con hornblenda) y rocas metamáficas (neis hornblendico, granulitas, metagabros). En la TABLA 1, se muestra la composición mineralógica de las rocas estudiadas para el Neis de San Lucas.

Los neises cuarzo-feldespáticos son de color grisáceo, estructura néisica, ocasionalmente tipo augen definida por los porfidoblastos de plagioclasa y feldespato potásico. Estos neises constan de minerales xenoblásticos, heteroblásticos tales como cuarzo, plagioclasa ( $An_{69}-Ab_{31}$ ) y ( $An_{61}Ab_{39}$ ), feldespato potásico como minerales principales. Presentan cantidades variables de biotita y hornblenda, minerales menores como la esfena formando coronas alrededor de opacos y accesorios como circón, rutilo, apatito e ilmenita. La textura típica es lepidogranoblástica, localmente pertítica y mirmekítica (FIGURA 3A) o granoblástica con recristalizaciones de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico en los neises cuarzo-feldespáticos con biotita, y texturas principalmente granoblásticas, algunas nematogranoblásticas localmente pertíticas y mirmekíticas, en neises cuarzo-feldespáticos con hornblenda se desarrolla textura lepidogranoblástica debido a la cloritización de la hornblenda.

La paragénesis principal de los neises es  $Qtz + Pl + Kfs + Hbl$ , la cual indicaría condiciones en facies anfibolita, zona de la silimanita.

Los neises hornbléndicos son de color verde oscuro, estructura neisica a masiva. Están constituidos por cuarzo, hornblenda, plagioclasa de composición ( $An_{67}Ab_{33}$ ), y feldespato potásico, siendo estos heteroblásticos y en su mayoría xenoblásticos, como accesorios están circón, rutilo y apatito. Presentan textura granonematoblástica (FIGURA 3B) con textura pertítica y mirmekítica localmente desarrolladas. En una de las secciones se observó que individuos subidioblásticos de hornblenda asociados a plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico definen una foliación  $S_n$ , mientras que los individuos idioblásticos de hornblenda se asocian a biotita y definen una foliación  $S_{n+1}$ .

Los neises hornblendicos presentan asociaciones  $Hbl + Pl + Qtz$  correspondientes a facies anfibolita principalmente, zona de la silimanita-almándino, y paragénesis de la zona de transición cianita-silimanita en algunas rocas metacuarzo-feldespáticas  $Pl + Kfs + Qtz$ ,  $Hbl + Bt + Pl$ , las cuales indican un metamorfismo de la serie de media P.

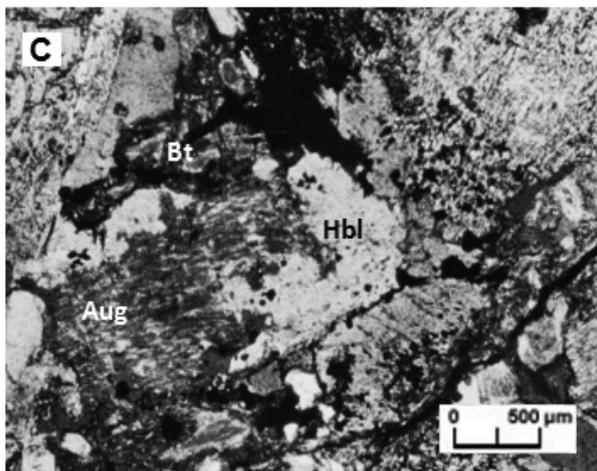
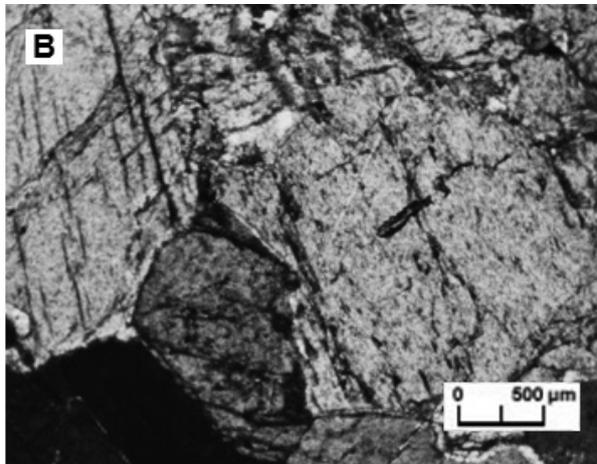
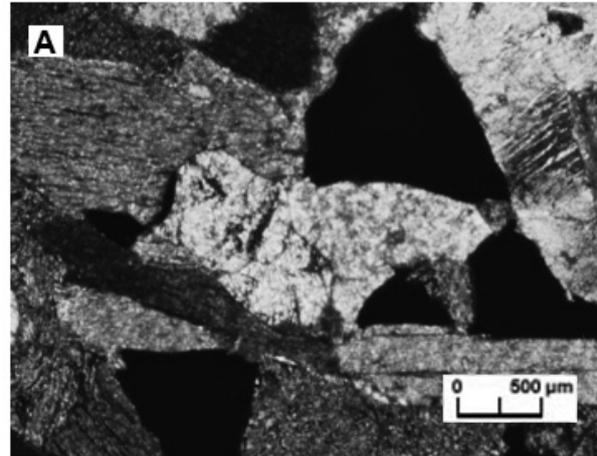
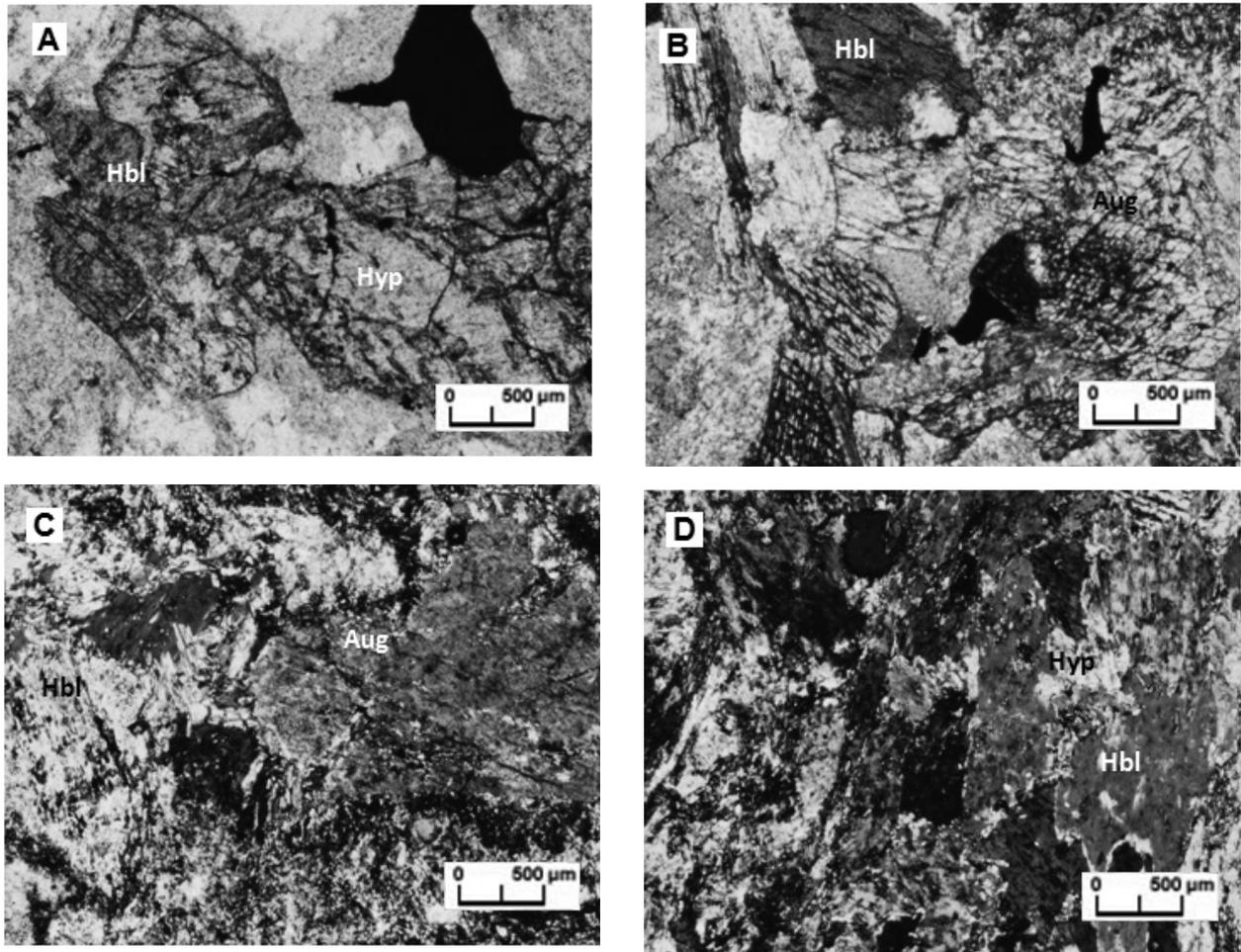


FIGURA 3. Texturas de las rocas del Neis de San Lucas. A. Textura lepidogranoblástica en neis cuarzo feldespático con biotita (Muestra: EC64-006-1) Nícoles cruzados. B. Textura granonematoblástica en neis hornbléndico (Muestra LM64-046-3), Nícoles cruzados. C. Textura nematogranoblástica, hornblenda y biotita reemplazando augita en el metagabro Nícoles cruzados. Bt-biotita, Aug-augita, Hbl-hornblenda.



**FIGURA 4.** Características mineralógicas y texturales de las granulitas. **A y B.** Hiperstena y augita en una granulita poco alterada con textura nematogranoblástica. **A.** Nícoles paralelos y **B.** Nícoles cruzados; **C y D.** Textura nematoblástica en las granulitas alteradas con relictos de hiperstena (Hyp), augita (Aug) y plagioclasa (color gris claro). Nícoles cruzados. Hbl-hornblenda.

Los metagabros están ubicados en la vía que conduce a Pueblito Mejía en el municipio de Altos del Rosario son rocas de color oscuro, faneríticas, heteroblásticas con estructura néisica marcada por bandas melanocráticas de anfíboles, intercaladas con bandas cuarzo feldespáticas de diversos espesores. Los minerales principales de estas rocas son cuarzo con contactos suturados, plagioclasa de composición ( $An_{49}Ab_{51}$ ), hiperstena, diópsido y augita remplazadas por hornblenda principalmente. Estos se presentan como individuos heteroblásticos, subidioblásticos a xenoblásticos siendo la textura general nematogranoblástica (FIGURA 3C) localmente se presentan texturas pertítica y mirmekítica, algunas muestras presentan textura lepidogranoblástica debido a la cloritización de la hornblenda. Estos metagabros presentan la asociación  $Hbl + Ep + Bt + Qtz$ , característica de la facie de transición Epidota-Anfibolita.

Las granulitas afloran en el Cerro de la Mina Bettys, el Cerro el Rosario, al Sur de la Mina Las Cabañas y en la Loma de Pajal, macroscópicamente son rocas de color oscuro, faneríticas, homeoblásticas algunas heteroblásticas. La estructura varía de masiva a foliada con bandas de espesores variables. La mineralogía de las granulitas consta de individuos subidioblásticos a xenoblásticos de plagioclasa ( $An_{60}Ab_{40}$ ), hiperstena y augita a manera de relictos en biotita. Asimismo, se presentan en cantidades variables minerales-producto de la alteración como epidota, actinolita, hornblenda, clorita, clinzoisita y biotita. La textura varía de nematogranoblástica a nematoblástica.

La paragénesis  $Aug + Hyp + Pl$  en las granulitas indican condiciones de las granulitas de alta temperatura o granulitas piroxénicas de la facie granulita. En la FIGURA 4, se presentan los principales rasgos mineralógicos y texturales de las granulitas.

TABLA 1. Composición mineralógica (en %) de las rocas del Neis de San Lucas.

Mineral		Tipo de Roca				
		Neis cuarzo feldespático con biotita	Neis cuarzo-feldespático con hornblenda	Neis hornbléndico	Metagabro	Granulita
Principales	Cuarzo	24 - 31	29 - 44	10.4 - 30	22.6	0 - 2.2
	Plagioclasa	15 - 22	26 - 31	15.8 - 28	32.4	12.4 - 22
	Feldespato potásico	11- 16.4	0 - 16	0 - 12.4		
	Hornblenda	0 - 13	0 - 20.8			
	Biotita		0 - 2	0 - 4		
	Hyperstena	0 - 3	0 - 2.6		5.0	
	Augita				8.8	5.8 - 14.6
	Diopsido				2.8	0 - 14.2
Menores y accesorios	Moscovita		0 - 2.6			0 - 0.5
	Esfena					0 - 4.6
	Opacos	0 - 8.2				3 - 3.8
	Ilmenita	1.5 - 4	1.2 - 5.2	1.6 - 7.2	2.6	
	Rutilo	0 - 4				
	Circón	0 - 3		0 - 1.4	0.8	
	Rutilo	1 - 1.6	0.8 - 1.6	1 - 2	0.8	0 - 2.2
	Apatito	0 - 2	0 - 2	0 - 2		0 - 2.2
Secundarios	Carbonatos(Pl)		0 - 4	0 - 4		0 - 4.6
	Epidota (Pl)		0 - 2			
	Clorita (Hbl)	0 - 7.6	1 - 9	6.6 - 22.8		
	Epidota (Hbl)	0 - 3	0 - 6	3.4 - 10.6		
	Carbonatos(Hbl)	0 - 7	0 - 11.8			
	Epidota (Bt)	8 - 19	0 - 4.8	0 - 7.4		
	Clorita (Bt)			0 - 4		
	Biotita (Hyp)				5.2	4 - 4.5
	Epidota (Hyp)				4.0	
	Biotita (Aug)				8.8	5.5 - 6.2
	Epidota (Aug)				3.6	0 - 13.2
	Clorita (Aug)					
	Hornblenda (Aug)					0 - 5.4
	Actinolita (Aug)				0.8	27.8 - 30.4
Clinozoisita (Aug)					0 - 4	

Entre paréntesis, los minerales primarios reemplazados: Pl-plagioclasa; Hbl-hornblenda; Bt-biotita; Hyp-hiperstena; Aug-augita.

## UNIDAD METAMORFICA DE PINILLOS

### *Esquistos de Armenia*

Esta unidad hacia la base consta de esquistos pelíticos y hacia el techo de esquistos calco-silicatados.

Los esquistos pelíticos comprenden esquistos micáceos y esquistos micáceos con andalucita, mientras que los

esquistos calco-silicatados son cuarzosos con cantidades variables de minerales del grupo de la epidota, hornblenda y actinolita. La composición mineralógica de los Esquistos de Armenia se presenta en la TABLA 2.

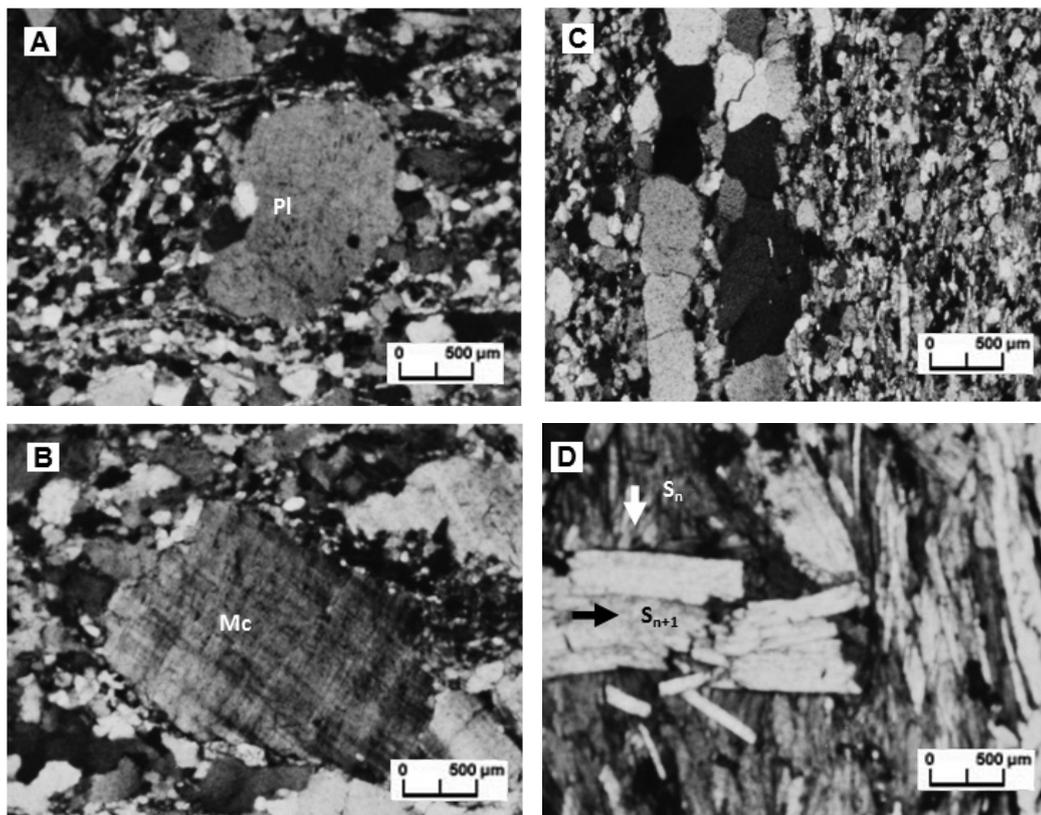
*Esquistos micáceos.* Son heteroblásticos, constituidos principalmente por individuos subidioblásticos a xenoblásticos de cuarzo con bordes suturados y extinción ondulante, la biotita y moscovita forman dominios de

clivaje, mientras que los porfidoblastos de plagioclasa con la matriz cuarzosa forman los dominios de microlitones. Se puede apreciar una foliación  $S_n$  definida por individuos de biotita de tamaño medio y moscovita y una foliación  $S_{n+1}$  es definida por porfidoblastos de moscovita (FIGURA 5A). La textura de estos esquistos es lepidogranoblástica localmente porfidoblástica en matriz granoblástica (FIGURAS 5A y 5B). En algunas ocasiones se desarrollan texturas lepidogranoblástica y lepidoblástica (FIGURAS 5C y 5D).

Esquistos micáceos con andalucita. Rocas de color oscuro, constituidos por porfidoblastos pre-cinemáticos heteroblásticos, xenoblásticos de andalucita variedad quiasolita, altamente sericitizados, rodeados por la foliación externa constituida por cuarzo, biotita, grafito y minerales opacos. Estos esquistos presentan textura porfidoblástica en matriz lepidoblástica. Los esquistos pelíticos encontrados hacia la base de la unidad presentan un mayor grado de metamorfismo con facies Epidota-Anfibolita y Anfibolita zona Andalucita-Almandino ( $Bt + Ms \pm Qtz, And + Bt$ ).

Los esquistos calco-silicatados son principalmente esquistos cuarzo feldespáticos con cantidades variables de biotita, epidota, clinozoisita, actinolita, hornblenda, los cuales afloran en el Cerro el Rosario, siendo rocas faneríticas heteroblásticas de colores claros a intermedios, constituidas por individuos xenoblásticos a subidioblásticos de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico en los microlitones como porfidoblastos precinemáticos. En los dominios de clivaje se desarrolla, biotita, epidota, clinozoisita asociada a minerales menores como la esfena. Estos esquistos presentan textura lepidogranoblástica, localmente porfidoblástica en matriz granoblástica en las bandas cuarzosas. Algunos esquistos con hornblenda presentan textura nematogranoblástica localmente porfidoblástica en matriz granoblástica y deformación posterior observada en el reordenamiento del cuarzo y alto fracturamiento de plagioclasa y microclina, y bandeamiento tectónico.

Los esquistos calco-silicatados predominantes hacia el techo de la unidad presentan facies desde esquistos verdes zona de la biotita hasta epidota-anfibolita ( $Hbl + Ep + Czo, Ep + Bt + Act \pm Qtz, Pl + Mc + Qtz$ ).



**FIGURA 5.** Texturas y microestructuras de los Esquistos de Armenia. **A.** Porfidoblasto de plagioclasa (Pl) en matriz de cuarzo. Muestra IQ64-078-1. Nícoles cruzados. **B.** Porfidoblastos de microclina (Mc). Muestra LM64-059-1, Nícoles cruzados. **C.** Textura lepidogranoblástica (Muestra: IQ64-078-1). Nícoles cruzados. **D.** Foliación  $S_n$  y  $S_{n+1}$  en esquistos micáceos (Muestra HC64060-1). Nícoles paralelos.

TABLA 2. Composición mineralógica (en %) de los Esquistos de Armenia.

Mineral		Tipo de Roca					
		Calco-silicatada				Pelítica	
		Esquisto feldespático cuarzoso con biotita (IQ64073001)	Esquisto cuarzoso con biotita (IQ64078001)	Esquisto cuarzoso con hornblenda (LM 64059 001)	Esquisto cuarzoso con hornblenda (IQ 64078 001)	Esquisto micáceo (EC64038002)	Esquisto micáceo con andalucita (HC 64 060 001)
Principales	Cuarzo	30	58	66.8	59.8	45	33.1
	Plagioclasa	26	4	5	4.4	6.6	1.5
	Microclina	5	1.6	5.4	1.8		
	Hornblenda			9.8	10.6		
	Biotita	16	12		4.6	25.8	17.8
	Grafito						14.3
	Muscovita					15.2	11.0
	Epidota	9	7.8	7.6	8.6		
Menores y accesorios	Actinolita		3.4				
	Andalucita						4.5
	Esfena	5	9	1	6.6		
	Opacos			1	1.8	3.4	
	Rutilo						1.7
	Zircón	1	0.4	0.8	1	0.8	0.5
	Apatito	1					
Secundarios	Sericita (Pl)	4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4
	Clorita(Bt)	3	1.4				7.5
	Sericita (And)						8.7

Entre paréntesis el mineral primario que es reemplazado: Pl-plagioclasa; Bt-biotita; And-andalucita.

### Filitas de Tapoa

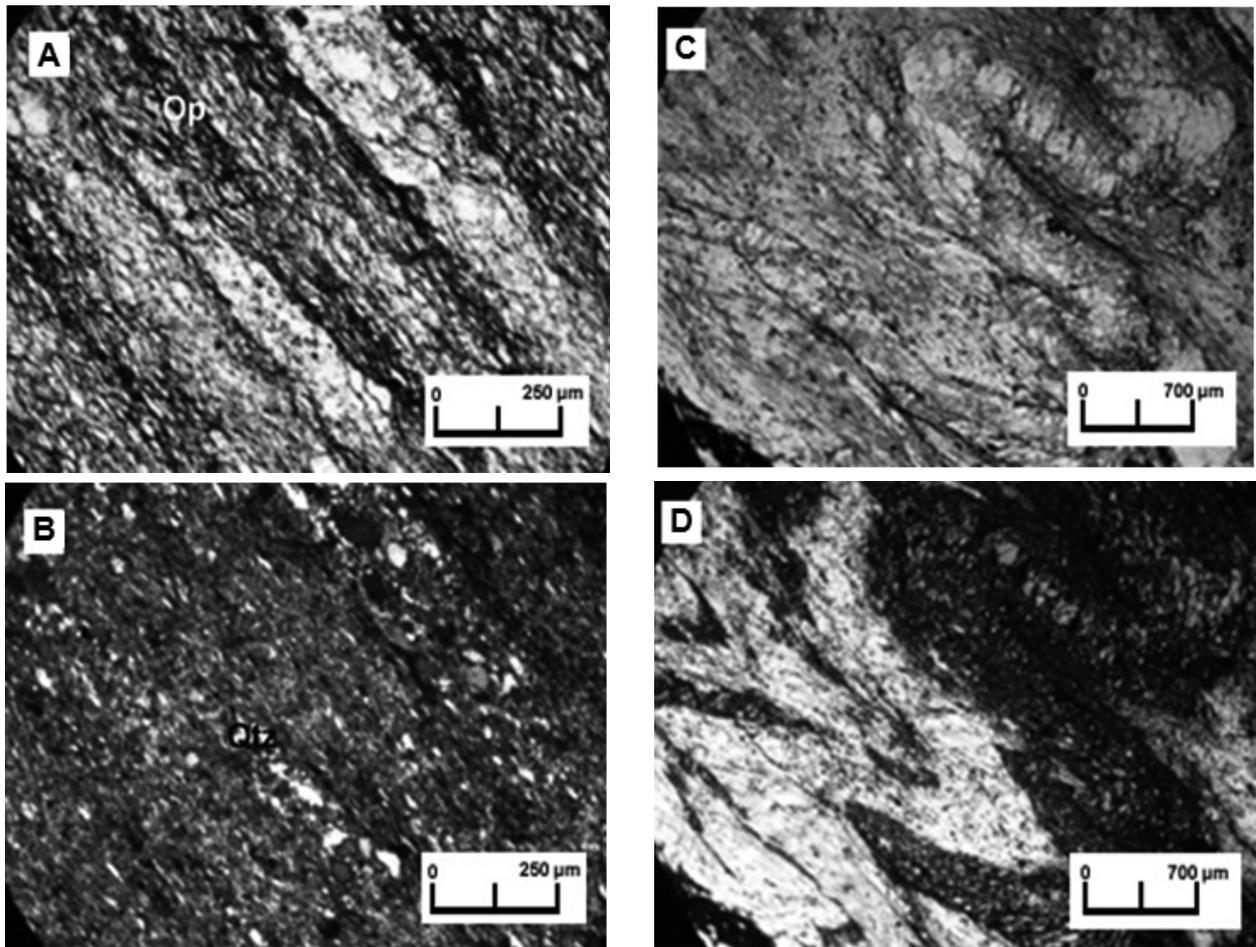
Esta formación litológicamente es muy homogénea y esta conformada por filitas gris verdosas y rojas, las cuales constan principalmente de cuarzo, sericita y opacos alterados a leucoxeno (ver TABLA 3 y FIGURA 6).

El cuarzo en las variedades más cuarzosas, ocurre como individuos xenoblásticos de grano muy fino, alargados en el sentido de la foliación. Esta asociado a minerales opacos y rutilo en contacto neto. Otra generación de cuarzo, de grano fino se encuentra rellenando venas que cortan la foliación. En los contactos de la vena con la roca se observa una mayor concentración de rutilo, parte de este se observa dentro del cuarzo de la vena o forma bandas, lo que al parecer es reflejo de remoción de la roca por el fluido percolante, relacionado con la formación de la vena, con posterior redepositación. Los opacos se presentan en forma de agregados muy finos, los cuales

forman bandas paralelas a las bandas cuarzosas. Están fuertemente alterados, dando como resultado agregados muy finos de color marrón oscuro a rojizo, en los cuales se pueden apreciar cristales finos de rutilo.

En las filitas más sericiticas, la sericita se presenta como agregados hojosos muy finos, alargados en el sentido de la foliación  $S_0$ , estrechamente relacionados con individuos xenoblásticos muy finos de cuarzo, alargados en el sentido de la foliación. Otra generación de sericita forma bandas monominerales o individuos alargados hojosos que están definiendo una foliación  $S_1$ , la cual corta a bajo ángulo la  $S_0$ . El cuarzo también se presenta rellenando venas plegadas y deformadas definiendo una foliación  $S_2$ . Son principalmente individuos subidioblásticos de grano fino o agregados alargados en el sentido de la  $S_2$ .

Algunas veces este cuarzo forma bandas monominerales dispuestas bajo cierto ángulo a  $S_0$  y  $S_1$ . Suele estar asociado a minerales opacos.



**FIGURA 6.** Microfotografía de la disposición paralela del cuarzo, sericita y los minerales opacos. **A.** Nicoles paralelos, **B.** Nicoles cruzados. Se observa la disposición paralela del cuarzo (Qtz) y los minerales opacos (Op), definiendo la foliación de la roca. Muestra (B64036). Microfotografía de la foliación replegada en filita compuesta de cuarzo y sericita. **C.** Nicoles paralelos, **D.** Nicoles cruzados. Muestra (B64037).

**TABLA 3.** Composición mineralógica (en %) de las Filitas de Tapoa.

Mineral		Tipo de Roca y número de muestra	
		Filita cuarzosa (B64036)	Filita (B64037)
Principales	Cuarzo	65	37
	Sericita	-	45
	Opacos	30	16
Menores	Rutilo	4	2
Accesorios	circón	1	-

## METAMORFISMO

El metamorfismo de las unidades litológicas estudiadas en la Serranía de San Lucas es principalmente de tipo orogénico. A continuación se presentan las asociaciones paragenéticas de las diferentes unidades metamórficas.

### NEIS DE SAN LUCAS

En los neises cuarzo-feldespáticos con hornblenda, la paragénesis principal es Qtz + Pl + Kfs + Hbl, perteneciente a la facies anfibolita, zona de la silimanita.

Los neises hornblendicos presentan las paragénesis: 1) Hbl + Pl + Qtz; 2) Pl + Kfs + Qtz; 3) Hbl + Bt + Pl. Estas paragénesis indican condiciones de facies anfibolita, zona de la silimanita y un metamorfismo de Media P.

Los metagabros han sufrido metamorfismo en facies Epidota-Anfibolita, desarrollando la paragénesis Hbl + Ep + Bt + Qtz.

Las granulitas presentan paragénesis Aug + Hyp + Pl, las cuales son evidencia de que pertenecen a la zona de las granulitas de alta temperatura o granulitas piroxenicas, es decir, ya han superado la zona de transición Granulita-Anfibolita caracterizada por la coexistencia de minerales hidratados y no hidratados.

## ESQUISTOS DE ARMENIA

Los esquistos pelíticos encontrados hacia la base de la unidad presentan un mayor grado de metamorfismo con facies Epidota-Anfibolita y Anfibolita zona Andalucita-Almandino, indicada por la paragénesis Bt + Ms ± Qtz, And + Bt.

Los esquistos calco-silicatados predominantes hacia el techo de la unidad presentan las paragénesis Hbl + Ep + Czo, Ep + Bt + Act ± Qtz; Pl + Mc + Qtz, las cuales corresponden a las facies esquistos verdes zona de la biotita a epidota-anfibolita.

### FILITAS DE TAPOA

En las Filitas de Tapoa, la asociación estable es de sericita + cuarzo. Esta asociación indica condiciones de facies esquistos verdes, zona de la clorita.

## GEOQUIMICA

### NEIS DE SAN LUCAS

Las muestras seleccionadas para análisis geoquímicos del Neis de San Lucas corresponden a neis hornbléndico milonitizado, neis cuarzofeldespático, neis cuarzofeldespático con biotita, neis hornbléndico y metagabro. La composición química de estas rocas se presenta en la TABLA 4.

TABLA 4. Composición química de las rocas del Neis de San Lucas

ELEMENTO (% Peso)	TIPO DE ROCA Y N° DE MUESTRA				
	Neis hornbléndico milonitizado (HC 64 003 001)	Neis cuarzo feldespático (LB 64 034 001)	Neis cuarzo feldespático con biotita (LM 64 009 001)	Neis hornbléndico (RF 64 022 001)	Metagabro (RF 64 034 001)
SiO <sub>2</sub>	54,58	69,23	57,67	50,06	58,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,73	15,83	18,64	14,67	16,95
FeO <sub>T</sub>	9,93	3,16	6,37	14,54	6,03
CaO	4,55	2,03	3,22	7,91	5,81
MgO	2,92	0,81	2,98	5,90	3,25
Na <sub>2</sub> O	3,84	3,54	3,37	0,00	1,71
K <sub>2</sub> O	2,79	2,24	3,72	1,07	2,74
SO <sub>3</sub>	1,19	1,35	1,09	1,22	1,64
TiO <sub>2</sub>	2,21	0,35	1,17	2,03	0,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,34	0,00	0,39	0,49	0,14
LOI	1,56	1,36	0,87	0,88	1,60
TOTAL	99,64	99,90	99,50	98,78	99,48

LOI: Pérdidas por Ignición de cada muestra.

## ESQUISTOS DE ARMENIA

La composición química de los Esquistos de Armenia se determinó en 3 muestras que corresponden petrográficamente a esquisto cuarzoso con hornblenda (muestras IQ 64 078 001 y LM 64059001) y, esquisto micáceo con andalucita (HC 64 060 001). Los datos geoquímicos de estas muestras son mostrados en la TABLA 5.

La composición química del Neis de San Lucas y los Esquistos de Armenia se usó para determinar el protolito, mediante su proyección en el diagrama de Werner (1987). Las rocas del Neis de San Lucas muestran relaciones bajas de MgO/CaO entre 0,39 y 0,92, mientras que los valores de la relación  $P_2O_5/TiO_2$  presentan mayor variación. Este varía entre 0 (neis cuarzo feldespático) hasta 0,6 (neis hornbléndico milonitizado). Los valores intermedios corresponden a neises hornbléndicos, neis cuarzo feldespático con biotita y al metagabro. La mayoría de muestras del Neis de San Lucas, se localizan en el campo del protolito ígneo (FIGURA 7).

Las rocas de los de los Esquistos de Armenia tienen bajos valores de  $P_2O_5/TiO_2$  y MgO/CaO. Estos esquistos están ubicados en el campo del protolito sedimentario o en el límite entre el sedimentario e ígneo (esquisto cuarzoso con hornblenda, IQ64078001). Posteriormente se empleó el diagrama de Herrón (1988) (FIGURA 8),

para determinar la variedad de la roca sedimentaria. De acuerdo con la posición de estas muestras, la roca protolito correspondió a shales ricos en Fe.

## GEOCROLOGIA

Mediante el método U/Pb, se dató una granulita (muestra LM64-040-005) perteneciente a la Formación Neis de San Lucas, recolectada en el sector de la Mina Poporopo. La datación U-Pb de esta muestra se realizó mediante

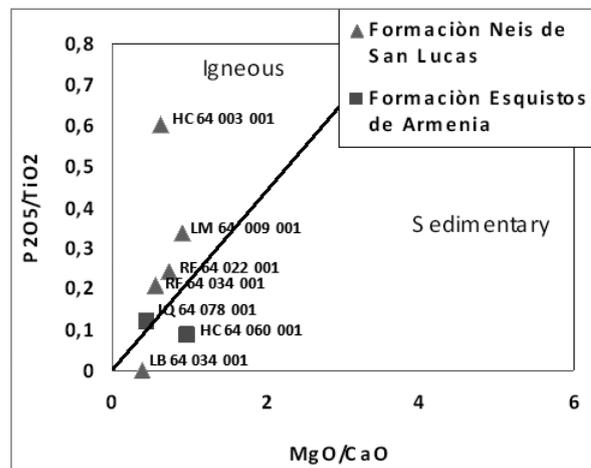
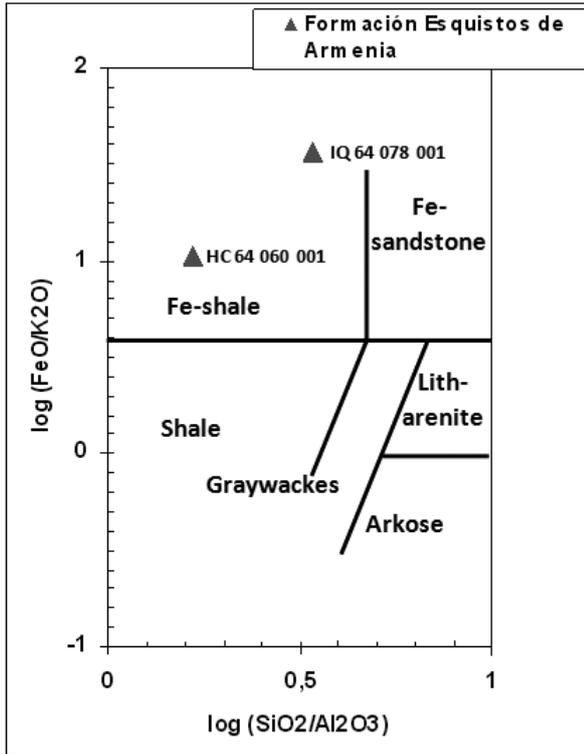


FIGURA 7. Distribución de las muestras del Neis de San Lucas y los Esquistos de Armenia en el diagrama de Werner (1987) para determinar el protolito.

TABLA 5. Composición química de las rocas de los Esquistos de Armenia.

Elemento (% Peso)	TIPO DE ROCA Y N° DE MUESTRA		
	Esquisto micáceo con andalucita (HC 64 060 001)	Esquisto cuarzoso con hornblenda (IQ 64 078 001)	Esquisto cuarzoso con hornblenda (LM 64 059 001)
SiO <sub>2</sub>	47.28	50.29	68.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.34	14.81	17.06
FeO <sub>T</sub>	9.22	11.54	0.98
CaO	0.94	11.37	2.00
MgO	0.93	5.26	0.06
Na <sub>2</sub> O	1.60	0.00	2.42
K <sub>2</sub> O	0.87	0.32	5.93
SO <sub>3</sub>	1.49	2.73	1.35
TiO <sub>2</sub>	0.98	0.82	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.10	0.08
LOI	8,09	1,77	1,75
<b>TOTAL</b>	<b>87.93</b>	<b>95.99</b>	<b>96.83</b>

LOI: Pérdidas por ignición de cada muestra.

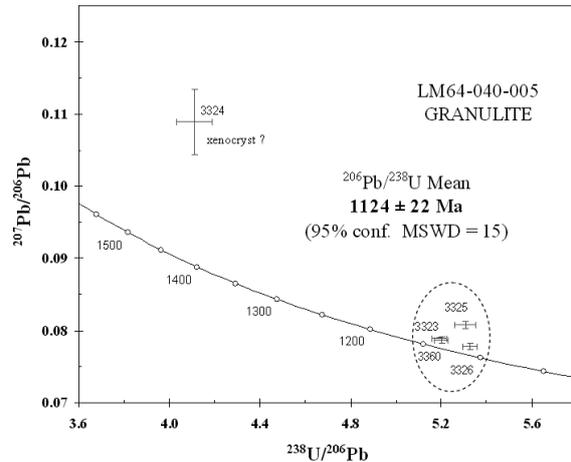


**FIGURA 8.** Localización de los Esquistos de Armenia en el diagrama de Herron (1988), para determinar las características del protolito sedimentario.

dilución isotópica o ID-TIMS. Para ello se seleccionaron cinco fracciones de zircones, cuatro de ellas (3323, 3325, 3326, 3360) representan una misma familia, es decir poseen características morfológicas y susceptibilidad magnética similares, además de ausencia de fracturas y pocas inclusiones.

Los datos se plotearon en el diagrama de concordia de Tera-Wasserburg (1972) (FIGURA 9). Dicha proyección evidencia en todas las fracciones una pérdida de Pb radiogénico diferencial, es decir no se logra concordancia entre las edades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , por esta razón, se calculó la edad media. Las fracciones 3323 y 3360 muestran similitudes en cuanto a pérdida de Pb radiogénico, bajo error y edades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ .

El valor de edad obtenido es de  $1124 \pm 22$  Ma, corresponde a un evento tectonotermal del Proterozoico Medio, temporalmente relacionado con el evento Orogénico Grenviliano, reportado en los macizos de Garzón, Santander, Sierra Nevada de Santa Marta (Kronenberg, 1982; Priem *et al.*, 1989; Restrepo-Pace, 1995; Cordani *et al.*, 2003; Cardona, 2003; Jimenez *et al.* 2006). La formación de este cinturón grenviliano se relaciona con la constitución del Supercontinente Rodinia (Hoffman, 1991).



**FIGURA 9.** Diagrama concordia U-Pb Tera-Wasserburg (1972). La edad media calculada para las fracciones de esta granulita es de  $1124 \pm 22$  (MSDW=15), y representa la edad del pico metamórfico (Tomado de INGEOMINAS-UIS, 2006a).

Los resultados de los análisis isotópicos y demás información de detalle relacionada con esta y otras dataciones realizadas en rocas de la Serranía de San Lucas, se reportan en el informe INGEOMINAS-UIS (2006a).

## DISCUSION DE RESULTADOS

Las rocas metamórficas de la Serranía de San Lucas son el resultado de dos eventos tectonometamórficos. El primer evento ocurrió hace unos  $1124 \pm 22$  Ma, dando origen a los neises y granulitas de la Unidad Neis de San Lucas, rocas que sufrieron un extenso metamorfismo orogénico de presiones bajas a medias y temperaturas altas, alcanzando la facies anfibolita superior y granulita. Las granulitas sufrieron un metamorfismo retrogrado hacia la facies anfibolita inferior. Este primer evento tectonometamórfico está asociado a la orogenia Grenviliana. El segundo evento metamórfico dio origen a los Esquistos de Armenia y las Filitas de Tapoa. El metamorfismo de los Esquistos de Armenia es de tipo regional, situándose el pico metamórfico en condiciones de la parte baja de la facies anfibolita. Las Filitas de Tapoa presentan un bajo grado de metamorfismo, ubicándose su pico metamórfico en la zona de la clorita (parte mas baja) de la facies esquistos verdes. Se presume una edad Paleozoica Temprana para los Esquistos de Armenia (INGEOMINAS-UIS, 2006a; Clavijo *et al.*, 2008). Este metamorfismo Paleozoico sería consecuencia de la Orogenia Caledoniana, conocida como Caparonensis y de la cual se conocen también cinturones en los Andes de Mérida y en los Andes Centrales y Sur del continente. La edad del metamorfismo de las Filitas de Tapoa es incierta y hasta el momento no se disponen de datos y evidencias

que respalden alguna hipótesis en concreto, debido a los escasos y aislados afloramientos encontrados con rocas de esta unidad. Tentativamente podría presumirse una edad del Paleozoico Superior?.

## CONCLUSIONES

Las rocas metamórficas de la Serranía de San Lucas en la Plancha 64 están agrupadas en la Formación Neis de San Lucas y la unidad informal denominada Unidad Metamórfica de Pinillos. La Formación Neis de San Lucas consta de neises cuarzofeldespáticos, metagabros y granulitas. La Unidad Metamórfica de Pinillos esta constituida por los Esquistos de Armenia (esquistos cuarzosos y pelíticos) y, Las Filitas de Tapoa (filitas).

El metamorfismo es de tipo orogénico y de acuerdo con las paragénesis determinadas, las condiciones máximas alcanzadas son las de facies granulita (Neis de San Lucas), anfíbolita zona de la andalucita (Esquistos de Armenia) y esquistos verdes, zona de la clorita (Filitas de Tapoa).

El protolito de las rocas del Neis de San Lucas según los análisis geoquímicos es de carácter ígneo, mientras que las rocas de los Esquistos de Armenia el protolito es sedimentario.

La edad del metamorfismo para el Neis de San Lucas esta entorno a  $1.124 \pm 22$  Ma (U-Pb en circones), lo cual se interpretaría como un evento relacionado con la orogenia Grenviliiana.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el respaldo financiero y técnico del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) y de la Universidad Industrial de Santander (UIS), a través del proyecto de investigación titulado “Cartografía geológica de 9.600 km<sup>2</sup> de la Serranía de San Lucas: planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas del Rosario): aporte al conocimiento de su evolución geológica”, desarrollado en el marco del convenio de cooperación no.004, suscrito entre estas dos instituciones.

Los autores están mas que agradecidos con el Profesor Jorge Eduardo Pinto por su ayuda en la elaboración de los mapas geológicos, aquí presentados.

Asimismo, se expresa un profundo agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma participaron en los trabajos de campo y laboratorio, quienes hicieron posible la elaboración de los mapas geológicos 55, 64, 85 y 96 a escala 1:100.000. Un especial agradecimiento a Jairo Osorio, Diego Ibáñez, Eduardo Castro, Eduardo Lopez, Rafael Duarte, Carlos Celada, Isaid Quintero, Liliana Páez, Juan Colegial, Marta Edith Velásquez, Andrés Bustamante, Jenny Gaviria, Rafael Casas, Sandra Lasso, Leydi Niz, Mario García, Gerson Navas, Alejandro Silva, Ana Martínez, David Prada, Helbert Calderón, Giovanni Jiménez, Mario Cuellar, Ricardo Franco y Víctor Caballero.

Los autores agradecen a dos revisores anónimos cuyos comentarios y observaciones contribuyeron al mejoramiento del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- Bogota, J. y Aluja, J. 1981. Geología de la Serranía de San Lucas. Geología Norandina, 4.
- Cardona, A. 2003. Correlacoes entre fragmentos do embasamento Pre-Mesozoico da terminacao setentrional dos Andes Colombianos, com base em dados isotopicos e geocronologicos. Dissertacao de Mestrado, Universidade de Sao Paulo, Instituto de Geociencias, 149p.
- Clavijo J., M.; Mantilla, Figueroa. L. C.; Pinto J.; Bernal L.; Pérez, A. 2008. Evolución geológica de la Serranía de San Lucas, Norte del Valle Medio del Magdalena y Noroeste de la Cordillera Oriental. Boletín de Geología, 30 (1): 45-62.
- Cordani, U.G., Cardona, A., Jiménez, D.M., and Liu, D. 2003. Did the Precambrian basement inliers of northern Colombia play any role in Rodinia's formation?. Memorias Resúmenes IX Congreso Colombiano de Geología, Medellín, pp. 34.
- Correa, K. 2006. Petrografía del Neis de San Lucas y los Esquistos de Armenia. Tesis pregrado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 80p.
- Herron, M.M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core of log data. Journal of Sedimentary Petrology 58(5):820-829.
- Hoffman, P. 1991. Did the birth of North America turn Gondwana inside out?. Science, 252:1409-1411.

- INGEOMINAS-UIS. 2006a. Cartografía geológica de 9.600 km<sup>2</sup> de la Serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Smití) y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al conocimiento de su evolución geológica. Informe Final Plancha 64, 201 p.
- INGEOMINAS-UIS. 2006b. Cartografía geológica de 9.600 km<sup>2</sup> de la Serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Smití) y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al conocimiento de su evolución geológica. Informe Final Plancha 55, 176 p.
- INGEOMINAS-UIS. 2006c. Cartografía geológica de 9.600 km<sup>2</sup> de la Serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Smití) y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al conocimiento de su evolución geológica. Informe Final Plancha 85, 140 p.
- INGEOMINAS-UIS. 2006d. Cartografía geológica de 9.600 km<sup>2</sup> de la Serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Smití) y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al conocimiento de su evolución geológica. Informe Final Plancha 96, 126 p.
- Jimenez, D., Giuliani, C., Cordani, U. 2006. P-T conditions of high-grade metamorphic rocks of the Garzon Massif Andean basement, SE Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 21:322-336
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68: 277-279.
- Kronenberg, S. 1982. A Grenvillian granulite belt in the Colombian Andes and its relations to Guiana Shield. *Geologie en Mijnbouw*, 61(4):325-333
- Leutsh, Y., Lambert, A., Bogotá, J. 1980. Zona San Lucas-Reconocimiento Geológico Preliminar. Anexo Fotográfico. Informe No. 080 (Inédito). IAN
- Mantilla, Figueroa. L. C.; Bernal, V. L.; Clavijo, J.; Pinto, J. E.; Osorio, J.; Ibáñez, D.; Castro E.; López, E.; Duarte, R.; Celada, C.; Gómez, E.; Quintero, I.; Pérez, A.; Páez, L. A.; García, C.; Colegial, J.; Correa, K.; Serrano, J.; Gaviria, J.; Casas, R.; Lasso, S.; Niz, L.; García, M.; Nava, G.; Martínez, A. M.; Silva, A.; Prada, D.; Calderón, H.; Jiménez, G.; Cuellar, M.; Franco, R.; Caballero, V. (2007): Generalidades sobre la geología de la Serranía de San Lucas (Planchas 55, 64, 85 y 96). *Memorias XI Congreso Colombiano de Geología*. Bucaramanga. Agosto 14 al 17 de 2007.
- Niz, L. 2007. Geoquímica del Neis de San Lucas, Esquistos de Armenia y la Formación La Virgen. Tesis de Pregrado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Ordoñez, O., Restrepo, J., Londoño, C. 2007. Rocas metamórficas de alto grado en La Serranía de San Lucas. Resúmenes XI Congreso Colombiano de Geología. Bucaramanga, agosto 14 al 17 de 2007, 137p.
- Priem, H.N.A., Kroonenberg, S.B., Boelrijk, N.A.I.M., and Hebeda, E.H. (1989). Rb-Sr evidence for the presence of a 1.6 Ga. Basement underlying the 1.2 Ga. Garzón-Santa Marta Granulite Belt in the Colombian Andes. *Precambrian Research*, 42: 315-324.
- Restrepo-Pace, P. (1995). Late Precambrian to Early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes, based on new geochronological, geochemical and isotopic data. Ph.D Thesis, University of Arizona, 195p.
- Tera F.; Wasserburg G.J. 1972. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks. *Earth Planetary Science Letters*, 14: 281-304.
- Toussaint, J. y Restrepo, J. 1982. Metamorfismos Superpuestos en la Cordillera Central de Colombia. *Memorias Quinto Congreso Latinoamericano de Geología*, p. 505-512. Argentina.
- Vargas, J. 1981. Prospección de minerales radiactivos en la Serranía de San Lucas. Informe interno IAN. 61p. Bogotá.
- Werner, C.D. 1987. Saxonian granulites-igneous or lithoigneous: a contribution to the geochemical diagnosis of the original rock in high-metamic complexes. In: Gerstenberger, H. (Ed.), *Contribution to the geology of Saxonian granulite massif (Sa¨chsisches Granulitgebirge)*. *ZfI-Mitteilungen*, 133: 221-250.

---

---

Trabajo recibido: Diciembre 14 de 2008

Trabajo aceptado: Mayo 8 de 2009