

# PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DEL NEIS DE NECHÍ

Gabriel Rodríguez<sup>1</sup>; María Isabel Arango<sup>1</sup>; Gilberto Zapata<sup>1</sup>; José Gilberto Bermúdez<sup>1</sup>

**Forma de citar:** Rodríguez, G., Arango, M.I., Zapata, G., y Bermúdez J.G. 2014. Petrografía y geoquímica del Neis de Nechí. Boletín de Geología, 36(1): 71-84.

## RESUMEN

El Neis de Nechí aflora dentro del terreno Tahami, al occidente de la Falla Otú-Pericos en la Serranía de San Lucas; se extiende como una franja de 35 km de largo por 10 km de ancho, desde El Porvenir (al sur) hasta el corregimiento Méjico (al norte); comprende neises y granofels cuarzo feldespáticos con anfíbol y biotita; presenta sectores donde la roca conserva el aspecto ígneo del protolito y sectores con estructura néisica con bandas granulares intercaladas con bandas néisicas. El metamorfismo regional sobre impuesto alcanzó la facies anfíbolita baja, representada por la asociación cuarzo-plagioclasa-biotita-epidota-esfena y los minerales heredados del protolito ígneo son: hornblenda-cuarzo-ortoclasa-plagioclasa. Dentro de la unidad se observan vetas de cuarzo lechoso con mineralización de oro y polisulfuros y diques de pegmatitas de cuarzo y plagioclasa. La geoquímica de óxidos mayores y elementos trazas ubican las rocas dentro de la serie calcoalcalina alta en K, formadas a partir de un protolito ígneo intermedio, localizándolas en el diagrama TAS en los campos de las tonalitas y dioritas. El comportamiento de los elementos traza y las tierras raras indican que el protolito se desarrolló en un ambiente de arco, con enriquecimiento en elementos traza ligeros y empobrecimiento de los trazas pesados, con afinidad hacia los magmas magnesianos. La edad U/Pb obtenida en circones de  $277,3 \pm 3,0$  Ma (Pérmico), fue interpretada como edad de intrusión del granitoide; si se asocia con los resultados geoquímicos, permite sugerir la existencia de un arco plutónico de margen continental relacionado a subducción, que intruyó un basamento más viejo, el cual fue sometido a metamorfismo regional durante el Triásico, afectando todo el conjunto y arrojando una edad de metamorfismo de  $236,4 \pm 6,6$  Ma similar al del Complejo Cajamarca.

**Palabras Clave:** Petrografía, geoquímica, metamorfismo, Neis de Nechí.

## PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF THE NECHI GNEISS

### ABSTRACT

The Nechi's Gneiss outcrops within the Tahami terrain to the west of the Otu-Pericos fault, and It's located in the San Lucas range. It extends from El Porvenir, in the southern part, as a band of 35 Km length by 10 Km wide, to the Mejico's town in the northern part. It is composed by quartzfeldspathic gneisses and granofels with amphibole and biotite, in some areas, these rocks present igneous aspect from their protolith and sectors with gneissic structure with granular bands interspersed with gneissic bands. The subsequent regional metamorphic reached low amphibole facies, is represented by quartz-plagioclase-biotite- epidote- titanite association, and the inherited igneous minerals from protolith are: hornblende, quartz, orthoclase, plagioclase. Inside the unit, milky quartz veins with gold and polysulphures mineralizations, and pegmatites dikes of quartz and plagioclase are observed. The majors oxides chemistry and traces elements, place these rocks among of the high in K calc-alkaline series, which are formed from an intermediate igneous protolith, located in the TAS diagram in the tonalities and diorites fields. The traces elements and rare earth elements behaviour suggests that the protolith was developed in an arc environment with enrichment in light traces elements and impoverishment of heavy traces, with affinity to magnesian magmas. The U/Pb zircons age is  $277.3 \pm 3.0$  Ma (Permian), it was interpreted as the granitoid's intrusion age. This age and the geochemistry analysis allow to suggest the existence of a plutonic arc of continental margin, related to subduction, which intruded the oldest basement that was submitted to regional metamorphism during the Triassic; affecting the whole unit, besides of giving a metamorphism age of  $236.4 \pm 6.6$  Ma, similar to Cajamarca Complex.

**Keywords:** Petrography, Geochemistry, metamorphism, Nechi Gneiss.

<sup>1</sup>Servicio Geológico Colombiano - GTR, Calle 75 N° 79<sup>a</sup>-51, Medellín, teléfono 2644949 ext. 8107, [grodriguez@sgc.gov.co](mailto:grodriguez@sgc.gov.co)

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enmarca dentro de los trabajos adelantados por geólogos del Servicio Geológico Colombiano de la sede Medellín, relacionados con la cartografía geológica de la plancha 83, donde se cartografió el Neis de Nechí. La información petrográfica y geoquímica presentada en este trabajo pretende aportar nuevos datos acerca de la génesis y evolución del magmatismo pre-Triásico y metamorfismo Triásico de la Cordillera Central de Colombia.

## MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y ANTECEDENTES

El Neis de Nechí se localiza en el borde occidental de la Serranía de San Lucas, en la margen oriental del río Nechí, hace parte del basamento triásico de la Cordillera Central, el cual está limitado al oriente por la Falla El Bagre-Palestina que lo separa del Neis de San Lucas de edad Precámbrico (FIGURA 1).

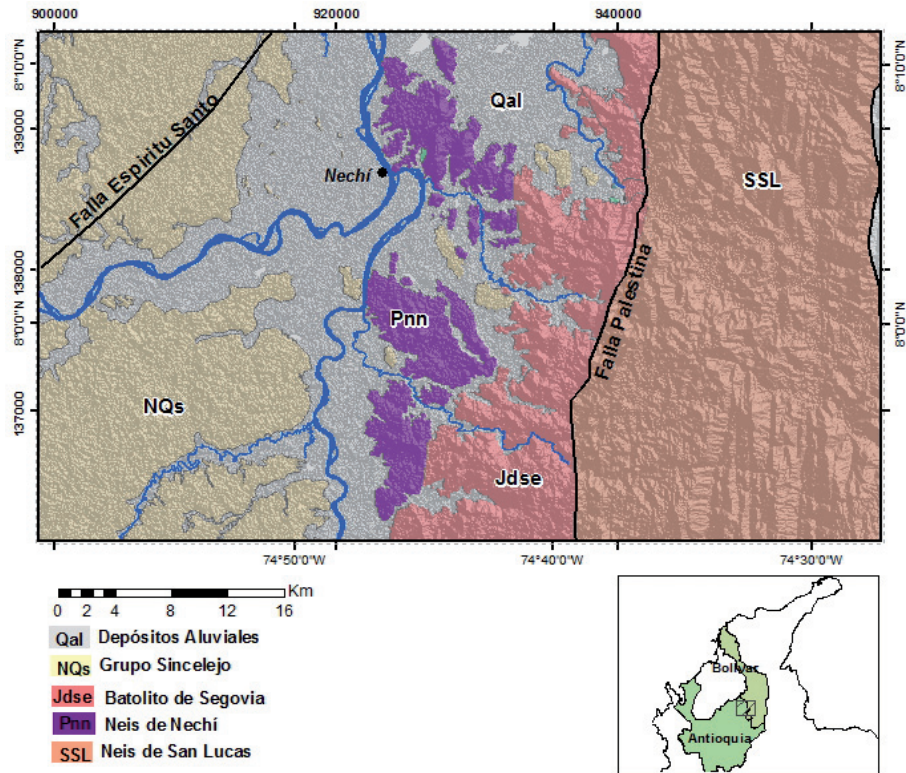


FIGURA 1. Localización del Neis de Nechí.

Como Neis de Nechí se denomina a un cuerpo de neises cuarzo feldespáticos y anfibólicos, que González (2001), en el Mapa Geológico de Antioquia, agrupa como parte del Complejo Cajamarca y lo denominó “Neises Cuarzo Feldespáticos y Aluminicos”. Posteriormente fue llamado por Restrepo *et al.* (2010) Neis de Nechí, y recientemente Leal (2011) lo describe con el nombre de Neis Metatonalítico de las Facies Nechí, interpretando esta unidad como un cuerpo intrusivo holocristalino fanerítico jurásico, afectado por foliación penetrativa metamórfica. Restrepo *et al.* (2010) reportan una edad Pérmico de  $277,3 \pm 3,0$  Ma para el Neis de Nechí, donde la mayoría de los circones analizados son de origen ígneo y la consideran como la edad de intrusión del granitoide; además, encuentran para cuatro (4) cristales de circón una

edad Triásico de  $236,4 \pm 6,6$  Ma que la interpretan como la edad del metamorfismo que afectó el granitoide.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó el análisis de siete (7) secciones delgadas y se tuvo acceso al análisis petrográfico de secciones delgadas de la Empresa Exploradora Minera S.A., además de las descripciones de secciones delgadas del trabajo de Montoya y Ordoñez (2010); también se consultó la descripción petrográfica realizada por Leal (2011).

Los análisis químicos de óxidos mayores, elementos traza y elementos de las tierras raras se realizaron en el laboratorio de geoquímica del Servicio Geológico Colombiano por el método de fluorescencia de rayos

X para óxidos mayores y algunos elementos traza y por el método de espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado ICP-MS para los elementos de tierras raras y elementos traza.

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA

La unidad está constituida por rocas isotrópicas a bandeadas y localmente plegadas, presenta sectores del

cuerpo donde la roca tiene aspecto ígneo sin orientación mineral, está compuesta por rocas faneríticas de grano medio con textura granular que varían en composición de cuarzodiorita, tonalita a granodiorita (FIGURA 2). Presenta sectores con bandas decimétricas definidas y difusas, donde el contenido de minerales máficos y félsicos varía de una banda a otra, que corresponden a neises y granofels cuarzo - feldespáticos con anfíbol y biotita o el equivalente metaígneo como metatonalitas, metacuarzodioritas y metagranodioritas (FIGURA 2C).



**FIGURA 2.** Aspecto macroscópico de las rocas del Neis de Nechí. **A)** Roca con textura granular isotrópica. **B)** Pliegues en rocas con bandeamiento y orientación mineral. **C)** Aspecto macroscópico de roca bandeada con orientación mineral.

La unidad está atravesada por vetas de cuarzo lechoso con mineralización de oro y sulfuros como calcopirita, pirita, galena y esfalerita que se encuentran a manera de nidos y rellenando fracturas y por pegmatitas de cuarzo y plagioclasa. Las vetas presentan contactos netos con fragmentos de neis en su interior.

La heterogeneidad macroscópica y microscópica que presenta el Neis de Nechí, en textura y estructura, se interpreta como el grado de afectación que tiene el protolito por el metamorfismo regional sobre impuesto, debido a la ausencia de deformación penetrativa uniforme; es

decir, algunos sectores conservan la estructura y textura ígnea del protolito, sin embargo, se formaron minerales metamórficos y algunas texturas metamórficas, además, algunos sectores del cuerpo con textura granular pueden o no presentar intercalaciones de bandas con estructura néisica y granofélsica. Otros sectores del cuerpo fueron afectados por la deformación que está unida al evento metamórfico y desarrollaron estructura néisica y texturas augen porfidoclásticas, en algunos casos con bandas granoblásticas, lepidoblásticas y nematoblásticas. En la FIGURA 3, se muestra la localización de muestras con análisis petrográfico; las rocas 900585 y 900586 fueron

tomadas en el mismo lugar por lo que en la figura se superponen, al igual para las rocas 900589 y 900590.

Para la caracterización petrográfica, además de los siete análisis realizados por los autores, se compila las descripciones presentadas en el trabajo de Montoya y Ordoñez (2010), (TABLA 1), se conserva la clasificación y los porcentajes de autores del trabajo original, además, se grafican en el triángulo QAP las siete secciones delgadas analizadas para mostrar la composición del protolito, considerando que el metamorfismo no causó cambios en el contenido de cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino (FIGURA 4).

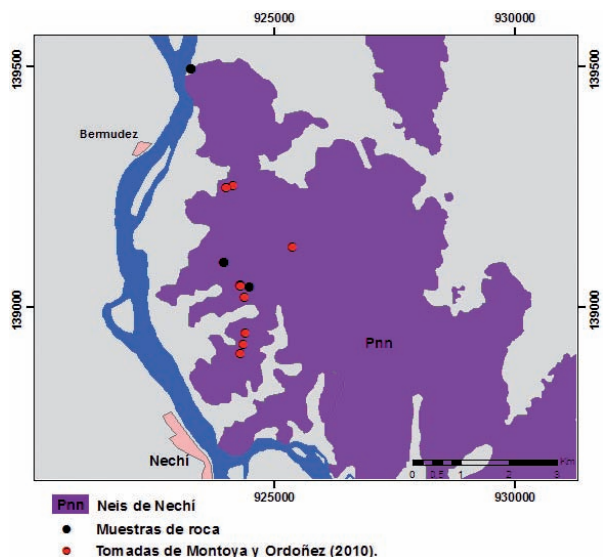


FIGURA 3. Localización de muestras con análisis petrográfico.

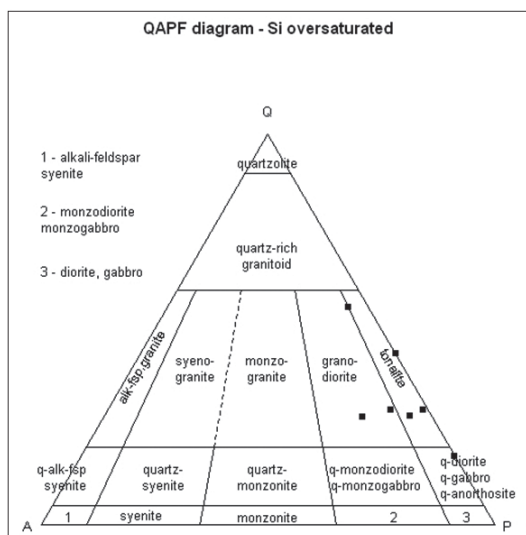


FIGURA 4. Diagrama QAP mostrando la composición modal de rocas del Neis de Nechí, a partir de un protolito ígneo plutónico.

De acuerdo a los análisis petrográficos se consideran minerales ígneos heredados del protolito cuarzodiorítico-tonalítico-granodiorítico los siguientes: plagioclasa, feldespato alcalino, cuarzo y hornblenda, y los accesorios como circón y allanita. Los minerales metamórficos corresponden a cuarzo, plagioclasa, biotita, epidota, esfena y apatito, los cuales marcan la estructura néisica de la roca.

Minerales como plagioclasa, ortoclasa y hornblenda desarrollan texturas augen porfidoclásticas, con sombras de presión asimétricas causadas por deformación rotacional, se observan en estos tres minerales deformación con fracturamiento de algunos cristales y desarrollo de minerales sincinemáticos a lo largo de las fracturas, así como flexionamiento con desarrollo de extinción ondulatoria y en algunos casos microfalloamiento.

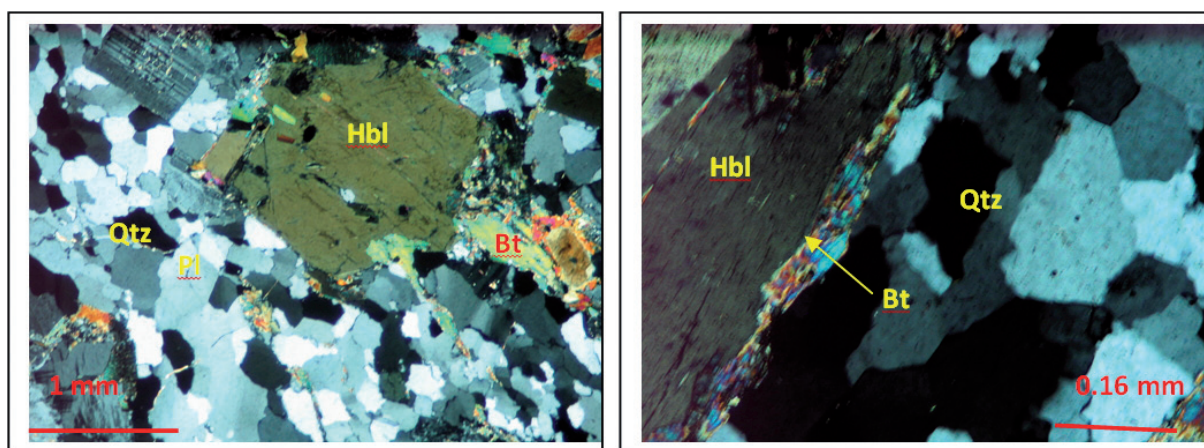
El cuarzo aparece en mosaicos irregulares de cristales xenomórficos (< 1 mm), de menor tamaño que la plagioclasa, ortoclasa y hornblenda (FIGURA 5), se encuentra intersticial entre la red de cristales de feldespatos, con desarrollo incipiente de contactos triples; tiene bordes irregulares y limpios; en algunas rocas los cristales están ligeramente alargados en el sentido de la esquistosidad y tienen extinción ondulatoria. El cuarzo desarrolla poligonización y recristalización a cristales de menor tamaño, los mosaicos forman glomeroporfidoclastos rodeados por los minerales sincinemáticos y en otros se deforma y genera coronas alrededor de porfidoclastos de plagioclasa y orientación en sentido de la foliación metamórfica.

La plagioclasa corresponde a andesina ( $An_{33}$  a  $An_{39}$ ), la cual se clasificó siguiendo el método de Michel-Lévy; se presenta en porfidoclastos xenoblásticos a subidioblásticos que desarrollan texturas augen y sombras asimétricas; es un mineral heredado del protolito, con extinción ondulatoria, maclado según albita, albita – Carlsbad y periclina, de tamaños entre 1 y 2 mm, con recristalización local hacia los bordes de los porfidoclastos; pueden mostrar localmente texturas mirmequíticas a manera de gotas de cuarzo en plagioclasa; en los bordes de algunos cristales se presentan desmezclas antipertíticas; el relieve es mayor al del bálsamo; tiene inclusiones a lo largo del clivaje y transversales a la foliación de la roca; las inclusiones son de láminas finas de biotita y en algunas rocas se altera a sericita en escamas microcristalinas. La plagioclasa más fina (0,03 mm a 0,1 mm) es metamórfica, producto de recristalización en los bordes de cristales ígneos; en las rocas con texturas relictas ígneas, la plagioclasa conserva la forma euédral tabular y zonación normal con el núcleo más cálcico que los bordes de los cristales, algunas tienen desarrollo de lamelas de deformación y recristalización a subgranos en los límites entre lamelas (FIGURA 6).

**TABLA 1.** Composición mineralógica del Neis de Nechí. Abreviaturas de minerales recomendadas por SCMR (Siivola and Schmid, 2007) y valores en porcentajes modales.

MUESTRA	NORTE	ESTE	Qtz	Pl	Kfs	Hbl	Bt	Op	Ap	Zrn	Ttn	Ep	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA
900563	1395301	923023	26,7	34,2	0	22,6	11	0,6	TR	-	2	2,9	NEIS DE Pl, Qtz, Hbl, Bt con Tnt
900584	1390436	924486	23,8	49	13,2	4,6	6	-	-	TR	1	2,4	NEIS DE Pl, Qtz, Kfs con Bt y Hbl
900585	1390948	923965	17,2	36,6	4,8	13,8	14,5	TR	TR	-	3	10,1	NEIS DE Pl, Qtz, Bt, Hbl, Ep
900586	1390948	923965	18,8	44,4	0,7	0,7	20,8	TR	TR	TR	1,4	13,2	NEIS DE Pl, Bt, Qz, Ep
900588	1390477	924306	39	28,1	3,1	20,1	7,9	TR	TR	TR	1	0,8	NEIS DE Pl, Qtz, Hbl, Bt con Kfs
900589	1394955	923276	12,1	56,4	0	5	7,1	0,7	-	-	4	14,7	NEIS DE Pl, Qz, Hbl, Ep, Bt
900590	1394955	923276	19,4	46,9	3,3	16,7	3,7	0,8	-	-	1	8,2	NEIS DE Pl, Qtz, Ep, Bt, Hbl con Tnt
SCC-21*	1389474	924403	20	40	0	20	20	-	-	-	-	Tr	CUARZODIORITA
SMC-8*	1389061	924313	10	20	15	30	20	-	-	-	-	4	NEIS de Qtz, Pl con Bt
SMC-17*	1389251	924360	25	20	10	10	25	-	-	-	-	5	NEIS de Qtz, Pl con Hbl y Bt
JC011-G*	1390458	924307	38	25	20	-	15	-	-	-	-	TR	NEIS de Qtz, Pl con Bt
JC011-X*	1390458	924307	20	10	-	65	5	-	-	-	TR	TR	NEIS HORNBLÉNDICO
MI-4*	1392542	924163	25	45	15	-	10	-	-	-	-	2	GRANODIORITA
JC021*	1391262	925394	20	53	-	10	15	-	-	-	-	2	TONALITA
NPM-1*	1390214	924396	10	50	-	40	-	-	-	-	-	TR	CUARZODIORITA
NSE-1*	1394850	997490	30	-	40	-	20	-	-	-	-	10	MIGMATITA GRANULITA
NSE-2*	1392500	924000	15	10	25	25	25	-	-	-	TR	TR	NEIS CUARZOFELDESPÁTICO

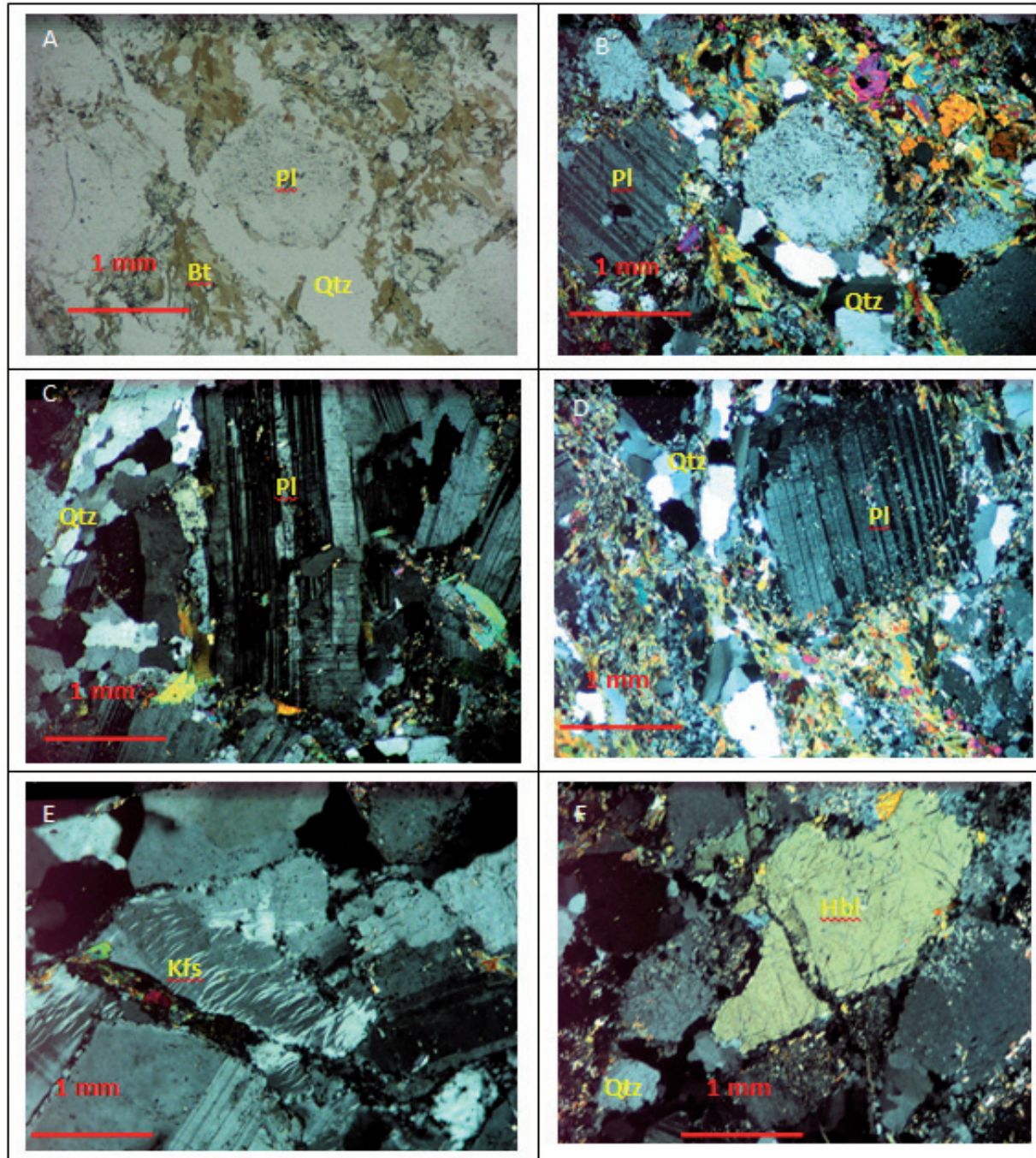
\*Secciones delgadas de Montoya y Ordoñez (2010). TR= trazas de un mineral accesorio en la roca.



**FIGURA 5.** (IGM 900584)- Neis de Pl, Qtz, Kfs con Bt y Hbl, mosaicos poligonales de cristales de cuarzo (Qtz), junto a cristal de hornblenda (Hbl) y láminas orientadas de biotita (Bt).

El feldespato es ortoclasa desdoblándose a microclina, se presenta en cristales subidiomórficos heredados del protolito ígneo, de tamaños por lo general menores a 1,5 mm, de formas tabulares cortas en las rocas menos deformadas, mientras que en las de estructura néisica formó augenes o está intersticial entre el cuarzo y

la plagioclasa, con desarrollo de pertitas en forma de trenzas y también como antipertitas en bordes de cristales de plagioclasa, puede tener maclas de microclina, tiene inclusiones de plagioclasa y biotita. En contactos con plagioclasa desarrolla bordes de reacción y texturas mirmequíticas (FIGURA 6).



**FIGURA 6.** Diferentes aspectos de la plagioclasa y ortoclasa dependiendo del grado de afectación metamórfica de la roca. **A) y B)** IGM-900586. Neis de Pl, Bt, Qtz, Ep. Augenes de plagioclasa (Pl) rodeados por cuarzo granoblástico y la foliación marcada por la biotita (Bt). **C y E)** IGM- 900584. Neis de Pl, Qtz, Kfs con Bt y Hbl. Cristales idiomórficos de plagioclasa (Pl) y feldespatos (Kfs) deformados y fracturados. **D)** IGM-900586. Neis de Pl, Bt, Qtz, Ep, porfiroclastos de plagioclasa (Pl), cuarzo en mosaicos poligonales (Qtz) y láminas de biotita (Bt) sincinemática, marcando la foliación de la roca. **F)** Cristal idiomórfico de hornblenda.

La hornblenda se presenta en cristales subidiomórficos a xenomórficos heredados del protolito ígneo, localmente forman porfiroclastos de 1 mm a 4 mm, rodeados de láminas de biotita y cristales de epidota

y esfena; de color verde con un pleocroísmo X: amarillo pálido, Y: verde y Z: verde oliva, algunos muestran variación de color a manera de parches difusos. En los bordes de los cristales se forma

biotita a partir de la hornblenda a manera de corona y a lo largo del clivaje se forma biotita y epidota de origen metamórfico; presenta extinción ondulatoria y fracturamiento por deformación dinámica; a lo largo de las fracturas se desarrolla biotita, epidota y esfena de origen metamórfico; pueden tener inclusiones a manera de micro gotas simplectíticas de cuarzo; presenta inclusiones de cuarzo y biotita a lo largo del clivaje y menos frecuente circón, esfena, epidota y apatito. La deformación puede dar lugar a orientación de la hornblenda en algunas rocas y generalmente los cristales tienen bordes irregulares (FIGURA 7).

La biotita se encuentra en láminas idioblásticas a subidioblásticas intersticiales, es un mineral metamórfico sincinemático de menor tamaño que los minerales ígneos heredados, generalmente de tamaño menor a 1mm, marca la foliación de la roca y la estructura néisica, se localizan entre los cristales de feldespato, plagioclasa y hornblenda y junto a epidota y esfena; dependiendo de la roca presenta colores verdes ó pardos. La biotita verde tiene pleocroísmo X: amarillo pálido, Y=Z: verde oliva y la parda X: amarillo pálido, Y=Z: marrón; ligeramente dobladas, puede formarse a partir de la hornblenda; se encuentra alrededor de ésta formando una corona de láminas de biotita o a lo largo de los planos de clivaje y fracturas; puede mostrar simplectitas de cuarzo en micro gotas, además de inclusiones de circón con halo pleocroico (FIGURA 7F).

La epidota se presenta en cristales idioblásticos a xenoblásticos y en agregados, localmente se encuentra como corona alrededor de cristales idiomórficos de allanita de color pardo, asociada a biotita marcando la esquistosidad de la roca, con birrefringencia anómala azul Berlín del primer orden al rojo del segundo orden, de color amarillo pálido, tiene inclusiones de esfena, plagioclasa, biotita y apatito (FIGURA 7E).

La esfena se presenta en microcristales idiomórficos a xenomórficos, sincinemáticos orientados en bandas delgadas junto a láminas de biotita y epidota, es de color pardo con pleocroísmo moderado en tonos medios y claros, relieve alto, se localizan en los límites entre láminas de biotita o a lo largo del clivaje e incluidos en epidota, puede aparecer en cristales de formas rómbicas idioblásticas (FIGURA 8).

El apatito se presenta en microcristales xenomórficos, algunos de formas subredondeadas en cortes basales, incluidos o junto a bandas conformadas por epidota, esfena y biotita, menos frecuentes idiomórficos de formas hexagonales.

El circón se encuentra en microcristales euhedrales a anhedrales, como inclusiones en hornblenda o a lo largo de la esquistosidad junto a biotita, epidota y esfena, y también incluido en biotita con desarrollo de halo pleocroico.

## METAMORFISMO

Se considera que las rocas metamórficas del Neis de Nechí fueron sometidas a igual metamorfismo, a pesar de que muestran diferencias estructurales como texturas heredadas del protolito ígneo plutónico, orientación mineral y estructura néisica formada por metamorfismo regional dinamo – térmico; las diferencias de fábrica se deben a la condiciones locales de deformación. La paragénesis de los minerales metamórficos es la misma en todas las rocas analizadas, que corresponde a la asociación cuarzo-plagioclasa-biotita-epidota-esfena, y los minerales heredados del protolito ígneo son hornblenda, cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa. Aunque esta mineralogía no es diagnóstica de una facies en particular, si se considera que minerales como plagioclasa recristalizan por encima de 500°C, que corresponde al límite entre facies esquisto verde y anfíbolita. Las rocas del Neis de Nechí fueron sometidas a metamorfismo en la facies anfíbolita baja. Además, se podría pensar que las pertitas y el desdoble de ortosa a microclina puede ser resultado del metamorfismo regional.

## GEOQUÍMICA

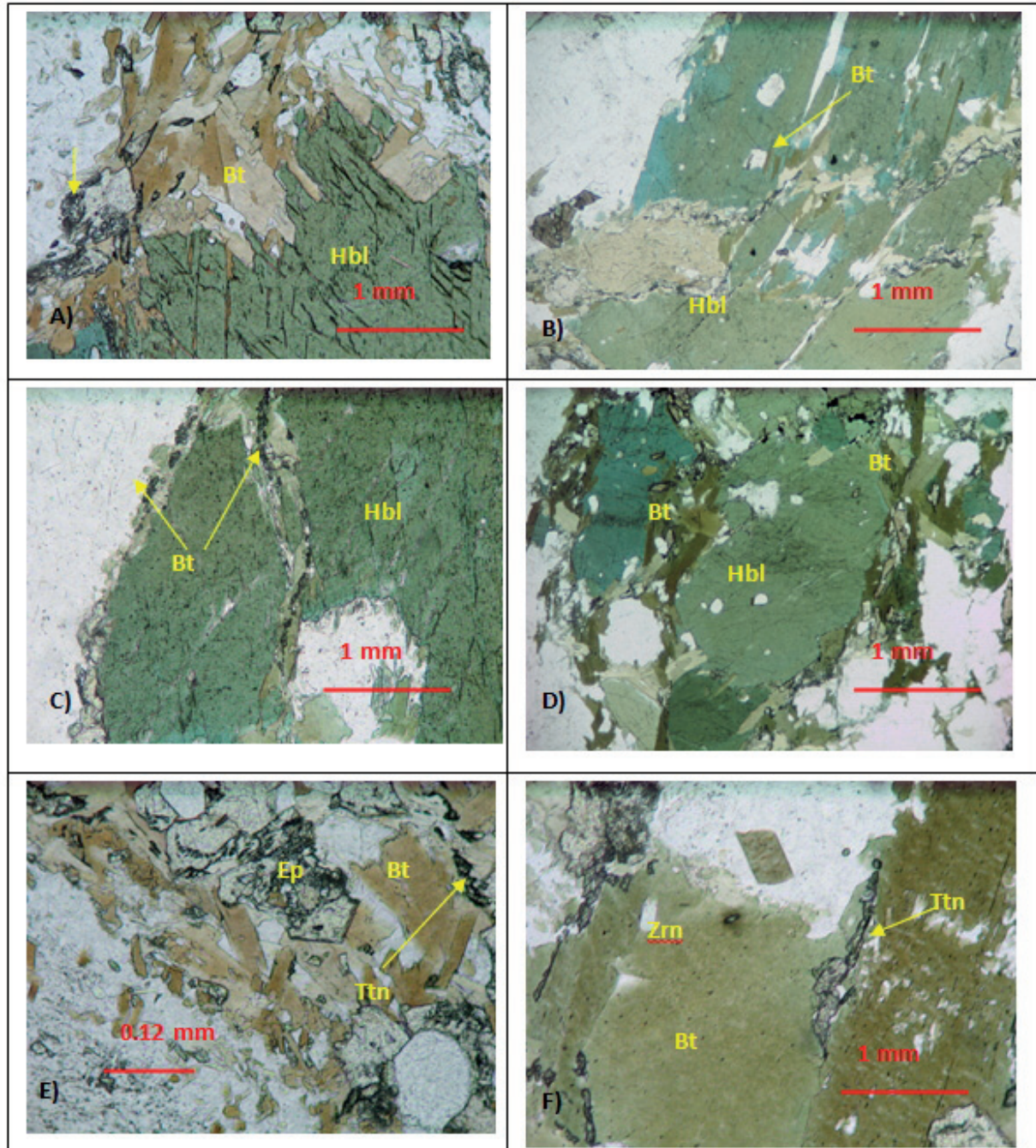
Teniendo en cuenta que las rocas del Neis de Nechí conservan estructuras isotrópicas, minerales relictos, texturas que no evidencian un metamorfismo penetrativo y que presentan una misma paragénesis mineral, se realizó el análisis de las muestras infiriendo que su química es primaria, de carácter ígneo y no fue afectada por los procesos deformativos sobre impuestos.

Para la interpretación de los óxidos mayores que están expresados en porcentaje en peso, se realizó la corrección por pérdida de ignición de cuatro muestras que se presentan en la TABLA 2. Las rocas se localizan en facies intermedias con tendencia hacia rocas ácidas; de acuerdo con el diagrama De la Roche *et al.* (1980) (FIGURA 9) caen en los campos de tonalitas (900584 y 900586) con contenidos de SiO<sub>2</sub> entre 62,75 al 64,25% y dioritas para las rocas 900585 y 900588 con contenidos de sílice entre 57,58 al 58,23%.

El índice de saturación de alúmina muestra una impronta metaluminosa donde  $Al_2O_3 < (CaO + Na_2O + K_2O)$  pero  $Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O)$ , con valores menores de álcalis

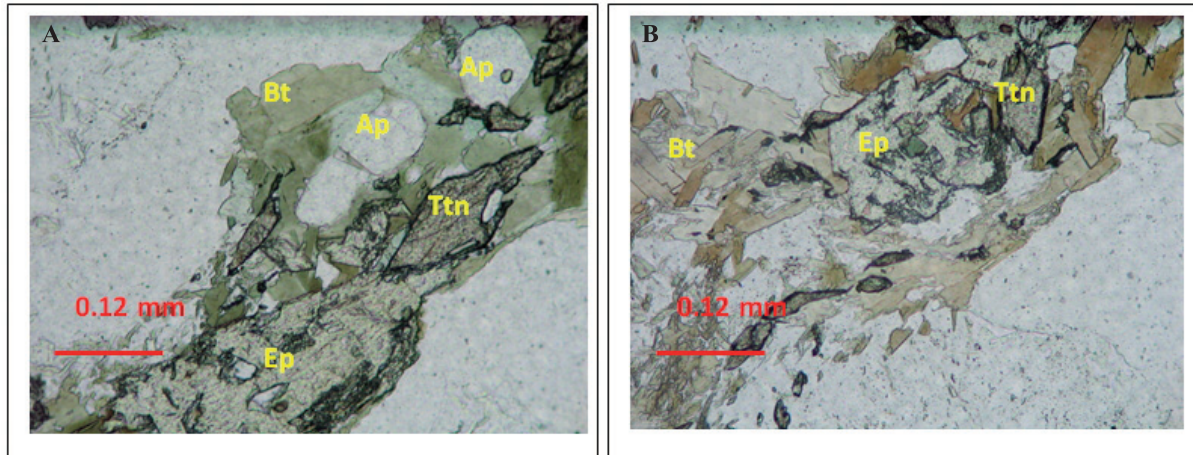
para las rocas 900584 y 900585 que por su composición más félsica tienden hacia el campo de granitoides peralcalinos y valores mayores para las rocas 900585 y 900588; este tipo de rocas presentan una mineralogía

predominante de biotita, anfíbol y piroxeno (Debon and Le Fort, 1983. FIGURA 10), asociada con los análisis petrográficos realizados.



**FIGURA 7.** Características de la hornblenda y la biotita en rocas del Neis de Nechí. **A)** IGM-900586. Cristal de hornblenda (Hbl) rodeado de biotita marrón (Bt) que se forma en los bordes de la hornblenda y a lo largo del clivaje y aparece junto a esfena (Ttn). **B)** IGM-900584 y **C)** IGM-900588. Cristal de hornblenda (Hbl) fracturado y a lo largo de la fractura desarrollo de láminas de biotita (Bt), esfena (Ttn) y epidota (Ep) sincinemáticas que marcan la foliación de la roca. **D)** IGM-900588. Augenes de hornblenda (Hbl) rodeados por biotita (Bt). **E)** IGM-900586 y **F)** Aspecto de la biotita (Bt) junto a esfena (Ttn), epidota (Ep) y circón (Zrn).

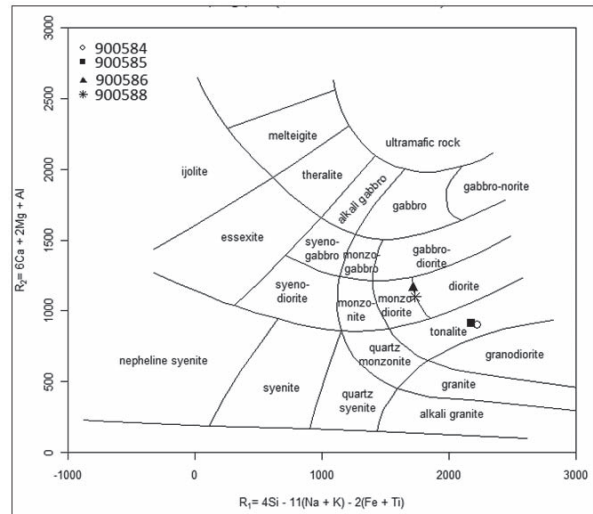




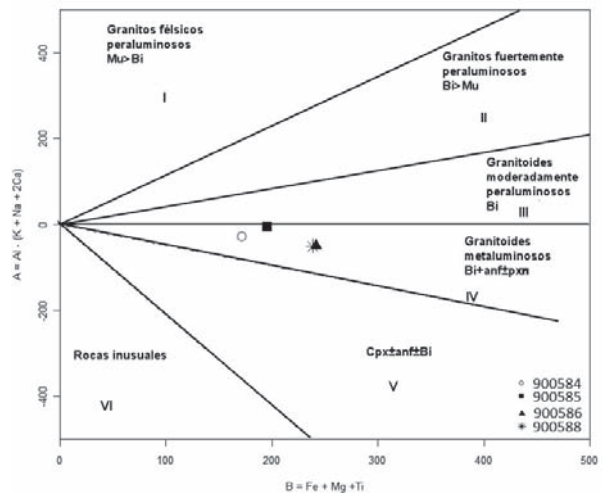
**FIGURA 8.** A) Muestra IGM 900585. Neis de Pl, Qtz, Bt, Hbl y Ep. Bandas delgadas constituidas por cristales idiomórficos de esfena (Ttn), epidota (Ep), apatito (Ap) y biotita verde (Bt). B) IGM-900586. Neis de Pl, Bt, Qtz, Ep. Bandas marcando la foliación metamórfica con cristales orientados de biotita (Bt) marrón pálida, esfena orientada (Ttn) y epidota (Ep).

**TABLA 2.** Composición química de óxidos mayores del Neis de Nechí.

Muestra	Óxidos Mayores %			
	900584	900585	900586	900588
<b>Clasificación</b>	Neis de Pl, Qtz, Kfs, Bt, Hbl	Neis de Pl, Qtz, Bt, Hbl, Ep	Neis de Pl, Bt, Qtz, Ep	Neis de Pl, Qtz, Bt, Hbl, Fds
<b>SiO<sub>2</sub></b>	64,26	57,58	62,75	58,23
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,59	0,83	0,69	0,85
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14,98	16,52	15,47	15,83
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,84	7,04	5,92	7,09
<b>MgO</b>	2,48	3,60	2,75	3,58
<b>CaO</b>	4,56	6,15	4,44	5,72
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3,27	3,27	2,91	3,35
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,54	2,28	2,67	2,29
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,15	0,24	0,20	0,25
<b>FeO</b>	3,03	3,85	3,20	3,61
<b>LOI</b>	0,72	1,38	1,00	0,83
<b>Total</b>	100,71	101,37	100,99	100,82



**FIGURA 9.** Diagrama R1-R2 (De la Roche *et al.*, 1980)



**FIGURA 10.** Diagramas de Debon and Le Fort (1983).

En el diagrama AFM (FIGURA 11), se refleja un carácter calcoalcalino ubicando las rocas más félsicas cerca del límite de los campos toleíticas y calcoalcalinas (Irvine and Baragar, 1971). Se tienen valores de CaO entre 4,44 a 6,15%, el FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alcanza el 7% y el MgO con un 3,60% que incrementa hacia las rocas más intermedias, lo cual es congruente con la presencia mineralógica de hornblenda, biotita y titanita donde se hospedan estos elementos. Por su parte, el K<sub>2</sub>O se presenta entre 2,28 a 2,67% localizando las rocas en el diagrama de Peccerillo and Taylor (1976) en series calcoalcalinas con alto potasio, separando las de composición más félsicas de aquellas con contenidos mayores de minerales máficos.

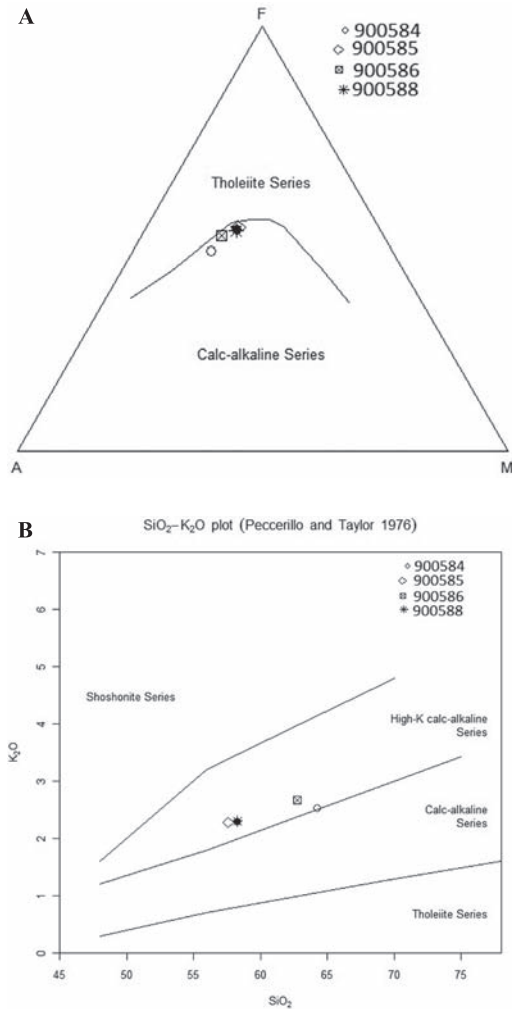


FIGURA 11. A) Diagrama AFM y B) Peccerillo and Taylor (1976) (SiO<sub>2</sub> Vs K<sub>2</sub>O).

Los contenidos en elementos traza y tierras raras se muestran en la TABLA 3. La concentración de estos elementos muestran patrones químicos similares que reflejan un mismo tipo de protolito ígneo intermedio. Las rocas están enriquecidas en elementos traza ligeros

(REE) hasta 100 veces con respecto al valor normalizado de condrito (FIGURA 12) (Nakamura, 1974), y decaen progresivamente hacia los elementos pesados hasta 10 veces por encima del valor de condrito, siendo la roca 900586 la que muestra un mayor empobrecimiento.

TABLA 3. Resultados de elementos traza y tierras raras del Neis de Nechí.

Elementos traza y tierras raras (ppm)				
Muestra	900584	900585	900586	900588
Li	18	12	30	20
Be	1,9	2,3	2,4	2,0
Sc	16	21	16	20
Cr	40	49	49	54
Co	21	29	25	27
Ni	9	22	22	23
Cu	15	46	38	51
Zn	70	96	98	97
Ga	17	20	19	20
As	0,9	0,9	0,9	0,9
Ag	0,9	0,9	0,9	0,9
Cd	0,07	0,10	0,08	0,10
In	0,04	0,05	0,04	0,05
Cs	1,3	2,3	5,5	6,6
Ba	1300	996	769	1130
Tl	0,40	0,43	0,70	0,46
Pb	8,3	16	17	14
Bi	0,04	0,04	0,04	0,18
Y	19	19	12	20
La	48	33	42	35
Ce	92	69	85	73
Pr	8,4	7,1	7,9	7,4
Nd	25	25	24	27
Sm	5,8	5,6	4,8	6,0
Eu	1,9	1,8	1,3	1,9
Gd	5,2	5,1	4,4	5,4
Tb	0,71	0,73	0,51	0,75
Dy	3,8	3,9	2,5	4,0
Ho	0,73	0,76	0,48	0,80
Er	2,3	2,3	1,4	2,5
Tm	0,30	0,31	0,17	0,31
Yb	2,0	2,1	1,1	2,1
Lu	0,30	0,31	0,18	0,32
Th	11	7,9	11	8,0
U	1,6	1,6	1,0	5,2
Hf	8	7	7	7
Mn	609	940	682	905
Mo	1,00	1,00	1,00	1,00
Nb	6,5	8,5	5,4	8,6
Rb	62	84	118	84
Sr	516	676	524	668
V	106	165	122	162
W	32	29	31	25
Zr	178	141	148	163

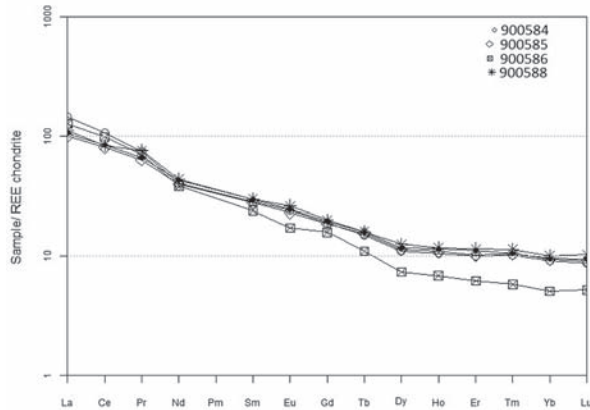


FIGURA 12. Diagrama REE Neis de Nechí normalizado a condrito (Nakamura, 1974).

Se presentan valores promedios que se acomodan a los típicos de arcos según Winter (2001), Ni: entre 10 a 60ppm, Cr: 25 a 100ppm y V:100 a 200ppm, con relaciones moderadas a altas de  $La/Yb_N = 11,51$  a  $26,94$ ;  $La/Sm_N =$  entre  $3,74$  y  $5,57$  y  $Gd/Yb_N = 2,05$  a  $3,24$ . El espectro de decaimiento que se observa en la FIGURA 12 es característico de ambientes de arco con series de medio a alto K, donde el enriquecimiento en Sr, Rb, K y Ba por ser elementos de bajo potencial iónico se debe a su movilización desde fluidos que interactúan en la zona de subducción hacia el magma.

De acuerdo con Pearce *et al.* (1984), en los diagramas de multielementos normalizados a MORB y EMORB (FIGURA 13 A y B) se muestran empobrecimientos en los elementos inmóviles Nb, Ti y P que pueden corresponder a separación en fases minerales accesorias como titanita, rutilo y apatito reflejando una evolución magmática, donde el Nb puede comportarse geoquímicamente similar al Ti. Los mayores valores de los elementos litófilos de alto radio iónico (LILE) Cs, Ba y Th indican una afinidad de corteza continental (márgenes convergentes) donde abundan estos elementos altamente incompatibles. Valores mayores en Sr, K, Ba y Rb y las anomalías negativas de Nb, Ti e Y son características de arcos magmáticos relacionados a ambientes de subducción.

El protolito de las rocas del Neis de Nechí muestra características de magmas tipo I (Andino o Cordillerano) de las series magnesianas los cuales reflejan una ligera diferenciación entre las rocas intermedias a las que tienden a ser más ácidas (FIGURA 14, diagramas de Frost *et al.*, 2001, y Whalen *et al.*, 1987). Se trata de rocas con mayores contenidos de Sr, Ca, Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup> y menores contenidos de Cr y Ni, con porcentajes considerados de hornblenda y de afinidad metaluminosa a ligeramente peralcalinas, lo anterior sugiere que son rocas derivadas

de una fuente ígnea mantélica probablemente de la fusión parcial de la placa subducida (Winter, 2001).

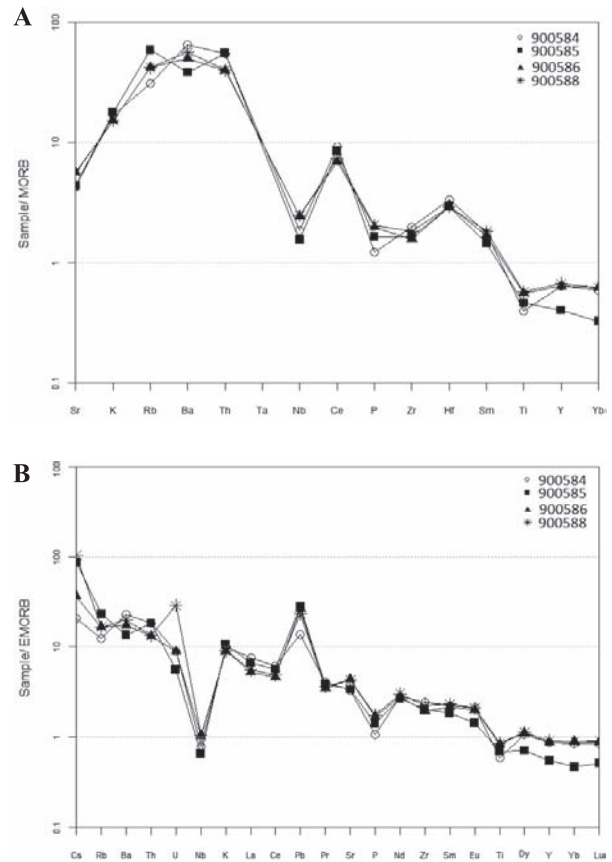


FIGURA 13. Diagramas multielementales del Neis de Nechí normalizado a: A) Morb (Pearce *et al.*, 1984) y B) E-Morb (Sun and McDonough, 1989).

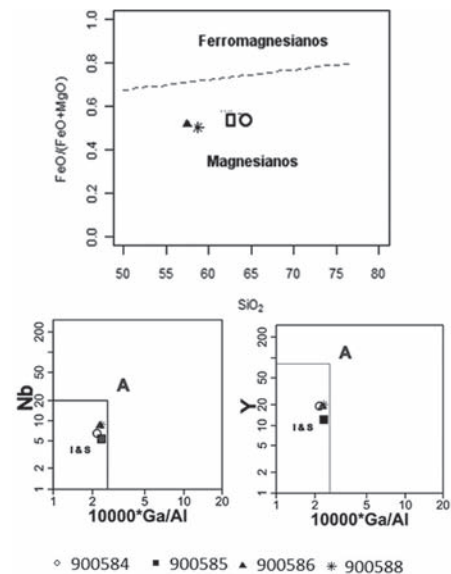


FIGURA 14. Diagramas de discriminación de granitos (Frost *et al.*, 2001 y Whalen *et al.*, 1987).

En los diagramas de discriminación de ambientes tectónicos se muestra que las rocas se localizan en ambientes de arco, en el diagrama multivariante de Batchelor and Bowden (1985) las rocas intermedias

900585, 900588 caen en el campo de ambientes de subducción (FIGURA 15), se observa que las más evolucionadas corresponden a las 900584 y 900585 y convergen hacia el campo de granito sin-colisional.

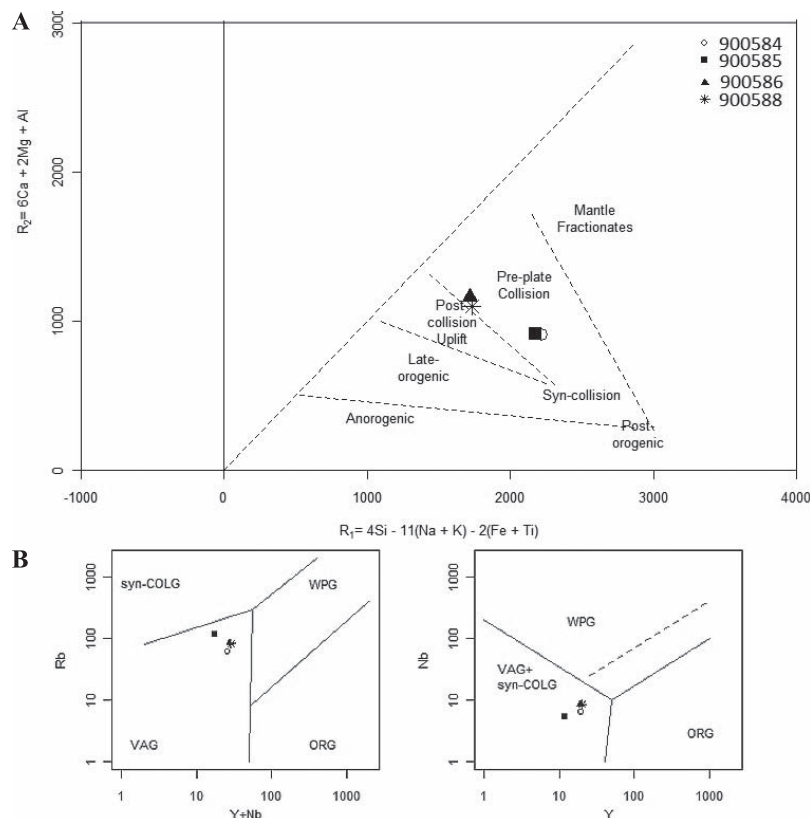


FIGURA 15. Diagramas de ambiente tectónico para el Neis de Nechí: **A)** Batchelor and Bowden (1985) y **B)** Pearce *et al.* (1984).

## CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Las características macroscópicas y microscópicas de las rocas que conforman el Neis de Nechí indican que el protolito ígneo plutónico de composición granodiorítica, tonalítica y cuarzdiorítica, el cual es reafirmado por los resultados de la geoquímica de óxidos mayores.

La heterogeneidad macroscópica y microscópica del cuerpo en cuanto a la fábrica, se interpreta como el grado de afectación que tiene el protolito por el metamorfismo regional sobreimpuesto, conservando en algunos sectores la estructura y texturas relictas del protolito, sin embargo, presenta minerales metamórficos, textura y estructura metamórfica como néisica y textura augen porfidoclástica, en algunos casos con bandas granoblásticas, lepidoblásticas y nematoblásticas.

Se trata de minerales heredados del protolito ígneo granodiorítico-tonalítico-cuarzdiorítico: plagioclasa,

feldespato alcalino, cuarzo y hornblenda, y los accesorios como circón y allanita. Los minerales metamórficos corresponden a plagioclasa, cuarzo, biotita, epidota, esfena y apatito, los cuales marcan la estructura néisica de la roca, la foliación o recrystalizaron debido al metamorfismo.

La paragénesis de los minerales metamórficos corresponde a la asociación cuarzo-plagioclasa-biotita-epidota-esfena, mineralogía que no es diagnóstica de una facies en particular y corresponde al límite entre las facies esquisto verde y anfibolita baja, pero la recrystalización de la plagioclasa se da por encima de 500°C, sugiriendo que las rocas fueron sometidas a metamorfismo que se localiza en la zona de la facies anfibolita baja.

Las rocas del Neis de Nechí corresponden a la serie calcoalcalina con alto potasio, con valores de CaO entre 4,44 a 6,15%, el FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alcanza el 7%, K<sub>2</sub>O entre

2,28 a 2,67% y el MgO con un 3,60% que incrementa hacia las rocas intermedias, lo cual es congruente con la presencia mineralógica de hornblenda, biotita y titanita donde se hospedan estos elementos.

Las rocas se muestran enriquecidas en elementos traza ligeros hasta 100 veces con respecto al valor normalizado de condrito que decaen progresivamente hacia los elementos pesados hasta 10 veces por encima del valor de condrito, muestran un espectro de decaimiento típico de rocas de arcos. Se localizan en los campos de magmas tipo Andino (I) de las series magnesianas, con valores promedios que se acomodan a los asociados a zonas de subducción.

La edad obtenida por Restrepo *et al.* (2010), para el protolito del Neis de Nechí, donde se considera la mayoría de circones analizados de origen ígneo, arrojó una edad de  $277,3 \pm 3,0$  Ma (Pérmica), interpretada por estos autores como la edad de intrusión del granitoide; si se asocia con los resultados geoquímicos de esta unidad, permite sugerir la existencia de un arco plutónico, posiblemente de margen continental relacionado a subducción, que intruyó un basamento más antiguo, el cual posteriormente fue sometido a metamorfismo regional durante el Triásico, afectando todo el conjunto, y arrojando una edad de metamorfismo para el Neis de Nechí de  $236,4 \pm 6,6$  Ma obtenida por los citados autores.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Servicio Geológico Colombiano, entidad que suministró los datos de los análisis de petrografía y geoquímica, así como a los evaluadores del artículo, cuyos comentarios permitieron mejorar el trabajo final.

## REFERENCIAS

Batchelor, R.A., and Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48: 43-55.

De la Roche, H., Leterrier, J., Granclaude, P., and Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29: 183-210.

Debon, F., and Le Fort, P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and association. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 73: 135-149.

Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, S.J., and Frost, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42: 2033-2048.

González, H. 2001. Mapa geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria Explicativa. Ingeominas, Bogotá. 240p.

Irvine, T.N., and Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal Earth Science*, 8: 523-548.

Leal, H. 2011. Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectonomagmatic approach. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. 989p.

Montoya, J.C., y Ordoñez, O. 2010. Cartografía geológica y caracterización petrográfica de las unidades litológicas asociadas a los cuerpos vetiformes de oro en el Distrito Minero Bagre-Nechí. Informe técnico Grupo de Investigación en Georecursos, Minería y Medio Ambiente (GEMMA). Universidad Nacional de Colombia.

Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 38: 757-775.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W., and Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956-983.

Peccerillo, A., and Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene Calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonir area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63-81.

Restrepo, J.J., Ordoñez, O., and Armstrong, R. 2010. Triassic metamorphism in the northern part of the Central Cordillera of Colombia, VII SSAGI, Brasilia, 405-408p.

Siivola, J., and Schmid, R. 2007. A systematic nomenclature for metamorphic rocks. 12. List of Mineral Abbreviations. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web version 01.02.07. SCMR website <http://www.bgs.ac.uk/SCMR>.

Sun, S.S., and McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D.,

Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society of London Special Publication, 42: 313–346.

Whalen, J.B., Currie, K.L., and Chappell, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology 95: 407- 419

Winter, J.D. 2001. An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall, New Jersey, 647p.

---

---

Trabajo recibido: octubre 08 de 2013  
Trabajo aceptado: enero 20 de 2014