

---

---

## COMPLEJO EL RETIRO, CORDILLERA CENTRAL, COLOMBIA

---

---

*Gabriel Rodríguez G., Humberto González I. & Gilberto Zapata G*  
*INGEOMINAS, Medellín*  
*grodrig@ingeominas.gov.co*

Recibido para evaluación: 20 de Noviembre de 2007 / Aceptación: 5 de Diciembre de 2007 / Recibida versión final: 5 de Diciembre de 2007

### RESUMEN

El Complejo El Retiro, en el sentido de Rodríguez et al. (2005), agrupa las metamorfitas de medio a alto grado en condiciones de media a baja presión que afloran entre las poblaciones de Medellín y El Retiro en el Departamento de Antioquia, Colombia, en las unidades denominadas Anfibolitas de Medellín, Migmatitas de Puente Peláez, Neis Milonítico de Sajonia, Neis de La Ceja y Granofels de Normandía y para cuya subdivisión se tuvo en cuenta el grado de conocimiento cartográfico que permitió tener certeza geológica de su extensión, relaciones estratigráficas basadas en las relaciones de campo, análisis petrográficos y en los resultados de los trabajos realizados por numerosos investigadores en el área, tanto desde el punto de vista petrográfico como geoquímico y geocronológico.

El Complejo El Retiro se encuentra en dos series de metamorfismo progresivo caracterizadas por una sucesión de facies y zonas minerales diferentes. La primera serie comprende la mayor parte de las rocas metamórficas de grado medio dentro de las facies anfibolita y la segunda comprende neises, granofels, migmatitas y granulitas de un grado de metamorfismo relativamente más alto, facies granulita, que el de la otra serie. Los tipos de rocas en las dos series son similares a pesar de presentar algunas diferencias en las paragénesis metamórficas, los contactos entre diferentes litologías tienden a ser gradacionales o son por su extensión y paragénesis típicos de eventos dinamotérmicos regionales, afectados localmente por eventos térmicos producidos por el Batolito Antioqueño y por fallas dúctiles.

La edad del Complejo El Retiro se asigna al Proterozoico (?) basado en el mayor grado de metamorfismo con respecto al Complejo Cajamarca, considerado por relaciones de campo al menos del Devónico (?) y su posición estratigráfica respecto a cuarcitas de mas bajo grado de este mismo complejo.

**PALABRAS CLAVE:** Metamorfismo, Cordillera Central, Complejo El Retiro, (Metamorfitas medio - alto grado).

### ABSTRACT

El Complejo El Retiro, en el sentido de Rodríguez et al. (2005), agrupa las metamorfitas de medio a alto grado en condiciones de media a baja presión que afloran entre las poblaciones de Medellín y El Retiro en el Departamento de Antioquia, Colombia, en las unidades denominadas Anfibolitas de Medellín, Migmatitas de Puente Peláez, Neis Milonítico de Sajonia, Neis de La Ceja y Granofels de Normandía y para cuya subdivisión se tuvo en cuenta el grado de conocimiento cartográfico que permitió tener certeza geológica de su extensión, relaciones estratigráficas basadas en las relaciones de campo, análisis petrográficos y en los resultados de los trabajos realizados por numerosos investigadores en el área, tanto desde el punto de vista petrográfico como geoquímico y geocronológico.

El Complejo El Retiro se encuentra en dos series de metamorfismo progresivo caracterizadas por una sucesión de facies y zonas minerales diferentes. La primera serie comprende la mayor parte de las rocas metamórficas de grado medio dentro de las facies anfibolita y la segunda comprende neises, granofels, migmatitas y granulitas de un grado de metamorfismo relativamente más alto, facies granulita, que el de la otra serie. Los tipos de rocas en las dos series son similares a pesar de presentar algunas diferencias en las paragénesis metamórficas, los contactos entre diferentes litologías tienden a ser gradacionales o son por su extensión y paragénesis típicos de eventos dinamotérmicos regionales, afectados localmente por eventos térmicos producidos por el Batolito Antioqueño y por fallas dúctiles. La edad del Complejo El Retiro se asigna al Proterozoico (?) basado en el mayor grado de metamorfismo con respecto al Complejo Cajamarca, considerado por relaciones de campo al menos del Devónico (?) y su posición estratigráfica respecto a cuarcitas de mas bajo grado de este mismo complejo.

**KEY WORDS:** Metamorfismo, Cordillera Central, Complejo El Retiro, (Metamorfitas medio - alto grado).

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es un resumen de los resultados obtenidos durante las labores emprendidas por INGEOMINAS en el departamento de Antioquia, como parte del mejoramiento del conocimiento geológico de Colombia, presentado en el III Seminario Gerardo Botero.

El trabajo se fundamentó en el levantamiento directo de información en el campo y en la recopilación, integración y análisis de la información geológica existente en INGEOMINAS, universidades y corporaciones regionales colectada en esta región en estudios anteriores.

El objetivo principal es mostrar los resultados obtenidos durante el levantamiento de la Geología de la plancha 147 Medellín Oriental, trabajo que involucró la cartografía geológica de litounidades, la exploración regional de los recursos minerales, la caracterización macroscópica, microscópica y química de las rocas, la descripción de los depósitos no consolidados y la determinación de posibles amenazas de origen geológico que pueden afectar a la población.

Al oriente de Medellín se presenta una faja de rocas metamórficas de medio a alto grado constituida por cuerpos de anfibolitas, migmatitas, neises y granofels, los cuales se han denominado Complejo El Retiro y sobre el cual se elaboró este informe.

## 2. TRABAJOS ANTERIORES

Para comprender la nomenclatura estratigráfica de las unidades metamórficas que afloran al oriente de Medellín, es necesario hacer una breve introducción de los principales trabajos que se han realizado en esta región y mencionar de manera sucinta, algunos de los aportes al conocimiento de las rocas metamórficas que conforman esta parte de la Cordillera Central de Colombia.

Las primeras referencias sobre las rocas metamórficas que conforman el núcleo cristalino de la Cordillera Central, se deben a Ospina (1911), Scheibe (1934), Grosse (1926) y Posada (1936).

Hubach (1957) utiliza el término Grupo La Ceja para agrupar una serie de rocas metasedimentarias descritas por Scheibe (1934). Hubach (en Julivert, 1968) denomina Complejo Sonsón a la formación llamada Arcaica por Ospina (1911), corresponde, en gran parte, a la formación de anfibolitas de la parte central de Antioquia que la generalidad de los autores consideraba como arcaica.

Nelson (1957) plantea un solo evento metamórfico para la Cordillera Central y define el Grupo Cajamarca asignándole una edad paleozoica.

Botero (1963) define el Grupo Ayurá-Montebello, compuesto por rocas metamórficas, principalmente metasedimentarias que suprayacen anfibolitas, asignándole un origen ígneo a estas últimas, las cuales se intruyeron como diques y silos en los sedimentos. Además, reporta la presencia de neises, micacitas, filitas grafitosas, esquistos cloríticos, cuarcitas y lentes de mármol. Le asigna una edad precretácea, posiblemente caledoniana, con base en la relación discordante entre las filitas del grupo y la Formación Abejorral (albiana) y lo correlaciona con el Grupo Cajamarca de Nelson (1957).

Feininger et al. (1972) describen al este de la Falla de Otú, neises, anfibolitas y mármoles a los cuales le asignan una edad Precámbrica, consideran que alcanzaron la facies granulita, y las correlacionan con las rocas metamórficas de la Sierra Nevada de Santa Marta. También describen al occidente de esta falla, las "rocas metamórficas de la Cordillera Central",

Echeverría (1973) propone dividir el Grupo Ayura-Montebello en dos zonas. La zona Ayurá comprende neises biotíticos con granate y sillimanita y esquistos biotíticos con grafito y sillimanita, afectadas por un metamorfismo de alto grado,

facies anfibolita, caracterizado por ser de alta temperatura y baja presión. La zona Montebello con un protolito sedimentario principalmente, compuesta por esquistos de variada composición y cuarcitas, sometidos a un metamorfismo de bajo grado, facies esquisto verde. Sobre las Anfibolitas de Medellín, opina que corresponden al antiguo fondo oceánico de la cuenca, donde derrames posiblemente basálticos produjeron intercalaciones con los metasedimentos.

González (1976, 1980), estudia las rocas del sur de Antioquia y norte de Caldas e identifica migmatitas con intercalaciones de neises a las cuales denomina Migmatitas de Puente Peláez que se encuentran suprayacidas discordantemente por cuarcitas.

Restrepo y Toussaint (1984) proponen discontinuar el uso del término "Grupo Ayurá-Montebello" y reemplazarlo por el de "Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central". Hacen el primer reporte de granulitas en la Cordillera Central

Restrepo (1986), en un trabajo de análisis petrográfico, propone nombres estratigráficos informales para las unidades metamórficas que hasta ese momento se reportan en la Cordillera Central. Son ellos los grupos El Retiro (migmatitas, granulitas, anfibolitas, neises y esquistos de posible edad proterozoica tardía a paleozoica temprana), Caldas (anfibolitas granatíferas, esquistos biotíticos, paragneises y cuarcitas, de posible edad Devo-carbonífera y tipo bórico-Barroviano), Ancón (esquistos cuarzo sericíticos con gradación a cuarcitas y esquistos grafitosos, con eventos importantes en el Permo-Triásico y posiblemente Devo-Carbonífero y tipo bórico-Buchaniano), Arquía (anfibolitas localmente granatíferas, esquistos verdes y cuarzo-micáceos con grafito, de edad cretácica y tipo bórico Barroviano) y Medellín (anfibolitas asociadas a esquistos y neises, de edad mínima cretácica y tipo bórico incierto, posiblemente de media presión).

Maya y González (1995) proponen que la Cordillera Central está formada por la unión, a lo largo de límites tectónicos bien definidos, de cinco unidades litodémicas que pueden seguirse desde límites con el Ecuador hasta el norte de la misma. Dichas unidades corresponden de este a oeste a un cinturón discontinuo de rocas de alto grado de metamorfismo y los complejos Cajamarca, Quebradagrande, Arquía y vulcanitas oceánicas mesozoicas, respectivamente. Según estos autores, el Complejo Cajamarca lo conforman rocas metamórficas como las definidas por Nelson (1957).

González (1997) denomina Granulitas y Migmatitas de El Retiro a un conjunto heterogéneo de metamorfitas de alto grado de metamorfismo, y recomienda hacer estudios detallados que permitan establecer las relaciones entre las diferentes litologías de la unidad

Ardila (1986), describe la petrografía de las rocas metamórficas cercanas al municipio de El Retiro. Considera que estas rocas corresponden a una secuencia volcano-sedimentaria sometida parcialmente a facies granulita.

Correa y Martens (2000) redefinen la unidad de Anfibolitas de Medellín y proponen como nuevas unidades los Metagabros de El Picacho, el Complejo Ofiolítico de Aburrá, las Anfibolitas de Boquerón y el Paraneis de Las Peñas.

Montes (2003) considera que las rocas que afloran en la quebrada La Ayurá, el Ancón Sur y en el oriente de Caldas constituyen una secuencia continua donde el grado de metamorfismo aumenta en sentido W-E, al pasar de las facies esquisto verde, zonas de biotita y granate a la facies anfibolita, zona de sillimanita, siguiendo un esquema de zonación barroviano.

Bustamante (2003) considera que las Anfibolitas de Caldas provienen de un protolito volcanosedimentario, constituido predominantemente por derrames de rocas básicas y para los Esquistos de Ancón un protolito de sedimentos pelíticos con variaciones en el contenido de materia orgánica; Para las rocas de El Retiro considera un protolito semejante pero se habrían acumulado en un ambiente más proximal.



Teniendo en cuenta la distribución espacial y relaciones en el área de la plancha 147, se han separado dentro de la unidad de las Anfibolitas de Medellín los siguientes cuerpos.

- Anfibolitas de la vereda Guarinó-San Bonifacio
- Anfibolitas de La Ceja
- Cuerpo de anfibolita entre la vereda El Totumo al norte y Juan XXIII al sur
- Anfibolitas de la Fe, Piedras Blancas y se extiende hasta las veredas El Nogal y La Veta en el municipio de Bello
- Techos pendientes de anfibolita sobre el Batolito Antioqueño
- Cuerpos menores de anfibolita al occidente de la Dunita de Medellín

La estructura en las anfibolitas varía entre néisica y esquistosa, pudiendo ser masivas localmente, algunas veces bandeada por la segregación diferencial durante el metamorfismo, de plagioclasa y hornblenda o variación en la granulometría de una banda a otra. Estructuras migmatíticas se presentan localmente cerca al contacto con el Batolito Antioqueño y están definidas por la segregación o la inyección de venas irregulares, a veces lentes de feldespato y cuarzo; el tamaño del grano varía de fino a medio pero en algunas anfibolitas de estructura néisica el grano es más grueso; el color predominante es negro moteado de blanco con un tinte verdoso oscuro por uralitización y cloritización de la hornblenda y foliación definida por la orientación plana de la hornblenda, aunque en muestra de mano ésta puede pasar desapercibida.

En las anfibolitas intercaladas con neises, tanto la foliación como el bandeamiento son concordantes con los límites de las capas de estas dos litologías. En algunos afloramientos se observan plegamientos.

La textura de las anfibolitas varía de granoblástica a nematoblástica predominando ésta última en las que se encuentran asociadas a neises y migmatitas, con un tamaño de grano comprendido entre 0,3 y 1,5 mm, y mayor abundancia relativa de las rocas de grano medio. La esquistosidad está definida por la orientación de los cristales de anfíbol y algunas muestran un bandeo composicional discontinuo y fino con bandas alternadas ricas en hornblenda y en plagioclasa donde las bandas son paralelas a la esquistosidad.

La composición mineralógica de las anfibolitas es esencialmente hornblenda y plagioclasa con cantidades menores de magnetita, ilmenita, esfena, circón y apatito, pero en algunas muestras aparecen minerales metamórficos asociados y en cantidades variables como diópsido, granate y cumingtonita. Sin embargo, esos tipos particulares de anfibolitas no muestran una distribución uniforme o sistemática para la intensidad del muestreo hecho en la plancha y más bien es aleatoria y por lo tanto en el mapa geológico, aparece una sola unidad de anfibolitas aunque en la clasificación petrográfica, pueda hablarse de anfibolitas diopsídicas, anfibolitas granatíferas y anfibolitas cumingtoníticas. La hornblenda es el constituyente esencial variando su contenido de acuerdo con el tipo de anfibolita: en las comunes está entre el 40 y 70% pero en las anfibolitas con diópsido o cumingtonita disminuye hasta sólo un 10%.

### ***Geoquímica***

Se efectuó el análisis de 18 muestras de anfibolitas localizadas en el área de la plancha 147 Medellín Oriental, que se han complementado con los presentados por Restrepo (1986), Álvarez (1987), Correa y Martens (2000) y Botero (1963) para muestras de esta unidad localizadas en la misma área (Tablas 1 y 2).

Cualquier trabajo geoquímico con estos pocos análisis presenta algunas dificultades ya que corresponde a resultados de diferentes laboratorios efectuados en épocas distintas y por diferentes métodos y por lo tanto sólo se intentará hacer algunas anotaciones comparativas, considerando que el metamorfismo fue un proceso isoquímico, sin cambios químicos, y que por lo tanto es posible utilizar los diferentes tipos de diagramas empleados para rocas ígneas básicas que serían el protolito de las anfibolitas. Debe tenerse en cuenta que la geoquímica aplicada al estudio de rocas metamórficas brinda ante todo información sobre el protolito; además, los procesos de deformación, tanto en el metamorfismo de alto grado, como en el dinámico, pueden producir segregación y diferenciaciones permitiendo la movilidad de elementos debido a la alta presión de los fluidos.

**Tabla 1.** Análisis químicos de las Anfíbolitas de Medellín.

IGM	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	H2O+	H2O-	Cr	Ni	Co	V	#Mg	
1	705325	49.90	1.59	14.50	4.66	5.89	0.18	8.09	11.45	2.29	0.20	0.53	0.13	423	638	77	491	43
2	705328	50.70	1.53	15.60	4.51	6.81	0.20	7.74	10.54	0.66	0.07	0.56	0.06	353	759	86	536	41
3	705332	48.90	1.50	14.40	4.71	6.98	0.18	6.91	12.05	2.78	0.18	0.44	0.10	295	588	81	544	37
4	705334	49.50	1.08	21.30	4.18	3.02	0.58	4.71	10.98	2.44	0.04	1.76	0.16	135	733	58	270	40
5	705343	43.50	1.08	19.40	5.28	4.05	0.16	7.94	7.78	1.04	0.57	8.36	5.32	338	303	84	348	46
6	705351	50.40	0.64	16.40	3.83	4.17	0.14	8.72	9.99	2.25	0.28	2.94	1.06	448	331	73	316	52
7	705368	49.70	1.29	14.50	5.50	4.11	0.17	8.84	11.22	2.79	0.06	0.97	0.31	441	476	80	375	48
8	705414	47.00	1.39	15.90	5.21	6.32	0.20	7.89	8.09	1.51	0.43	4.78	2.19	355	251	81	466	41
9	705445	47.10	2.93	13.50	6.48	9.92	0.27	5.85	10.17	1.15	0.55	0.74	0.06	109	582	92	681	26
10	705455	47.90	2.32	14.30	4.64	8.56	0.20	10.74	7.99	0.94	0.09	1.53	0.05	256	437	76	563	45
11	705522	50.60	2.28	13.80	5.56	8.16	0.20	6.20	9.59	2.22	0.06	0.59	0.20	174	881	63	565	31
12	705523	44.10	2.13	16.60	6.08	5.89	0.16	8.14	8.44	1.12	0.09	6.41	4.14	330	332	76	607	40
13	705540	51.80	0.89	15.50	4.53	4.02	0.15	7.56	10.28	2.66	0.10	1.85	0.63	396	515	67	373	47
14	705608	50.10	1.18	13.90	6.97	3.97	0.17	8.90	10.55	2.59	0.13	0.80	0.24	362	651	69	464	45
15	705681	48.00	1.29	14.50	5.11	4.34	0.17	7.28	16.14	1.52	0.18	0.84	0.16	394	632	71	444	44
16	705741	51.50	0.62	15.10	5.54	2.90	0.14	10.20	9.44	3.41	0.09	0.84	0.10	360	458	69	370	55
17	705596	45.70	1.25	16.60	7.12	3.91	0.19	8.75	8.66	1.36	0.09	5.72	2.96	437	308	70	487	44
18	705601	47.90	1.39	14.60	5.63	4.48	0.18	7.36	15.45	1.00	0.22	1.02	0.16	377	999	76	580	42

- Óxidos % en peso.

- Elementos trazas en ppm.

- Partes por millón (ppm)

**Tabla 2.** Análisis químicos publicados de las Anfíbolitas de Medellín.

N.Muestra	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	
1	CMK-028A	49.65	0.46	14.85	0.77	5.16	0.10	11.87	12.02	2.30	0.36
2	CMK-028B	44.72	0.29	21.07	1.55	2.87	0.06	8.65	15.61	1.37	0.28
3	CMK-030A	48.61	1.71	15.61	1.53	7.80	0.17	8.87	9.94	3.66	0.32
4	CMK-044	49.67	1.33	14.19	1.68	8.62	0.18	8.57	9.96	2.67	0.24
5	DM-2	46.76	0.26	16.51	1.65	5.19	0.09	12.77	12.34	1.87	0.24
6	CMK-105	51.10	1.70	13.90	1.25	7.11	0.15	8.93	10.11	3.30	0.41
7	CMK-057	49.08	2.51	12.04	1.99	11.33	0.28	6.26	11.12	1.86	0.71
8	CMK-096B	48.20	1.77	16.34	1.21	6.91	0.18	10.41	8.45	3.09	0.57
9	655	47.20	1.66	18.49	5.26	4.59	0.06	4.32	12.86	2.47	1.05
10	687	51.07	1.13	16.65	4.62	5.03	0.06	7.38	10.28	2.56	0.01
11	690	46.65	1.59	18.69	4.66	5.17	0.06	7.25	10.22	1.97	0.02
12	166963	49.04	1.57	14.21	2.87	7.44	0.14	8.10	11.27	3.24	0.30
13	166964	48.38	1.31	15.50	3.02	6.32	0.14	8.10	12.40	2.46	0.07
14	166969	50.86	1.05	16.59	3.74	5.41	0.12	5.27	12.96	2.02	0.08
15	174508	46.20	0.40	17.18	3.69	4.49	0.10	9.61	12.88	1.63	0.10
16	174574	41.02	0.28	18.50	3.71	4.49	0.10	10.97	14.95	1.81	0.06
17	174580	44.50	1.13	14.79	12.73	3.45	0.17	7.96	11.20	2.10	0.12
18	8280	50.12	2.12	13.45	2.70	8.68	0.14	5.90	12.80	3.18	0.61
19	8374	53.45	1.30	15.88	1.32	8.97	0.19	7.73	9.49	0.95	0.61
20	8382	48.72	2.43	13.90	1.42	12.33	0.18	6.35	11.13	2.69	0.60

Nd – no determinado

← - Recalculado a 100% libre de H<sub>2</sub>O

Óxidos, % en peso

Elementos trazas en ppm.

Fuentes: 1 – 8 Correa y Martens, 2000. 9-11 (Botero, 1963).12-17 (Alvarez, 1987).18-20 (Restrepo, 1986).

**Tabla 2. continuación.** Análisis químicos publicados de las Anfibolitas de Medellín.

N.Muestra	P2O5	PPI	H2O+	H2O-	Cr	Ni	Co	V	#Mg
1	CMK-028A	0.05	1.77		278	176	95	148	67
2	CMK-028B	0.05	2.63		423	178	74	72	66
3	CMK-030A	0.09	0.81		289	100	103	231	49
4	CMK-044	0.15	0.97		249	58	101	196	45
5	DM-2	0.03	1.35		835	314	86	97	65
6	CMK-105	0.12	0.88		249	175	100	Nd	52
7	CMK-057	0.22	0.80		229	1029	171	Nd	32
8	CMK-096B	0.14	0.39		280	407	85	Nd	56
9	655	0.40	0.76	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	30
10	687	0.07	0.95	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	43
11	690	0.16	3.42	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	42
12	166963	0.05	0.52	0.08	350	380	20	95	44
13	166964	0.05	0.97	0.10	370	610	20	85	46
14	166969	0.05	0.69	0.02	300	1130	10	50	37
15	174508	0.05	2.67	0.19	500	500	30	40	54
16	174574	0.06	2.94	0.39	0	900	37	24	57
17	174580	0.13	1.08	0.06	0	600	34	40	33
18	8280	0.26			Nd	Nd	Nd	Nd	34
19	8374	0.11			Nd	Nd	Nd	Nd	43
20	8382	0.24			Nd	Nd	Nd	Nd	32

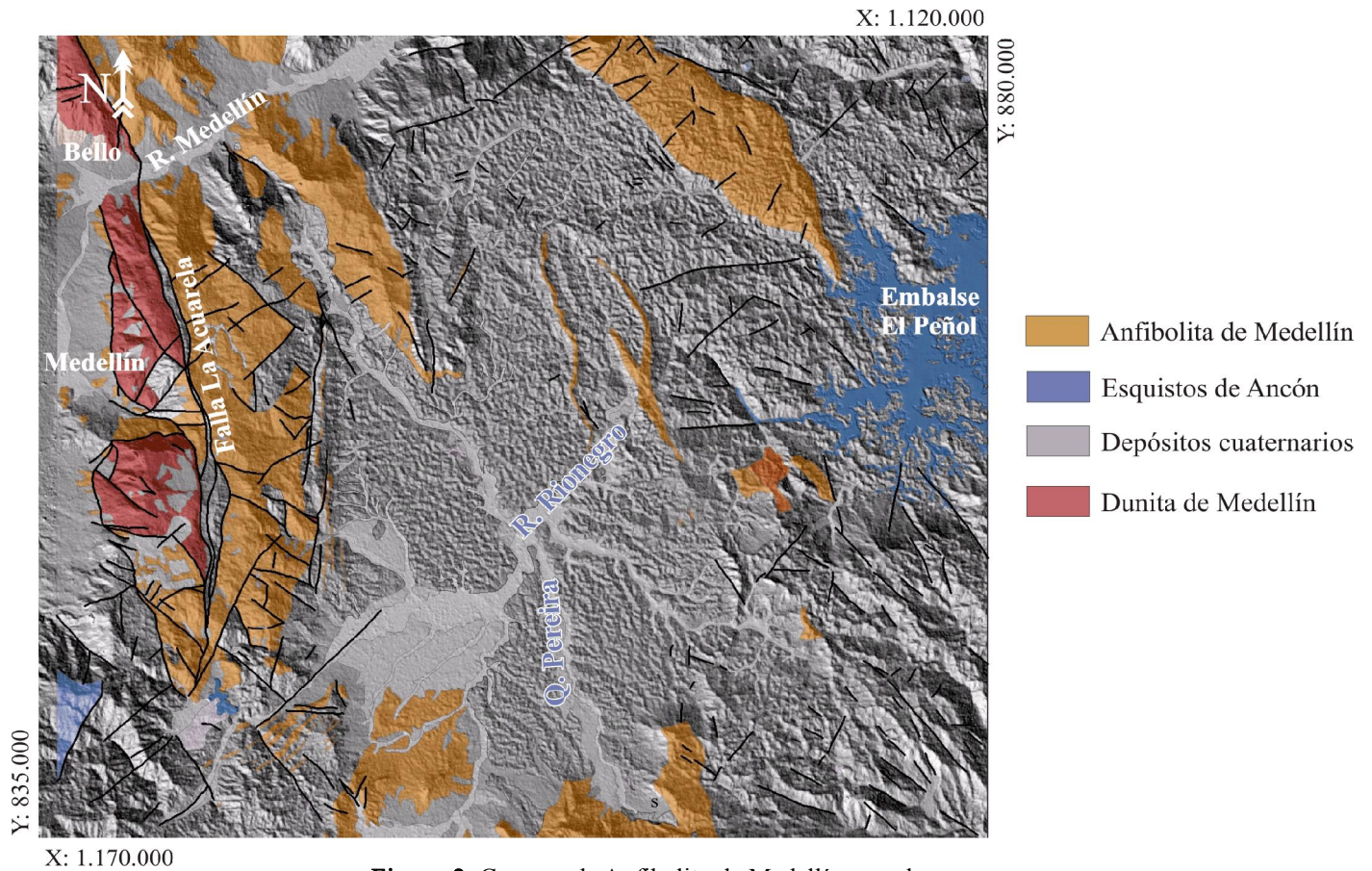
Nd – no determinado

← - Recalculado a 100% libre de H<sub>2</sub>O

Óxidos, % en peso

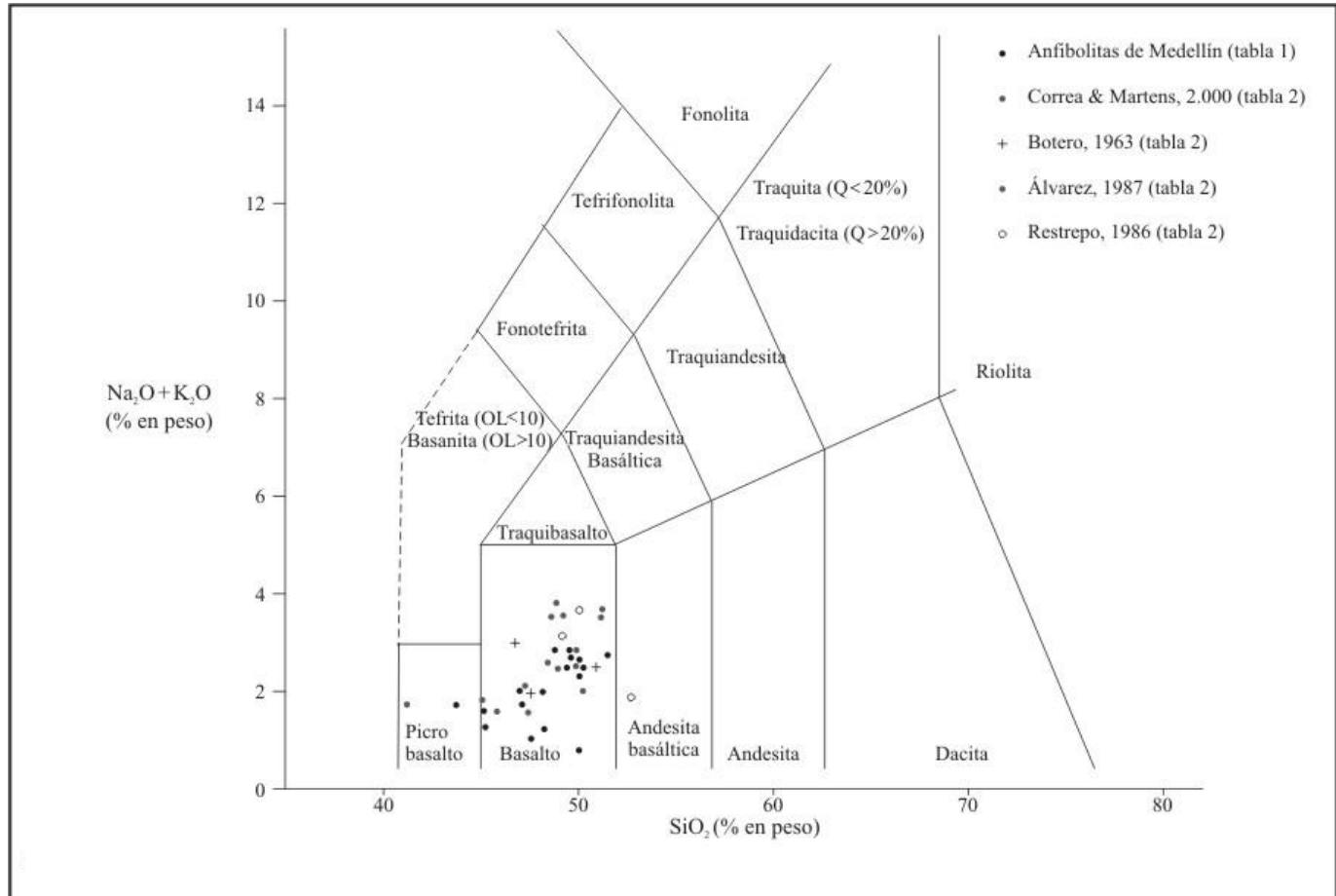
Elementos trazas en ppm.

Fuentes: 1 – 8 Correa y Martens, 2000. 9-11 (Botero, 1963).12-17 (Alvarez, 1987).18-20 (Restrepo, 1986).



**Figura 2.** Cuerpos de Anfibolita de Medellín en color ocre.

El diagrama TAS (Le Bas et al., 1986) permite clasificar el protolito de las anfibolitas e indica que éste, en la mayoría de las muestras analizadas, era de composición basáltica pudiendo corresponder a basaltos o gabros (Figura 3) y para determinar el grado de alcalinidad se utilizó el diagrama de Irvine y Baragar (1971), y en él se observa que todas las muestras analizadas caen en el campo subalcalino (Figura 4) lo cual indicaría que los ambientes de generación pueden corresponder a dorsales medio oceánicas (MORB), arcos de isla (IA), cuencas trans-arco o islas oceánicas (OIB).

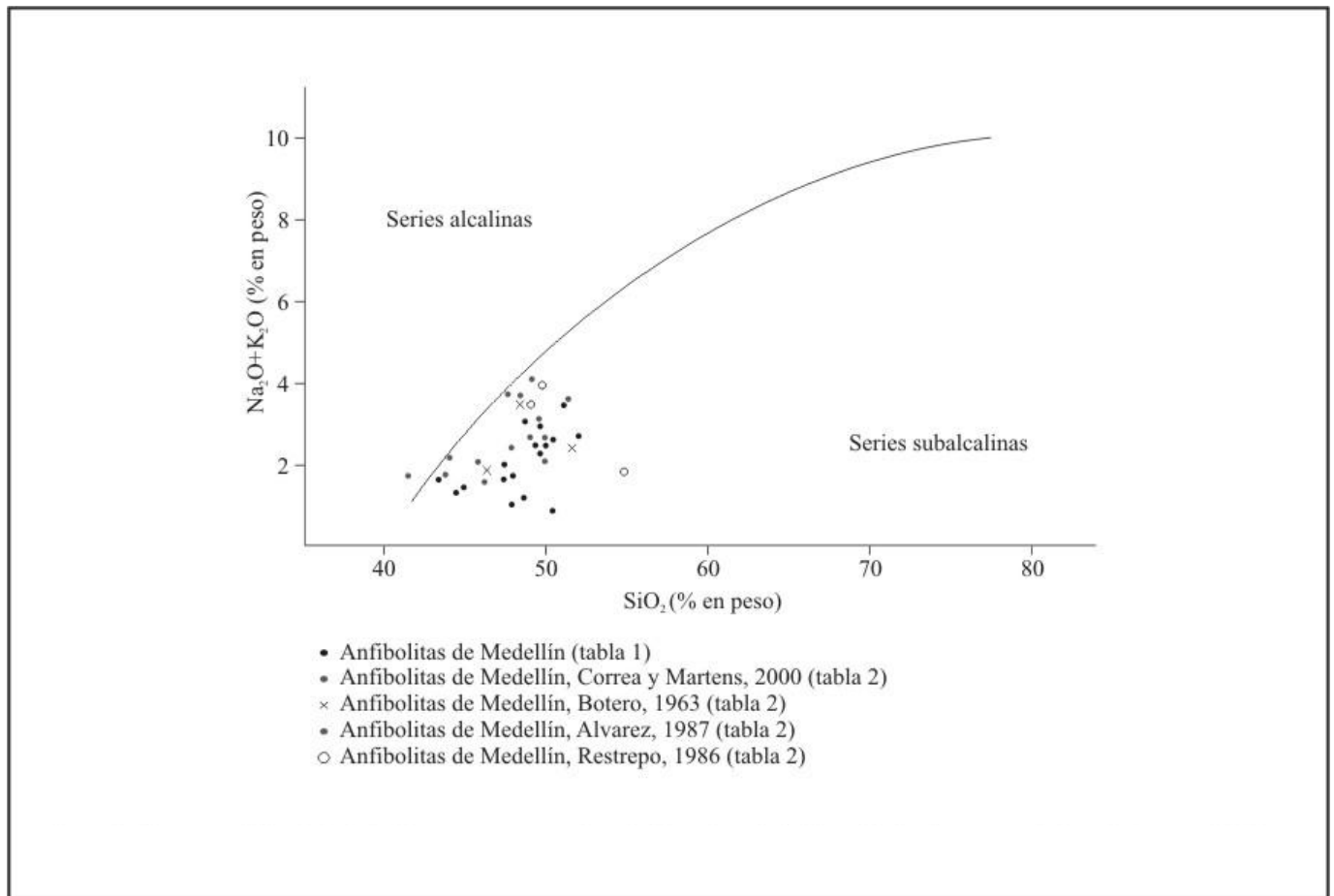


**Figura 3.** Diagrama TAS para clasificación de rocas volcánicas. Q = Cuarzo normativo; OL = Olivino normativo  
Fuente: (Le Bas et Al., 1986)

El diagrama AFM muestra que en el campo subalcalino, las muestras siguen una tendencia de diferenciación toleítica con una agrupación de los resultados en una línea aproximada paralela al lado MgO - FeO\* sin un enriquecimiento notorio en álcalis.

Teniendo en cuenta la composición basáltica del protolito de las anfibolitas (Figura 3), se utilizó el diagrama de Mullen (1983) recomendado para rocas básicas con SiO<sub>2</sub> entre 45 y 50%, rango en el cual se encuentran la mayoría de las muestras analizadas (Tablas 1 y 2, Figura 5); este diagrama discriminante permite conocer el ambiente tectónico de generación del protolito utilizando elementos poco móviles y modificables por procesos hidrotermales. La mayor parte de las muestras habrían sido generadas en un MORB (Figura 5) pero queda la posibilidad de que se hubiesen formado en una cuenca trans-arco, pues con elementos mayores no es posible discriminar entre basaltos de estos dos ambientes (Wilson, 1997). Estos dos ambientes geoquímicos son compatibles con las relaciones de intercalación que presentan las anfibolitas y las neises de origen sedimentario cuyo aporte fue continental.



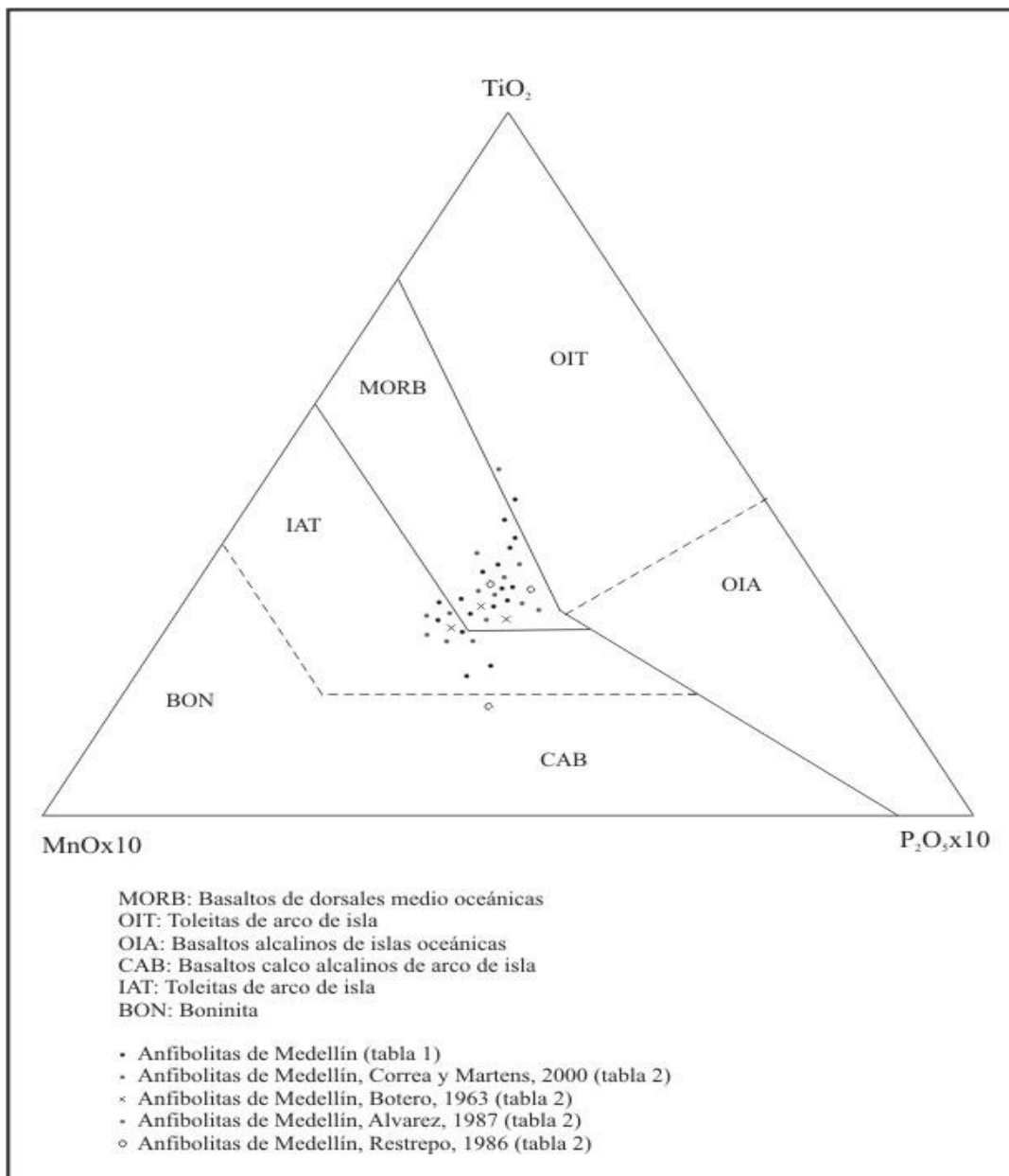


**Figura 4.** Diagrama  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  para separar series alcalinas de subalcalinas, límite de campos.

*Fuente: Irvine & Baragar, 1971.*

Teniendo en cuenta la información geoquímica disponible, las Anfibolitas de Medellín, provienen de un protolito toleítico, cuyo marco tectónico de generación más probable, teniendo en cuenta las relaciones estructurales con otras rocas metamórficas, fue una cuenca trans-arco o una dorsal oceánica constituida principalmente por derrames basálticos, aunque algunos pudieron haber sido cuerpos menores de gabro asociados a los basaltos.

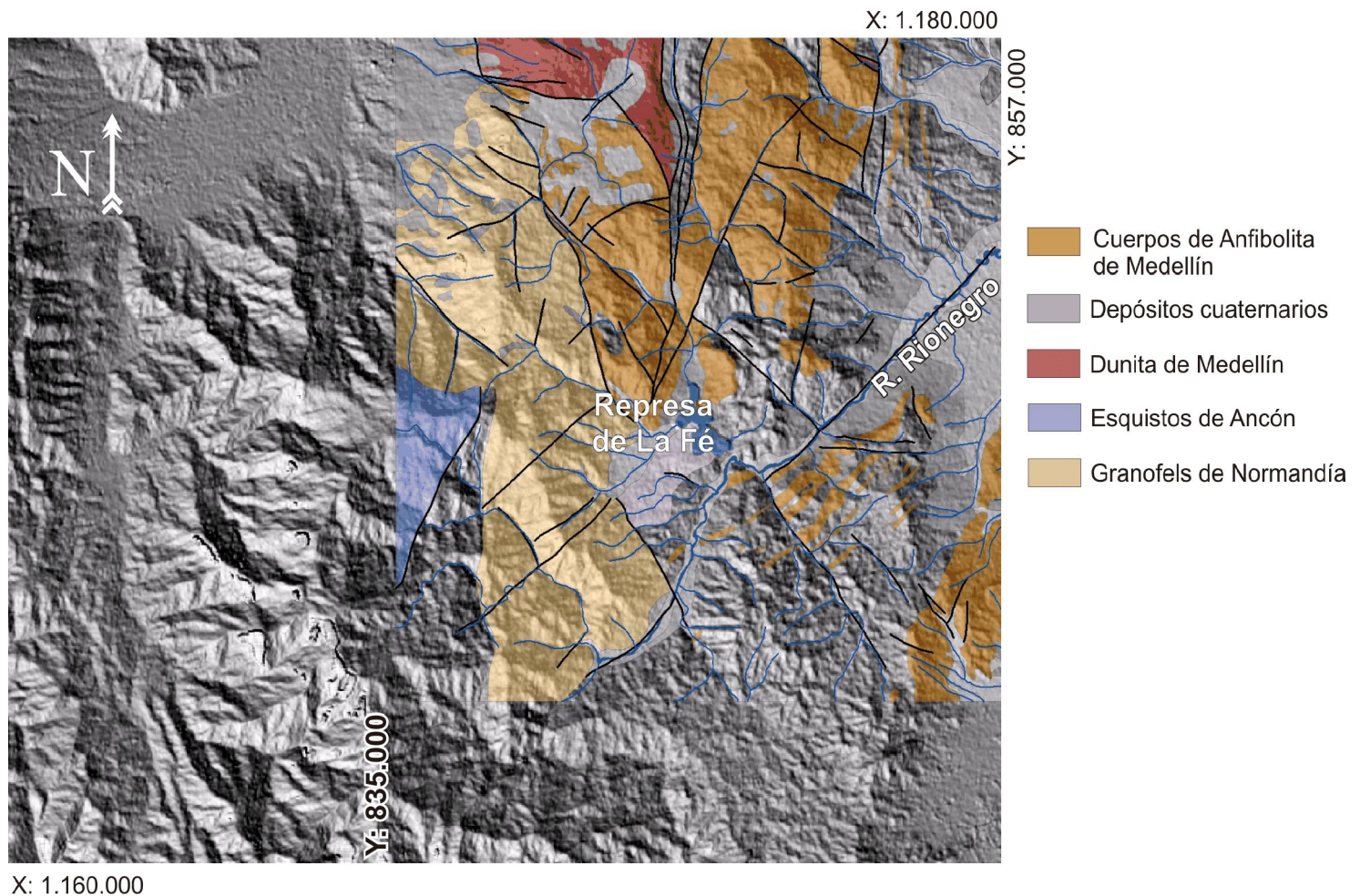
Para Correa y Martens (2000) las características geoquímicas de las anfibolitas localizadas principalmente al occidente del cuerpo de Dunita de Medellín, definen una unidad aparte del cuerpo principal de anfibolitas que denominan Metagabros de El Picacho; en esta unidad algunos diagramas se caracterizan por la heterogeneidad y dispersión debido, según dichos autores, a metasomatismo durante un proceso metamórfico hidrotermal. Las rocas de esta unidad se caracterizan por tener valores bajos de FeO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y #Mg alto lo cual indica una fuente poco diferenciada con respecto al manto primitivo. Algunas de las muestras analizadas en este proyecto muestran en los diagramas de variación con respecto al  $\text{TiO}_2$  un comportamiento similar, pero se considera que no hay un número suficiente de muestras y un muestreo sistemático que permitan establecer diferencias inequívocas entre los diferentes tipos de anfibolitas y su posición con respecto a la dunita para establecer entre ellas relaciones, edades y orígenes diferentes: unas como parte del basamento metamórfico y otras como parte media-baja de una ofiolita como lo plantean Correa y Martens (2000) y Restrepo (2003) entre otros autores.



**Figura 5.** Diagrama MnO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-TiO<sub>2</sub> (Mullen, 1983) para discriminar ambientes tectónicos de generación de rocas basálticas y andesíticas.

### 3.2. Migmatitas de Puente Peláez

Con este nombre Rodríguez et al., (2005) designan un cuerpo metamórfico de forma irregular alargada, en sentido norte-sur, el cual aflora dentro de la plancha 147 Medellín Oriental desde el norte de la cabecera municipal de El Retiro, limitado al sur por el río Negro y la quebrada La Danta, para continuar por fuera hacia el suroccidente en la plancha 167 Sonsón. Hacia el norte se extiende hasta el municipio de Envigado y el barrio El Poblado (E-1), donde desaparece al ser cubierto por depósitos de vertiente, pero continúa por fuera de la plancha, hacia el Municipio de Sabaneta dentro de la plancha 146 Medellín Occidental. Se encuentra limitado al occidente por la unidad denominada Granofels de Normandía y los Esquistos de Ancón y hacia el oriente por las Anfibolitas de Medellín. Tiene un ancho máximo de 5 km y mínimo de 3 km y una longitud de 14 km, con un área aproximada de 60 km<sup>2</sup> en la plancha 147 Medellín Oriental (Figura 6).



**Figura 6.** Migmatitas de Puente Peláez.

La litología predominante corresponde a neises y granofels cuarzo feldespáticos con biotita intercalados con neises biotíticos frecuentemente con sillimanita. Estas rocas presentan macroscópicamente estructuras migmatíticas de tipo estromática, plegada, flebítica y augen. El bandeo en general es centimétrico, las bandas del leucosoma son irregulares discontinuas, lenticulares, en forma de augen y romboedrales que indican deformación dúctil en algunos sectores. El melanosoma generalmente está constituido por bandas de neises biotíticos, neises biotíticos con sillimanita y granate y esquistos biotíticos, de grano fino a medio, de colores grises en tonalidades oscuras a claras y texturas lepidoblástica, granolepidoblástica, augen y porfiroblástica augen

Microscópicamente las Migmatitas de Puente Peláez están constituidas por neises de  $Qtz, Pl, Bi \pm Ms \pm Fk \pm Grt \pm Sil \pm St$  y menos frecuente por neises de  $Qtz, Bi \pm Ms \pm Sil \pm Grt$  y neises de  $Qtz, Pl, Bi, Ms, Fk \pm Grt \pm Sil$  con intercalaciones esporádicas de anfibolitas, frecuentes hacia el contactos con las Anfibolitas de Medellín y presencia de neises miloníticos que indican fallas de deformación dúctil en algunas áreas de la unidad.

El contenido de cuarzo (Qtz), plagioclasas (P) y biotita (Bi), es variable en la roca, por lo general el cuarzo es mayor a la plagioclasa y el de ésta mayor al de biotita. El cuarzo varía entre 25% y 60%, pero en general está entre 30 y 50 %, la plagioclasa se encuentra entre 0 y 45%, la mayor parte de las muestras tienen valores entre 15 y 30%, mientras que el contenido de biotita está entre un 5% y 30%, los valores más frecuentes en los neises son entre 5 y 15%. La moscovita varía de 0 a 55%, son raras las muestras con valores mayores del 30% y las rocas analizadas presentan contenidos de moscovita en el rango de 5 a 15%. El granate (Grt) puede estar presente o ausente en las rocas; el contenido generalmente

es bajo, menor a 10%. La sillimanita (Sl) en unas pocas muestras es abundante con contenidos entre 20 y 30%, pero las muestras con sillimanita tienen contenidos menores al 12 %.

El contacto sur de esta unidad hacia el río Negro y la quebrada La Danta, está cubierto por depósitos de pendiente y terrazas aluviales que probablemente enmascaran una falla que la limita con el Neis de La Ceja; en el sector de Carabanchel y la represa de La Fé, los contactos son fallados; hacia el norte está en contacto con el Neis Augen Milonítico de Las Palmas, un contacto complejo, marcado por zonas con neises miloníticos y cambios transicionales de una unidad a otra

Con el nombre de Neis Augen Milonítico de Las Palmas se describen las rocas de aspecto néisico que afloran cerca del Alto de Las Palmas, las cuales se consideran una facies milonítica de las Migmatitas de Puente Peláez, y que forman un cuerpo de forma irregular, con un área aproximada de 3 km<sup>2</sup>, el cual aflora entre la quebrada La Aguacatala al norte y la vereda El Escobero al sur, está limitado al oriente por las Anfibolitas de Medellín y la Dunita de Medellín y al occidente está cubierto por depósitos de vertiente. Las mejores exposiciones se presentan sobre la vía al Alto de Las Palmas donde aflora a lo largo de 2 km y en el carretable que une la vía a Las Palmas con la Loma de El Chocho. Espacialmente se localiza contra el borde suroccidental de la Dunita de Medellín.

La roca predominante corresponde a un neis milonítico de color gris con manchas blancas, con estructura néisica y textura porfiroclástica - lepidoblástica augen; los porfiroclastos son el 20 a 30% de la roca, corresponden a feldespato y feldespato-cuarzo, están orientados y elongados en sentido de la foliación, algunos con forma macroscópica romboidal que indica deformación dúctil. La matriz es de color gris a gris parda oscura con láminas de biotita que marcan la foliación y rodean los porfiroclastos

Microscopicamente la roca corresponde a un neis milonítico porfiroclástico de Qtz, P, Bi, Ms ± Grt ± Fk y como minerales accesorios opacos, circón, epidota, zoicita, apatito y grafito.

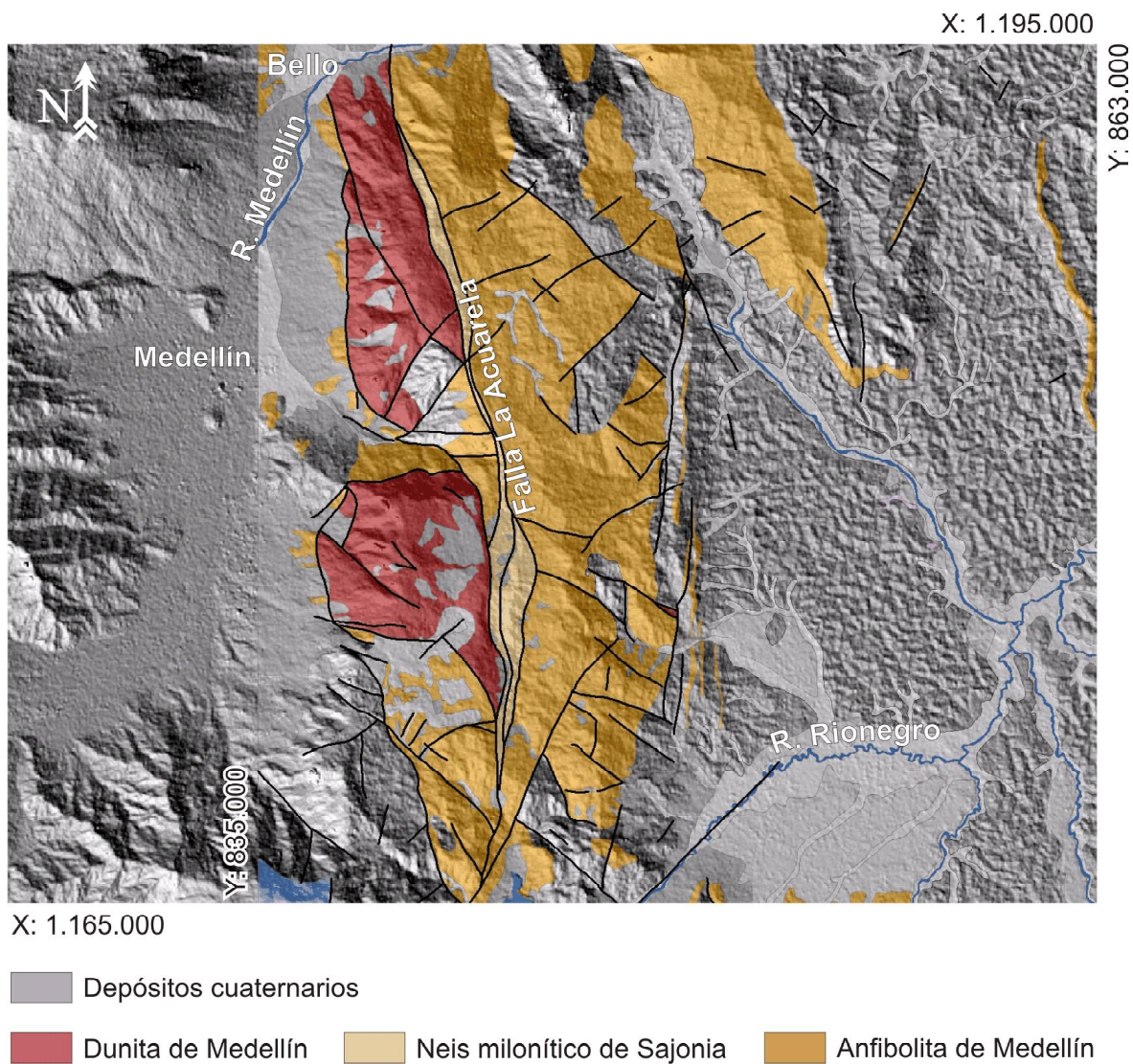
El Neis Augen Milonítico de Las Palmas presenta textura porfiroclástica milonítica, siendo minerales precinemáticos: plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo, éstos se encuentran como porfiroclastos deformados, recrystalizados, ligeramente rotados, microfallados y fracturados, con tamaño variable y de forma irregular, redondeados o en forma de augen.

La matriz la constituyen moscovita, biotita y cuarzo microcristalino, se encuentra orientada indicando una foliación irregular entre los porfiroclastos; las láminas gruesas de moscovita y biotita están intensamente dobladas, algunas en forma de pez indican el sentido de la deformación o como agregados finos recrystalizados que forman bandas irregulares que fluyen entre los porfiroclastos junto con el cuarzo.

El límite entre el Neis Augen Milonítico de Las Palmas y las Migmatitas de Puente Peláez en algunos sectores es transicional difuso de una unidad a la otra, en otros sectores se pasa de migmatitas a neises augen miloníticos. En este trabajo se considera que corresponde a una facie de deformación dúctil de las Migmatitas de Puente Peláez, desarrollada durante el emplazamiento tectónico de la Dunita de Medellín.

### **3.3. Neis Milonítico de Sajonia**

Con este nombre se denomina la unidad de neises y esquistos con intercalaciones de anfibolitas, fuertemente deformados y milonitizados, la cual forma una franja delgada, con dirección norte-sur en el extremo sur y N15°W en el extremo norte, con una longitud de 21 km y una amplitud media menor a 0,3 km, con un máximo de 1,3 km en el Paraiso (Vereda Pericos) y una extensión total de 7,2 km<sup>2</sup>. Se localiza en el borde oriental de la Dunita de Medellín, limita los bloques sur y central de esta unidad, entre la quebrada Rodas al norte y Paulandia en el extremo sur.



**Figura 7.** Neis milonítico de Sajonia

Los afloramientos generalmente son de saprolito y rocas alteradas con estructura bandeada esquistosa y néisica la roca está intensamente cizallada, deformada, localmente plegada y fallada y son frecuentes augen de grafito y pequeños poliedros de deformación, se presenta por lo general como saprolito arcillo arenoso rico en micas.

El Neis Milonítico de Sajonia presenta contactos fallados: al oriente con las Anfibolitas de Medellín, al occidente con los bloques sur y central de la Dunita de Medellín y en Santa Elena con las Anfibolitas de Medellín. La unidad se encuentra limitada por la Falla La Acuarela, la cual se bifurca al sur de la curva de Rodas, sobre la autopista Medellín-Bogotá en dos fallas subparalelas separadas entre si menos de 400 m, con dirección N15°E hasta el alto de Santa Elena, desde donde las dos fallas se amplían formando un lente más ancho del Neis Milonítico de Sajonia el cual se extiende hacia el sur hasta Paulandia

### 3.4. Neis de La Ceja

El cuerpo principal tiene dirección predominante norte-sur, desde el extremo sur de la plancha en la vereda Papayal, se prolonga hacia el sur en la plancha 167 Sonsón. Al norte, en la plancha 147 Medellín Oriental, se extiende desde el río

Medellín, hasta la cabecera municipal de Copacabana y algunas fajas delgadas afloran en la vertiente noroccidental del río Medellín (Barrio La María de Bello), con dirección N30W. Este cuerpo corresponde a una franja de 34 km de longitud, con 9,1 km de amplitud en el extremo sur y amplitud irregular hacia el norte, con aproximadamente 1,2 km en la parte central y hasta 3 km al norte. La extensión total dentro de la Plancha 147 es aproximadamente de 105 km<sup>2</sup>.

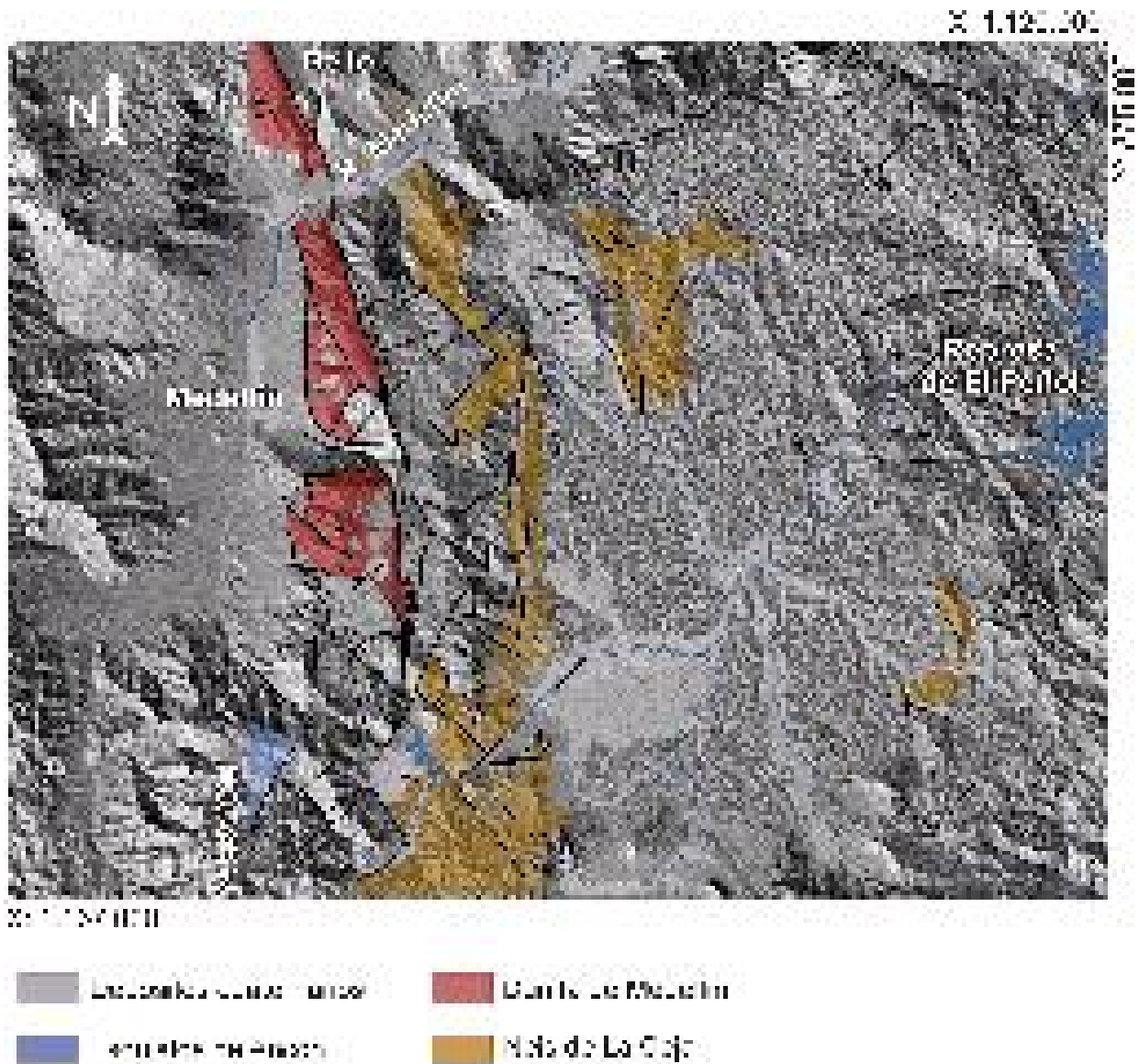


Figura 8. Localización de los afloramientos del Neis de La Ceja

Macroscópicamente el Neis de La Ceja corresponde a neises y granofels bandeados, localmente plegados y con estructura migmatítica estromática y plegada, en algunas áreas se presentan intercalaciones de neises, granofels, neises miloníticos, granulitas, cuarcitas y capas de anfibolitas

Al oriente del Municipio de El Retiro se presentan intercalaciones de fajas de anfibolitas, anfibolitas cumingtoníticas, neises cuarzo feldespáticos con biotita, neises miloníticos, y localmente granulitas, cuarcitas; la zona afectada por deformación dúctil se encuentra en dos áreas contiguas en forma de cuerpos tabulares de dirección N45° a 60°E. La franja más occidental tiene mayor deformación, forma un cuerpo con una amplitud mayor a un kilómetro y una extensión mayor de 7 km, desde la vereda San Diego hacia el suroccidente en la vereda El Carmen y continúa hacia la plancha 167 Sonsón.

Localmente los neises y granofels presentan estructuras migmatíticas schlieren y nebulíticas y tienen preferentemente texturas granoblástica y granoporfidoclástica, menos corriente granolepidoblástica en zonas ricas en biotita.

Las rocas están constituidas en un 80 a 90 % por cuarzo y feldespatos y el porcentaje restante corresponde a minerales ferromagnesianos (micas). Las granulitas que afloran en la plancha 147 Medellín Oriental, se localizan hacia el borde oriental de la faja principal de milonitas, entre las dos zonas con deformación dúctil, es decir entre la zona de falla.

Microscópicamente el Neis de La Ceja está constituido por neises de Qtz, Pl, Bi ± Ms ± Grt ± Sil, menos frecuente por neises de Qtz, Pl, Fk, Bi, Ms ± Grt ± Sil; neises de Qtz, Pl, Fk, Bi ± Grt ± Sil, localmente al oriente de El Retiro se presentan cuarcitas con ± Pg ± Bi ± Ms ± Gr; granulitas, algunas con contenidos altos de ortopiroxeno por encima de un 5% y neises miloníticos que afloran al oriente de El Retiro, los cuales presentan asociaciones minerales comparables al de los neises no deformados, pero tienen texturas porfidoclásticas augen y recristalización dinámica de algunos minerales debido a deformación en ambiente dúctil.

Al comparar los resultados de los análisis de las Migmatitas de Puente Peláez y el Neis de La Ceja, se observan algunas diferencias significativas, no en la mineralogía pero sí en los porcentajes entre minerales, como por ejemplo el contenido de cuarzo en las Migmatitas de Puente Peláez es mayor al de feldespatos generalmente, situación que no se presenta en todas las rocas del Neis de La Ceja, donde el contenido de cuarzo puede ser mayor, similar o menor al contenido de feldespato. Esta observación permite suponer un protolito para el Neis de La Ceja más rico en feldespatos y pobre en material pelítico que el de las Migmatitas de Puente Peláez, donde posiblemente se intercalaban paquetes sedimentarios con mayores o menores contenidos de feldespato con relación al cuarzo.

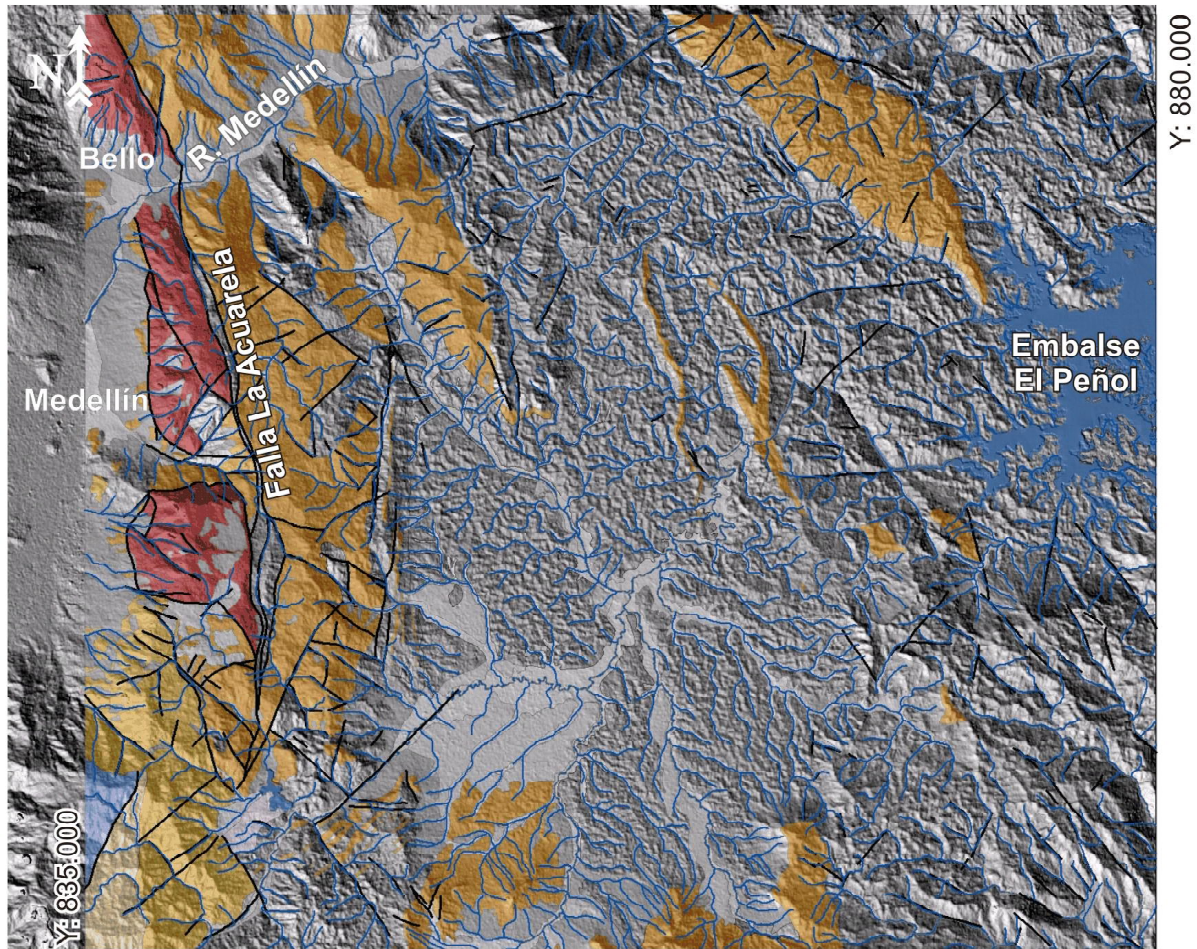
Los contactos del Neis de La Ceja con las Anfibolitas de Medellín son concordantes, en los contactos entre ambas unidades capas de neises se intercalan con capas de anfibolitas con dirección de foliación similar. El contacto con las Migmatitas de Puente Peláez, en algunos sectores es fallado y en otros está cubierto por sedimentos cuaternarios, como a lo largo del río Negro. El Batolito Antioqueño intruye los neises, se encuentran diques de tonalita que cortan los neises y xenolitos del neis dentro de las rocas tonalíticas del batolito.

### **3.5. Granofels de Normandía**

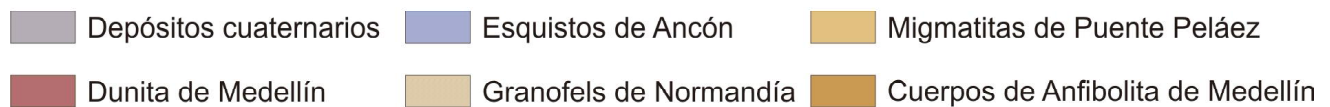
Se denomina Granofels de Normandía a un cuerpo de rocas metamórficas que aflora en el extremo suroccidental de la plancha 147 Medellín Oriental y continúa hacia el sur dentro de las planchas 146 Medellín Occidental y 167 Sonsón. En la plancha 147 Medellín Oriental el cuerpo tiene forma triangular alargada, con el cierre en el extremo norte cerca del Alto de Las Peñas en la divisoria de aguas de la quebrada La Ayurá y la quebrada La Legía, tiene una longitud de 7,5 km, una amplitud de 2,5 km en el extremo sur hacia la cuchilla La Estufa y el Alto Los Duraznos, la extensión aproximada de 13,4 km<sup>2</sup>, la dirección general del cuerpo, en su contacto oriental, es norte-sur y en el contacto occidental, N20°E (Figura 9).

Esta unidad alcanzó la anatexia parcial y una homogenización avanzada del leucosoma y el melanosoma, pero conserva texturas y estructuras metamórficas y una mineralogía que permiten establecer un origen a partir de sedimentos sometidos a metamorfismo en facies anfibolita alta, que al menos parcialmente se comportó como un fundido. Los límites con las Migmatitas de Puente Peláez son complejos, localmente parecen transicionales, pero también existen inyecciones de granofels dentro de las migmatitas a lo largo de planos de debilidad y de la foliación. Las bandas del leucosoma de las Migmatitas de Puente Peláez son similares en algunos sectores a las rocas que conforman el Granofels de Normandía. La unidad alcanzó condiciones de anatexia como lo demuestra la presencia de xenolitos al interior del cuerpo e inyecciones de granofels en los bordes de contacto con las migmatitas.

X: 1.120.000



X: 1.160.000



**Figura 9.** Granofels de Normandía indicado en el recuadro rojo

La roca macroscópicamente tiene aspecto de granitoide de color blanco amarillento por tinción de óxidos de hierro, moteada de negro por biotita y con algo de moscovita, de grano medio, con textura predominante granoblástica y localmente con bandas finas y láminas granolepidoblásticas, y puede encontrarse, en algunos sectores, desarrollo incipiente de estructuras neísica y más frecuente migmatíticas nebulíticas, homófonas, schlieren y estromática, El cuerpo tiene xenolitos o gabarros centimétricos a decimétricos de granofels biotíticos

Las rocas predominantes corresponden a granofels y neises de Qtz, Pl Bi, Ms ± Fk ± Grt ± Sil, los minerales accesorios son: circón, apatito, grafito, opacos, esfena, rutilo y zoisita. La textura más frecuente es granoblástica, pero las micas pueden o no tener orientación lepidoblástica, la moscovita, en algunas muestras, tiene textura simplectítica de tipo coliflor con intercrecimiento con cuarzo y plagioclasa, también se presentan texturas mirmequíticas, pertíticas y antipertíticas y en algunas muestras localizadas cerca de fallas y contactos, se desarrollan texturas por deformaciones en diferentes niveles estructurales (frágiles y dúctiles).

El contacto occidental del Granofels de Normandía con los Esquistos de Ancón, en la hacienda Normandía es fallado, pero se observa dentro de los granofels y neises un aumento en el contenido de biotita, una mejor orientación mineral y



una estructura neísica hacia el contacto. Hacia la divisoria de aguas de las quebradas La Ayurá y La Legía (G-1), no se observa el contacto, pero se presentan diques de pegmatitas cuarzo feldespáticas cortando los Esquistos de Ancón.

El Granofels de Normandía está en contacto con las Migmatitas de Puente Peláez, es una relación compleja donde venas y bandas de granofels se inyectan dentro de las migmatitas a lo largo de la foliación y por planos de debilidad, localmente se presentan venas pegmatíticas cortando las migmatitas y en otros sectores el paso de una unidad a otra es transicional, aumentando gradualmente la presencia de un melanosoma rico en biotita y estructuras migmatíticas. Adicionalmente se presentan algunos xenolitos de migmatitas en el granofels.

#### 4. METAMORFISMO

Los cambios progresivos en los minerales y las asociaciones minerales a través de las distintas zonas metamórficas en las facies definidas en rocas de diferente protolito se indican en la Figura 10 mientras que las asociaciones de minerales metamórficos se encuentran en la Tabla 3. Los límites entre las zonas en la facies anfibolita y entre las diferentes facies son difíciles de determinar debido a que los cambios mineralógicos son graduales y en muchos casos han sido oscurecidos por efectos dinámicos sintectónicos o post metamórficos y/o térmicos posteriores.

**Tabla 3.** Paragénesis y asociaciones minerales metamórficas más comunes en unidades litológicas metamórficas de la plancha 147 Medellín Oriental.

GRADO DE METAMORFISMO		→		
Tipo de Roca	Bajo	Medio	Alto	
	F.Esq. Verde	F. Anfibolita Baja	F. Anfibolita alta	Granulita
Cuarcitas	Qtz-Ms-Bi-	Qtz-An-Bi-Ms	Qtz-An-Bi-Sil <sub>2</sub>	
Esq. micáceos	Chl- Ctd	Qtz-An-Bi-Ms-And	Qtz-An-Bi-Sil <sub>2</sub> Grt	
Neises aluminicos		Qtz-An-Bi-Sil <sub>1</sub>	Qtz-An-Fk-Bi-Ms	
Neises C- Feld		Qtz-An-Bi-Sil <sub>1</sub> -Gt	Qtz-An-Bi-Sil <sub>2</sub> Cia	
Granofels		Qtz-Bi-St-Grt-Ms	Qtz-An-Bi -Cor?	
Anfibolitas-	Tr-Ab	Qtz-An-Fk-Bi-Ms	Qtz-An - Fk-Ms	
Esq. Anfibólicos-		Hb <sub>1</sub> -An±Zo	Hb <sub>2</sub> -Di - An	
		Hb <sub>1</sub> -An±Esf	Hb <sub>2</sub> -Di - Grt -An	
		Hb <sub>1</sub> -Cum	Hb <sub>2</sub> -Cum- An	Hb <sub>2</sub> -Di - An
Granulitas				Hb <sub>2</sub> -Hy -Di- An
Abreviaturas:				
Ab - Plagioclasa An>20		Cum - Cumingtonita	Hy - Hipersteno	
An - Plagioclasa An<20		Di - Diópsido	Ms - Moscovita	
And - Andalucita		Ep - Epidota	M - Mica	
Act - Actinolita		Esf - Esfena	Pl-Plagioclasa (no determinada)	
Bi - Biotita		St - Estaurolita	Sil <sub>1</sub> - Sillimanita fibrosa	
Qtz- Cuarzo		Fk - Feldespato Potásico	Sil <sub>2</sub> - Sillimanita prismática	
Cl - Clorita		Hb - Hornblenda	Tr- Tremolita	
Cia - Cianita		Hb <sub>1</sub> - Hornblenda verde	Zo - Zoisita	
Cor - Cordierita		Hb <sub>2</sub> - Hornblenda parda	Grt - Granate	
Ctd - Cloritoide				

Las rocas en facies granulita representan una pequeña parte de la unidad Neis de La Ceja en el Complejo El Retiro en los alrededores de la cabecera municipal de El Retiro y están asociadas espacialmente a migmatitas y neises miloníticos que son los tipos predominantes en la región pero la presencia de estas rocas no implica necesariamente que todo el conjunto pertenezca a la facies granulita puesto que a presiones medias y bajas (hasta 7 Kbar) en condiciones de saturación en H<sub>2</sub>O y presencia de cuarzo, la fusión parcial de las metapelitas comienza alrededor de 700°C (Bucher y Frey, 1994), condiciones de la facies anfibolita, mientras que la aparición de ortopiroxeno, inicio de facies granulita, ocurre entre 750°C y 800°C. La revisión de campo durante este trabajo muestra que la ocurrencia de granulitas es más restringida sin que pueda establecerse, por falta de afloramientos, una continuidad o área.

FACIES				
ROCAS PELÍTICAS	ESQUISTO VERDE	ANFIBOLITA		GRANULITA
		Baja	Alta	
Clorita	.....			
Biotita	.....			
Moscovita	.....			
Andalucita	.....			
Sillimanita fibrosa	.....			
Sillimanita prismática	.....			
Cianita	.....			
Estaurolita	.....			
Granate	.....			
Espínela	.....			
Feldespato potásico	.....			
Cordierita (?)	.....			
ROCAS BÁSICAS	ESQUISTO VERDE	ANFIBOLITA		GRANULITA
		Baja	Alta	
Actinolita	.....			
Tremolita	.....			
Cumingtonita	.....			
Hornblenda verde	.....			
Hornblenda parda	.....			
Diópsido	.....			
Hipersteno	.....			
Granate	.....			
Plagioclasa An>20	.....			
Esfena	.....			
Zoicita	.....			
Clorita	.....			
ROCAS CUARZO FELDESPÁTICAS	ESQUISTO VERDE	ANFIBOLITA		GRANULITA
		Baja	Alta	
Cuarzo	.....			
Ortosa	.....			
Microclina	.....			
Plagioclasa An>20	.....			
Plagioclasa An<20	.....			
Moscovita	.....			
Biotita	.....			
Granate	.....			

**Figura 10.** Cambios mineralógicos en rocas metamórficas de composición química diferente, a través de las facies y zonas de metamorfismo regional en la plancha 147 Medellín Oriental ( Rodríguez et al., 2005).

Los granofels presentan una paragénesis (Tabla 3): Pl-C-Bi-Grt que aunque no es diagnóstica de una sola facies, se encuentra en rocas estrechamente relacionadas a granulitas básicas y migmatitas lo cual indicaría que se formaron en condiciones de metamorfismo de alto grado, posiblemente en facies granulita, en especial por su relación con las primeras. Son rocas sin foliación o poco foliadas con paragénesis no típicas de una granulita pero que se encuentran, sin lugar a dudas, en un terreno de metamorfitas de alto grado, al menos en facies anfíbolita alta. Asociadas al granofels de Normandía pero no separados de esta unidad por su extensión, se encuentran cuerpos menores de rocas

poco o no foliadas de composición granitoide, constituidos por plagioclasa (50%), cuarzo (20-40%), biotita (<5%) con feldespato potásico no maclado, cordierita (?) y ocasionalmente granate con grafito y circón redondeado. Estas rocas provienen de sedimentitas cuarzo-feldespáticas a semi-pelíticas y sus características texturales y mineralógicas son típicas de rocas granitoides (Shelley, 1993) y corresponderían a granitos tipo S.

Todos los tipos de anfibolitas que se encuentran en el área e independientemente de la asociación litológica, presentan asociaciones de la facies anfibolita caracterizada por la presencia de plagioclasa (andesina-labradorita) y hornblenda. Las que contienen hornblenda parda o núcleos pardos de este mineral se pudieron haber formado en condiciones de la facies anfibolita alta (Miyashiro, 1994) mientras que las verdosas preferentemente en las de anfibolita baja, aunque puede coexistir con la hornblenda parda en la de anfibolita alta o por eventos posteriores que transformaron la hornblenda parda de alta temperatura en un anfíbol de más baja temperatura. Sin embargo, no hay una distribución especial ordenada de una u otra hornblenda que permita definir la naturaleza del evento que pudo haber causado esta transformación aunque predomina el anfíbol verde hacia el contacto de la Dunita de Medellín, por lo cual Correa y Martens (2000) consideran que el cabalgamiento de la Dunita de Medellín provocó las condiciones adecuadas para esta transformación.

La presencia de cumingtonita, diópsido y granate en las Anfibolitas de Medellín no muestra una distribución regular que permita la separación de zonas basadas en estos minerales dentro de la facies anfibolita que caracteriza la unidad. La paragénesis con granate es característica de la parte media de esta facies, alrededor de 600°C (Bucher y Frey, 1994). En cuanto a las anfibolitas diopsídicas sí éstas se formaron en condiciones de media presión estarían marcando el límite de la zona de anfibolita alta, 650°C, marcado por la primera aparición de clinopiroxeno (Bucher y Frey, 1994) pero si son de baja presión indicaría temperatura alrededor de 600°C, similar a la definida por la presencia de granate (Bucher y Frey, 1994).

En algunas anfibolitas el diópsido es claramente resultado de eventos térmicos posteriores atribuibles a la intrusión del Batolito Antioqueño; en este caso la paragénesis plagioclasa - hornblenda - diópsido, indicaría condiciones de la facies hornblenda cornubianita a presiones menores de 2 Kbar (Yardley, 1989).

La abundancia de esfena prógrada especialmente en las anfibolitas con hornblenda verde, sería un indicio que la unidad de anfibolitas no alcanzó la facies granulita pues en las condiciones de ésta la esfena no es estable siendo reemplazada por ilmenita y rutilo (Turner, 1981).

La ausencia por lo general de indicadores báricos o su presencia ocasional en asociaciones no diagnósticas en las diferentes unidades metamórficas, impide determinar las condiciones de presión bajo las cuales se formaron estas unidades.

En el Complejo El Retiro el tipo bárico es difícil de precisar: en las granulitas las paragénesis indican que no se alcanzaron las condiciones de la subfacies clinopiroxeno - granate de mayor presión encontrada en terrenos del tipo Barroviano (Turner, 1981). González (1980) cita la presencia de cordierita (?) en las migmatitas lo cual indicaría condiciones de baja presión, tipo Abukuma, pero en el presente trabajo no se encontró cordierita de metamorfismo regional.

El único indicador de presión encontrado es cianita en la unidad de neises y migmatitas que aunque ocasional aparece asociada a sillimanita prismática, indicando que al menos en algunas sectores o niveles de estas unidades litológicas del Complejo se tuvieron condiciones de media presión.

Las relaciones de campo y entre las diferentes unidades litológicas del Complejo El Retiro, parecen indicar que lo más probable es que las migmatitas se hayan formado por anatexis durante un metamorfismo regional de alto grado (Bucher y Frey, 1994). La composición de la fracción granítica es monzogranítica, localmente con exceso de cuarzo y deficiencia de feldespato potásico, con una textura hipidioblástica, donde parte del feldespato tiende a ser xenoblástico. Asociado con las migmatitas aparecen neises de composición cuarzo feldespática a pelítica con algunas intercalaciones de anfibolitas y ocasionalmente granulitas. A temperatura y presión fijas, según Bucher y Frey (1994), la formación de migmatitas,

anfíbolitas o granulitas depende de la composición de las fases fluidas, si éstas son ricas en CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> se forman las granulitas, si predomina el H<sub>2</sub>O se forman migmatitas y una composición intermedia genera anfíbolitas, modelo que explicaría la presencia de anfíbolitas y granulitas en el Complejo El Retiro asociadas a las migmatitas sin que necesariamente todo el conjunto pertenezca a la facies granulita.

Efectos de metamorfismo térmico superpuestos a los de regional se observan cerca al contacto de las unidades metamórficas básicas y pelíticas con el Batolito Antioqueño y en techos pendientes sobre éste de las mismas unidades. La intrusión produjo recristalización en las rocas encajantes a temperatura entre moderada y alta en condiciones de baja presión y en algunos casos, los movimientos durante la intrusión del cuerpo batolítico en niveles corticales superiores produjeron alguna deformación contemporánea con el metamorfismo térmico.

Las condiciones de temperatura bajo las cuales se formaron las rocas de grado alto-medio de metamorfismo regional en el área, son similares a las del metamorfismo térmico y por ello, los cambios mineralógicos o texturales son más evidentes en aquellas rocas de mas bajo grado siendo difíciles de separar las unas de las otras en muchos casos aun en las zonas internas de la aureola de contacto.

Las paragénesis desarrolladas en las cornubianitas básicas indican condiciones de medio-alto grado de metamorfismo térmico superpuestas a las de metamorfismo regional dinamo-térmico pero sin que sea notorio un desequilibrio térmico con respecto a éstas debido, probablemente, a la naturaleza del protolito.

Las unidades del Complejo El Retiro presentan evidencias tanto a nivel de afloramientos como en sección delgada, de haber sufrido varios eventos de metamorfismo dinámico caracterizados por modificación de los rasgos estructurales y texturales con formación de zonas de rocas miloníticas cuyo espesor es variable desde escala centimétrica a métrica.

Gran parte de las rocas metamórficas que afloran en el área cartografiada presentan evidencias mineralógicas y texturales de cambios retrógrados en las paragénesis originales de alto y medio grado de metamorfismo dando asociaciones que sólo son estables en condiciones de bajo grado de metamorfismo.

## BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, J., 1987. Tectonitas Dunitas de Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia. Bol. Geol. Ingeominas, Bogotá. 28 (3), pp. 9-44.
- Ardila, R., 1986. Petrografía de las rocas metamórficas de El Retiro - Antioquia. Tesis de grado, U. Nal. de Colombia, Medellín. 178 P.
- Botero, G., 1963. Contribución al conocimiento de la geología de la Zona Central de Antioquia. Anales de la Facultad de Minas. 57, Medellín. 101 P.
- Bucher, K. y Frey, M., 1994. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer - Verlag, 6 Th edition. Germany. 318 P.
- Bustamante, A., 2003. Definição das trajetórias P-T-t em rocas metamórficas do flanco ocidental da Cordilheira Central da Colombia, nas regiões de Caldas e Retiro. Dissertação de Mestrado, U. de Sao Paulo, Int. de Geociencias, 107 P.
- Correa, A. y Martens, U., 2000. Caracterización geológica de las anfíbolitas en los alrededores de Medellín. Tesis de grado, U. Nal., Medellín. 236 P. y anexos.
- Echeverría, L.M., 1973. Zonación metamórfica del Valle de Aburrá y sus alrededores. Tesis de grado, Fac. de Minas, Medellín. 124 P.
- Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., 1972. Geología de Antioquia y Caldas (Subzona II-B) Bol. Geol. Ingeominas, Bogotá. 20 (2), pp. 1-173.

- González, H., 1976. Geología del Cuadrángulo J-8 (Sonsón). Ingeominas. Informe 1704. Medellín. 421 P.
- González, H., 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina) del Mapa Geológico de Colombia. Bol. Geol. Ingeominas, Bogotá. 23 (1), pp. 1-174.
- González, H., 1997. Mapa geológico del Departamento de Antioquia, escala 1:400.000. Memoria Explicativa. Ingeominas, Informe 2199, Santafé de Bogotá, 232 P.
- Grosse, E., 1926. Estudio geológico del Terciario Carbonífero de Antioquia. Dietrich Reimer, Berlín. 361 P.
- Hubach, E., 1957. Contribución al conocimiento de las Unidades estratigráficas en Colombia. Informe 1212. Serv. Geol. Nal. Bogotá. 166 P.
- Irvine, T. y Baragar, N., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., Montreal. 8, pp. 523-548.
- Julivert, M., 1968. Lexique Stratigraphique International Volume V, Fascicule 4a (1 partie) Paris. 641 P.
- LeBas, M., LeMaitre, R., Streckeisen, A. y Zannetin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali - Silica diagram. J. Petrol., Oxford. 27, pp. 745-750.
- Maya, M. y González, H., 1995. Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. Bol. Geol. Ingeominas, Santafé de Bogotá, 35 (2-3), pp. 43-57.
- Miyashiro, A., 1994. Metamorphic petrology. Oxford U. Press. New York, 404 P.
- Montes, L.F., 2003. Relación entre las metamorfitas de alto y bajo grado en el sur del Valle de Aburrá, Antioquia. Tesis de grado, Universidad Nacional. Medellín. 198 P. y anexos.
- Mullen, E., 1983. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. Earth Planet. Sci. Lett., 62, pp. 53-62.
- Nelson, H., 1957. Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the sector between Ibagué and Cali. Leidse. Geol. Medel., (Leyden). 22, pp. 1-76.
- Ospina, T., 1911. Reseña geológica de Antioquia. Imprenta La organización. Medellín. 102 P.
- Restrepo, J. y Toussaint, J., 1984. Unidades litológicas de los alrededores del Valle de Aburrá. I Conf. Sobre riesgos geol. del Valle de Aburrá, Soc. Col. De Geol. Memoria Medellín. 1, pp. 1-26.
- Rodríguez, G., González, H. y Zapata, G. 2005. Geología de la plancha 147 Medellín Oriental, Ingeominas, Bogotá. 320 P.
- Scheibe, R., 1934 (elaborado en 1919). Informe sobre resultados de la Comisión Científica en Antioquia. Compilación Estudios Geológicos Oficiales en Colombia. Bogotá. 1, pp. 97 -167.
- Shelley, D., 1993. Igneous and metamorphic rocks under the microscope, classification, textures, microstructures and mineral proffered orientations. Chapman y Hall. London.
- Turner, F., 1981. Metamorphic Petrology: Field and Laboratory aspects. 2nd edition. McGraw Hill Co. New York. 524 P.
- Wilson, M., 1997. Igneous petrogenesis. Chapman y Hall, London. 466 P.
- Yardley, B., 1989. An introduction to metamorphic petrology. Longman Earth Science Series, New York. 248 P.

