

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p style="text-align: center;"><b>CATÁLOGO DE LAS<br/>UNIDADES<br/>LITOSTRATIGRÁFICAS DE<br/>COLOMBIA</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>PALEOCENO -<br/>EOCENO</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>BATOLITO DE MANDÉ<br/>(Egm)<br/>Cordillera Occidental<br/>Departamento de Antioquia, Chocó y<br/>Risaralda.<br/>Humberto González I.<br/>Ana Cristina Londoño G.</b></p> |
|---|--|--|

1. PROPONENTE DEL NOMBRE

Álvarez (1971 a,b).

Departamento del Chocó y en el río San Juan, en el Departamento de Risaralda.

2. PROVENIENCIA DEL NOMBRE Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

El nombre asignado a este cuerpo proviene del Corregimiento de Mandé, Municipio de Urao, sobre el río del mismo nombre, en el Departamento de Antioquia, la región noroccidental de Colombia (Figura 1).

Es un cuerpo de forma elongada en dirección N45°W; bordea por el oriente el valle del río Atrato por unos 200 km con un ancho máximo de 20 km en los departamentos de Antioquia y Chocó; se prolonga hacia el NW hasta la región de Acandí para seguir hacia Panamá, mientras que termina en el Departamento de Risaralda a la altura de la población de Santa Cecilia, y cubre en territorio colombiano un área de 6.600 km<sup>2</sup>, y es el cuerpo plutónico de mayores dimensiones en la Cordillera Occidental.

Buenas exposiciones se encuentran en las carreteras Bolívar (Antioquia) – Quibdó (Chocó), Santa Cecilia (Risaralda) – Las Ánimas (Chocó); en los ríos Mandé, Murri, Penderisco, Pantanos, Murindó y Chaquenodá y algunos de sus afluentes en el Departamento de Antioquia; en los ríos San Juan, Monburudó, Bebará, Bebaramá, Tigre, Arquía y Acandí en el

3. RESEÑA HISTÓRICA

El mapa geológico de Antioquia (Servicio Geológico Nacional, 1946) muestra en la región noroccidental del Departamento algunos cuerpos de rocas intrusivas post – jurásicas, pero no hay una explicación sobre su composición y características.

Radelli (1967) se refiere a los macizos rocosos de esta misma región como Dioritas Andinas, pero sólo presenta una breve explicación sobre el Macizo de Anchicayá, localizado mucho más al sur, que no tiene relación espacial con el cuerpo considerado. Álvarez (1971b) denomina Batolito de Mandé al conjunto de rocas ígneas intrusivas que conforman este cuerpo y a los pequeños y abundantes stocks relacionados en la zona noroccidental de Antioquia, nombre con el cual se designa hoy y que incluye el denominado Batolito de Acandí (Álvarez & Parra, 1979; Ingeominas – Naciones Unidas, 1982), ya que estos cuerpos presentan características petrográficas, estructurales y edad similares, aunque están separados por extensos depósitos aluviales del río Atrato.



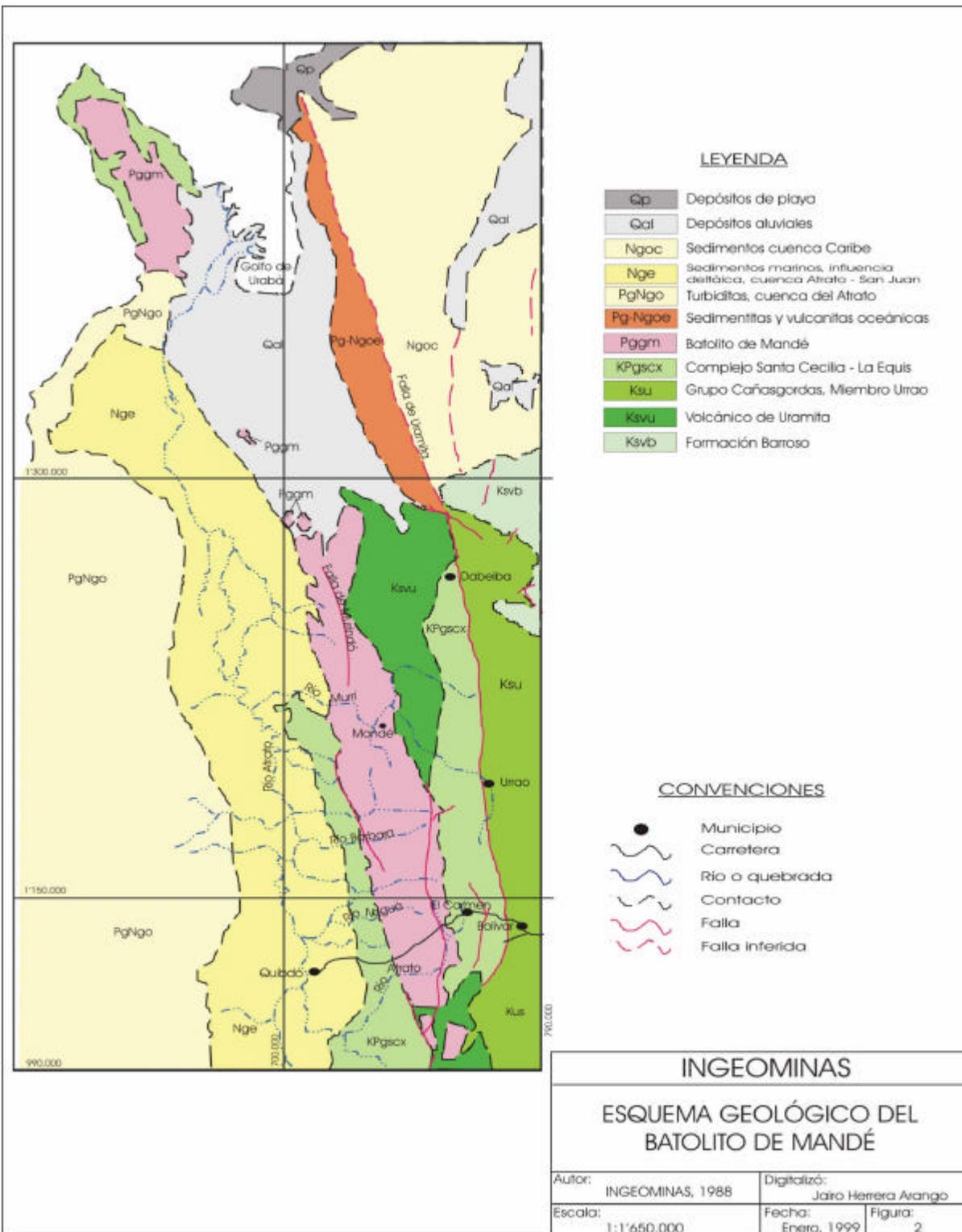
Botero (1975) presenta una edad radiométrica sobre una muestra recolectada en la carretera Bolívar – Quibdó que considera pertenece al Batolito de Mandé (?). Este cuerpo ha sido estudiado con cierto detalle en áreas locales de interés económico donde sirve de roca encajante a pórfidos cupríferos como en Pantanos (Ramírez & Arias, 1974; Ramírez et al., 1979; Álvarez et al., 1983); Murindó (Guarín & Álvarez, 1977), y Acandí (Álvarez & Parra, 1979); dataciones radiométricas llevadas a cabo durante los estudios detallados (Göbel & Stibane, 1979; Sillitoe et al., 1982) han permitido conocer tanto la edad del intrusivo como la de los procesos de alteración hidrotermal asociados al emplazamiento de los pórfidos cupríferos relacionados. Salazar et al. (1991) incluyen en el Complejo Santa Cecilia – La Equis, esencialmente compuesto por rocas volcánicas, flujos lávicos básicos, brechas, aglomerados, tobas con niveles locales de lavas almohadilladas e intercalaciones de sedimentitas, las rocas plutónicas del Batolito de Mandé y sus facies marginales hipoabisales. Álvarez (1983) describe algunas de las características petrográficas y estructurales del batolito y considera que su emplazamiento fue post – tectónico.

Los trabajos de cartografía geológica regional en el sector septentrional de la Cordillera Occidental (Álvarez & González, 1978; Calle & Salinas, 1986; Álvarez et al., 1987; Calle & Salazar, 2002) han permitido delimitar este cuerpo y conocer sus variaciones petrográficas a nivel regional. Los mapas geológicos de Antioquia (INGEOMINAS, 1979; González et al., 1997), Chocó (Cossio, 1994) y Risaralda (González, 1993) permiten determinar su continuidad y extensión, y las relaciones con las rocas encajantes, mientras que las memorias

respectivas (González, 1993; Cossio, 1994; González, 1997) resumen las características petrográficas y establecen modelos para sus génesis. Los mapas geológicos de Colombia (INGEOMINAS, 1976, 1988) indican la extensión regional del plutón y muestran que en grandes áreas al norte está cubierto por depósitos aluviales del río Atrato y que luego continúa hacia el noreste y se prolonga hasta la frontera con Panamá. El término de Batolito de Mandé ha sido de uso común en la literatura geológica del noroccidente colombiano y, de otra parte, no existe una composición litológica predominante lo que hace difícil cumplir con las recomendaciones de la International Subcommission on Stratigraphic Classification, ISSC (1987, 1994), para la nomenclatura de cuerpos ígneos; por lo anterior, se sugiere seguir utilizando el nombre propuesto por Álvarez (1971 a,b), con la extensión geográfica determinada en los trabajos de geología regional de INGEOMINAS.

#### 4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

El Batolito de Mandé es un cuerpo intrusivo de composición litológica variada con su eje mayor de aproximadamente 200 km orientado hacia el NW y una amplitud máxima de 20 km para un área total de 6.600 km<sup>2</sup> (Figura 2). La descripción petrográfica de este cuerpo y su caracterización se basa en los trabajos detallados llevados a cabo en las regiones de Pantanos (Ramírez et al., 1979; Álvarez et al., 1983), Murindó (Guarín & Álvarez, 1977) y Acandí (Álvarez & Parra, 1979), y en los trabajos regionales del occidente de la Cordillera Occidental (Álvarez & González, 1978; Álvarez et al., 1987).



#### 4.1 LITOLOGÍA

Los análisis petrográficos disponibles indican una amplia diversidad litológica que varía en composición y textura entre tonalitas y granodioritas en la facies predominante, a tonalitas y cuarzodioritas porfídicas y a pórfidos cuarzodioríticos con facies más básicas hacia los bordes, debido, probablemente, a diferentes niveles de emplazamiento y a efectos dinámicos. Las figuras 3, 4 y 5 indican la clasificación de muestras del Batolito de Mandé y la composición litológica del mismo.

La roca predominante es fanerítica equigranular de grano medio, color gris moteado de negro por la presencia de ferromagnesianos; hacia los bordes predominan texturas inequigranulares, porfídicas y localmente foliadas por efectos dinámicos y proclásticos. Los minerales esenciales son cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa en proporciones variables (Tabla 1), con hornblenda, biotita y clinopiroxeno como minerales caracterizantes.

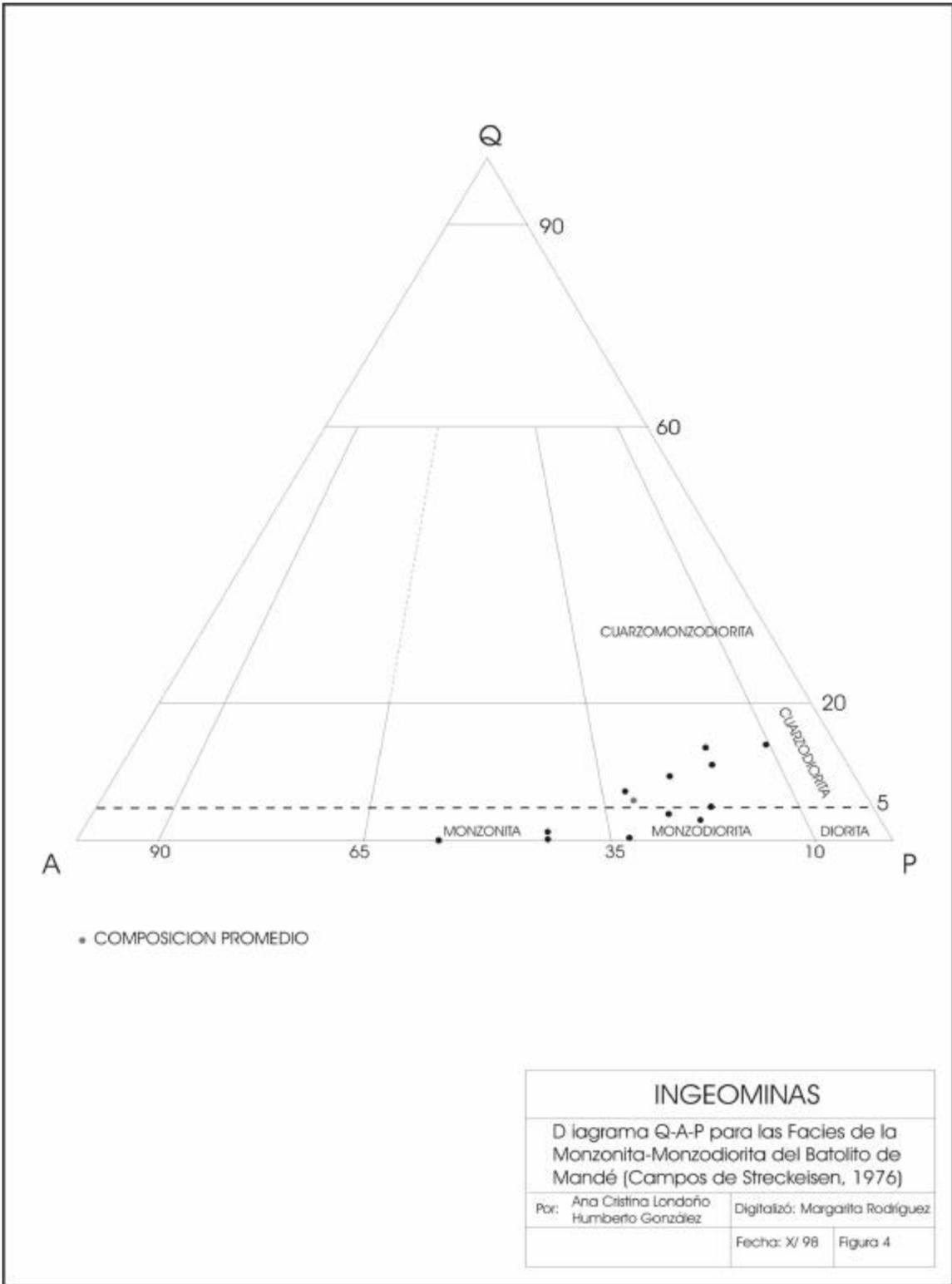
Aunque los mapas geológicos muestran un plutón homogéneo, las variaciones mineralógicas y texturales permiten caracterizar y definir cuatro facies dentro del cuerpo: una de tonalita – cuarzodiorita, o facies normal, una de monzonita – monzodiorita, una de gabro – diorita, o facies básica, y una porfídica de composición tonalítica a cuarzodiorítica.

FACIES TONALITA – CUARZODIORITA. Esta facies está constituida, fundamentalmente, por tonalitas y cuarzodioritas con granodioritas subordinadas (Figura 3); son rocas faneríticas de grano medio equigranulares, de color gris claro

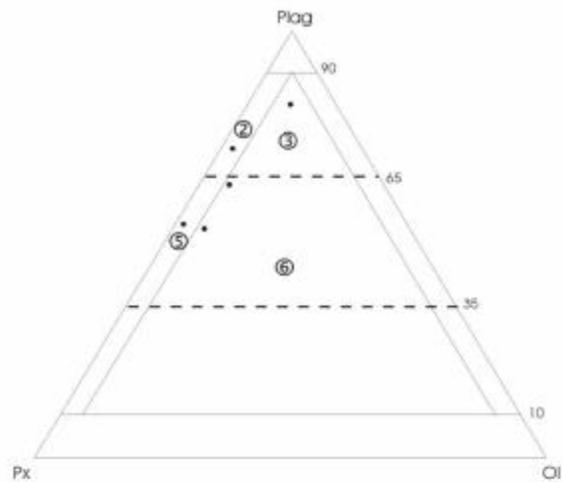
moteado de negro y toma un color verde pálido moteado cuando presenta alteración hidrotermal debido a la presencia de clorita y epidota. Es común la presencia de cristales de hornblenda orientados N-NE que imponen a la roca una alineación primaria notable acentuada por la presencia de autolitos alargados que se disponen paralelamente a esta lineación.

La textura es hipidiomórfica granular afectada, localmente, por efectos cataclásticos; la roca está constituida (Tabla 1) por cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, hornblenda y biotita en proporciones variables y, como accesorios, esfena, magnetita, apatito y circón.

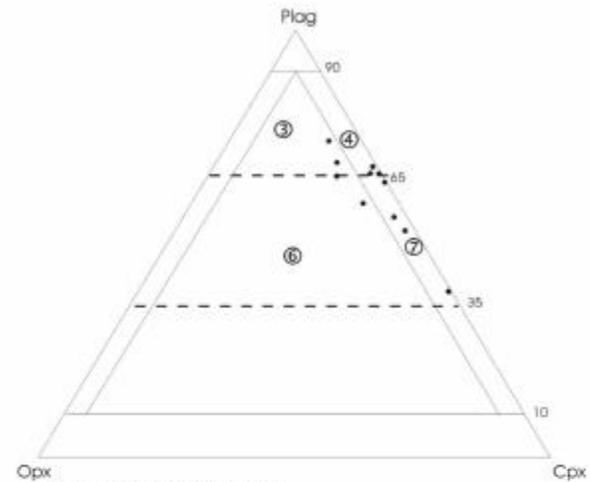
El cuarzo forma agregados policristalinos de granos anhedrales intersticiales entre plagioclasa y, por lo general, con extinción ondulatoria. El feldespato potásico corresponde a ortoclasa; es, por lo general, accesorio y puede faltar en muchas muestras; sólo ocasionalmente es un mineral esencial. La plagioclasa es euédral a subédral, de hábito tabular, bien maclada según ley de albíta y albíta – Carlsbad, de composición  $An_{40} - An_{50}$  en cristales no zonados, mientras que en los zonados varía entre  $An_{45}$  y  $An_{20}$  y se altera a sericita, caolinita y calcita. Hornblenda es el ferromagnesiano predominante, en cristales euédrales a subédrales pleocroicos de X= amarillo verdoso Y= verde pálido Z= verde oliva con alteración de intensidad variable a epidota, clorita y calcita. La biotita se presenta en láminas subédrales a anhedrales pleocroicas de X= amarillo pálido a Y=Z pardo, por lo general en proceso de cloritización con esfena residual acumulada a lo largo de los planos de clivaje.



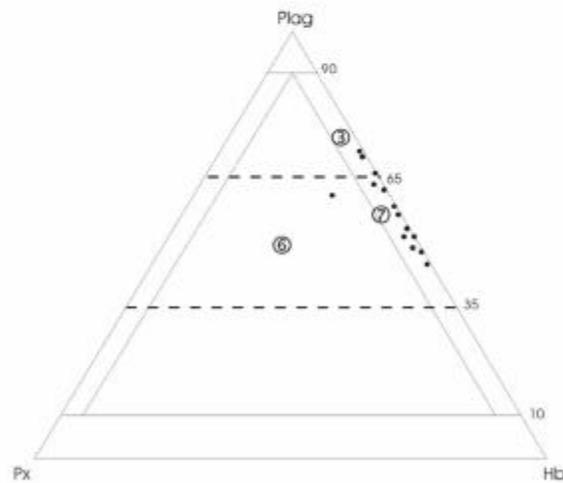
|  |   |                                 |
|--|---|---------------------------------|
| <b>INGEOMINAS</b>  |   |                                 |
| D iagrama Q-A-P para las Facies de la Monzonita-Monzodiorita del Batolito de Mandé (Campos de Streckeisen, 1976) |   |                                 |
| Por:   | Ana Cristina Londoño<br>Humberto González | Digitalizó: Margarita Rodríguez |
|  | Fecha: X/ 98                              | Figura 4                        |



- ② Leuco Gabronorita
- ③ Leuco Gabronorita Olivínica
- ⑤ Gabronorita
- ⑥ Gabronorita Olivínica



- ③ Leuco Gabronorita
- ④ Leuco Troctolita
- ⑥ Gabronorita
- ⑦ Troctolita



- ③ Leuco Gabronorita Pirixénico - Hombléndica
- ⑥ Gabronorita Hombléndica
- ⑦ Gabro Hombléndico

## INGEOMINAS

Diagrama P-Cpx-Opx, P-Px-OI y P-Px-Hb para rocas de La facies gabroide del Batolito de Mandé (Campos de Streckeisen, 1976)

Por: Ana Cristina Londoño  
Humberto González

Digitalizó: Margarita Rodríguez

Fecha: X/ 98

Figura 5

Tabla 1. Análisis modales facies tonalita – cuarzodiorita del Batolito de Mandé.

|                 | 1         | 2     | 3    | 4         | 5     | 6         | 7     | 8         | 9         | 10          |
|-----------------|-----------|-------|------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-----------|-------------|
| Cuarzo          | 6,1-26,9  | 18,15 | 20,6 | 21,5-28,4 | 25,65 | 16,1-26,9 | 20,94 | 0-40      | 12,8-24,6 | 12,95       |
| Feldespato de K | 0-11,6    | 2,66  | 18,2 | 0-3,4     | 0,88  | 0-5,1     | 1,6   | 7-13      | 0-5       | 0,33        |
| Plagioclasa     | 44,9-59,6 | 52,00 | 45,1 | 46,5-66,7 | 55,85 | 44,9-59,6 | 52,9  | 66,1-73,1 | 59,4-76,2 | 66,04       |
| Biotita         | 0-9,3     | 2,61  | 5,7  | 0-4,8     | 1,42  | 0-3,9     | 1,8   | 0-40      | 0-11      | 5,26        |
| Hornblenda      | 0-21,3    | 15,54 | 7,2  | 0-8,8     | 2,87  | 0-21,3    | 13,8  | 4-21      | 0-26      | 9,93        |
| Clinopiroxeno   | 0-14,6    | 2,08  | -    | -         | -     | -         | -     | 0-12      | 0- TR     | TR          |
| Opacos          | 0,7-4,6   | 1,2   | 0,9  | 0,5-2,8   | 1,57  | 0,9-1,6   | 1,28  | 1-3       | 0,1-1,5   | 0,77        |
| Apatito         | TR-0,1    | 0,06  | 0,2  | TR        | TR    | TR- 0,1   | 0,06  | TR        | TR 0,5    | TR          |
| Esfena          | TR -0,3   | 0,11  | TR   | TR        | TR    | 0,1-0,3   | 0,14  | TR        | 0-0,5     | TR          |
| Circón          | 0- TR     | TR    | 0    | 0- TR     | TR    | 0- TR     | TR    | 0         | 0- TR     | TR          |
| Clorita         | TR -9,4   | 4,9   | 0,1  | 0,8-14,1  | 8,73  | 3,7-9,3   | 6,78  | 0-1       | TR 9      | 3,49        |
| Epidota         | 0-1,4     | 0,34  | -    | TR - 9,6  | 2,92  | 0-1,4     | 0,48  | -         | 0-3       | 0,74        |
| An Plagioclasa  | 32-50     | 43    | 42   | 126-40    |       | 32-47     | 41    | 30-40     | 40-48     | 43,26T<br>R |

- 1 Rango de valores (Álvarez & González, 1978).
- 2 Promedio de 7 muestras (Álvarez & González 1978).
- 3 Botero (1975).
- 4 Rango de valores (Ramírez et al., 1979).
- 5 Promedio de 6 muestras (Ramírez et al., 1979).
- 6 Rango de valores (Guarín & Álvarez, 1977).
- 7 Promedio de 5 muestras (Guarín & Álvarez, 1977).
- 8 Rango de valores (Calle & Salinas, 1986).
- 9 Rango de valores, análisis no publicados, Ingeominas.
- 10 Promedio para 5 muestras (Ingeominas).

FACIES MONZONITA – MONZODIORITA. Esta facies litológica se caracteriza y se diferencia de la facies anterior por un aumento en el contenido de feldespato potásico y disminución en el cuarzo que puede llegar a faltar (Tabla 2). Las rocas se clasifican entre monzonitas, cuarzomonzonitas, monzodioritas y, ocasionalmente, monzogabros (Figura 4).

Predominan rocas faneríticas de grano medio a fino, equigranulares, de color gris medio a gris verdoso moteado por ferromagnesianos, con índice de color entre 15 y 30, constituidas esencialmente por plagioclasa, feldespato potásico y clinopiroxeno en proporciones variables y

con hornblenda y biotita como caracterizantes ocasionales. La textura es holocristalina, hipidiomórfica granular afectada localmente por efectos dinámicos o protoclasticos que producen estructuras neísicas. La plagioclasa es euهدral a subهدral en tabletas empolvadas, bien macladas y zonadas; su composición en cristales no zonados varía entre An<sub>28</sub> y An<sub>40</sub>. El feldespato potásico corresponde a ortosa anهدral a subهدral, pertítica y en proceso de transformación a microclina con argilización intensa. El clinopiroxeno es anهدral a subهدral, incoloro a verde pálido algunas veces poiquilitico con

Tabla 2. Análisis modales facies Monzonita – Monzodiorita del Batolito de Mandé

|                  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | prom  |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Cuarzo           | -    | -    | 0,2  | 1,8  | 3,6  | 6,4  | 4,8  | 8,9  | 1,6  | 6,8  | 11,3 | -    | 37,8  |
| Feldespatos de K | 26,7 | 50,0 | 36,4 | 19,3 | 16,4 | 21,8 | 24,3 | 11,1 | 16,4 | 15,6 | 22,4 | 30,3 | 24,22 |
| Plagioclasa      | 54,1 | 40,0 | 48,5 | 49,1 | 54,1 | 49,6 | 45,4 | 47,8 | 50,5 | 48,4 | 60,1 | 40,1 | 49,00 |
| Hornblenda       | -    | 4,0  | 1,1  | -    | 26,4 | 19,4 | 24,4 | 31,1 | 21,3 | 26,4 | 12,7 | 17,1 | 15,32 |
| Biotita          | 7,8  | 2,0  | 5,3  | 3,6  | -    | 3,9  | 4,1  | 1,8  | TR   | 3,6  | 2,3  | 2,1  | 3,04  |
| Clinopiroxeno    | 10,9 | -    | 8,9  | TR   | -    | 0,1  | TR   | -    | 9,4  | TR   | -    | -    | 2,44  |
| Opacos           | 0,3  | 1,0  | 0,6  | 0,8  | 0,6  | 1,1  | 0,7  | 0,8  | 0,3  | 0,7  | 0,1  | 0,8  | 0,65  |
| Esfena           | 0,1  | 1,0  | TR   | 0,1  | 0,1  | 0,1  | TR   | -    | 0,1  | 0,1  | TR   | TR   | 0,13  |
| Apatito          | 0,1  | 0,1  | 0,1  | TR   | TR   | TR   | 0,1  | 0,1  | 0,1  | -    | TR   | TR   | 0,05  |
| An Plagioclasa   | 28   | 40   | 30   | 28   | 31   | 36   | 40   | 38   | 51   | 40   | 44   | 41   | 37    |

1-3 González & Londoño (en preparación).

4-12 Análisis no publicados, Ingeominas.

Tabla 3. Análisis modales facies Gabro – Diorita del Batolito de Mandé.

|                  | 1         | 2       | 3         | 4         |
|------------------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Cuarzo           | 0-5,1     | 0-3     | 0-2,3     | 0-1,69    |
| Feldespatos de K | 0-3,5     | -       | -         | 0-0,3     |
| Plagioclasa      | 51,4-63,9 | 45-62   | 48,4-66,3 | 42,1-64,9 |
| Hornblenda       | 9,3-40,5  | 23-50   | 0,3-10    | 22,6-50   |
| Clinopiroxeno    | 0-4,1     | 0-13    | TR 37,9   | -         |
| Ortopiroxeno     | -         | -       | 0-29,1    | -         |
| Olivino          | -         | -       | 0-8       | -         |
| Opacos           | 0,8-2,9   | 0,2-3,0 | 0,7-2,1   | 0,7-6,5   |
| Accesorios       | 0,1-0,8   | 0,5-3   | TR -1     | TR -1     |
| An Plagioclasa   | 41-50     | 54-60   | 56-68     | 53-61     |

1 Rango de valores para 36 muestras en el área de Pantanos y Acandí (Álvarez et al., 1983; Álvarez & Parra, 1979).

2 Rango de valores para 4 muestras de gabros hornbléndicos (González & Londoño, en preparación).

3 Rango de valores para 22 muestras de gabros piroxénicos (análisis no publicados, Ingeominas).

5 Rango de valores para 9 muestras de gabros hornbléndicos en el área de Murindó (Guarín & Álvarez, 1977).

inclusiones de plagioclasa, por lo general, con bordes de anfíbol fibroso producido por uralitización, su composición corresponde a aegirina–augita. Biotita y hornblenda son caracterizantes

ocasionales; parte de la biotita, al menos, parece haberse formado a partir del clinopiroxeno; como accesorios se encuentran opacos, circón, apatito y cuarzo.

FACIES GABRO – DIORITA. Esta facies de composición más básica que el resto del cuerpo predomina hacia los bordes del mismo, pero como en el caso de las otras facies del batolito, no presenta una distribución uniforme que permita su separación a escala regional. Está constituida por gabros, gabronoritas, gabros hornbléndicos y dioritas y son relativamente más abundantes las rocas dioríticas.

Son rocas macizas, faneríticas de grano fino hasta grueso o pegmatíticos, de color gris medio a oscuro, ligeramente verdosas cuando han sufrido alteración, presentan una amplia variación mineralógica (Tabla 3), y localmente se observa transición desde norita hasta gabros hornbléndicos pegmatíticos. Los gabros presentan texturas idiomórficas a hipidiomórficas granulares y pegmatíticas con plagioclasa cálcica ( $An_{56-72}$ ), euédral de hábito tabular, bien maclada, rara vez zonada, y acompañada de augita. Los gabros noríticos y noritas contienen hipersteno en cristales euédrales fracturados con pleocroismo bien definido, y ocasionalmente olivino ( $Fo_{65-70}$ ), en cristales fracturados anhédrales con inclusiones de espinela y opaco fino a lo largo de los planos de fracturamiento. En los gabros grueso granulares y pegmatíticos, el ferromagnesiano es hornblenda en cristales euédrales a veces poiquilíticos con inclusiones de plagioclasa.

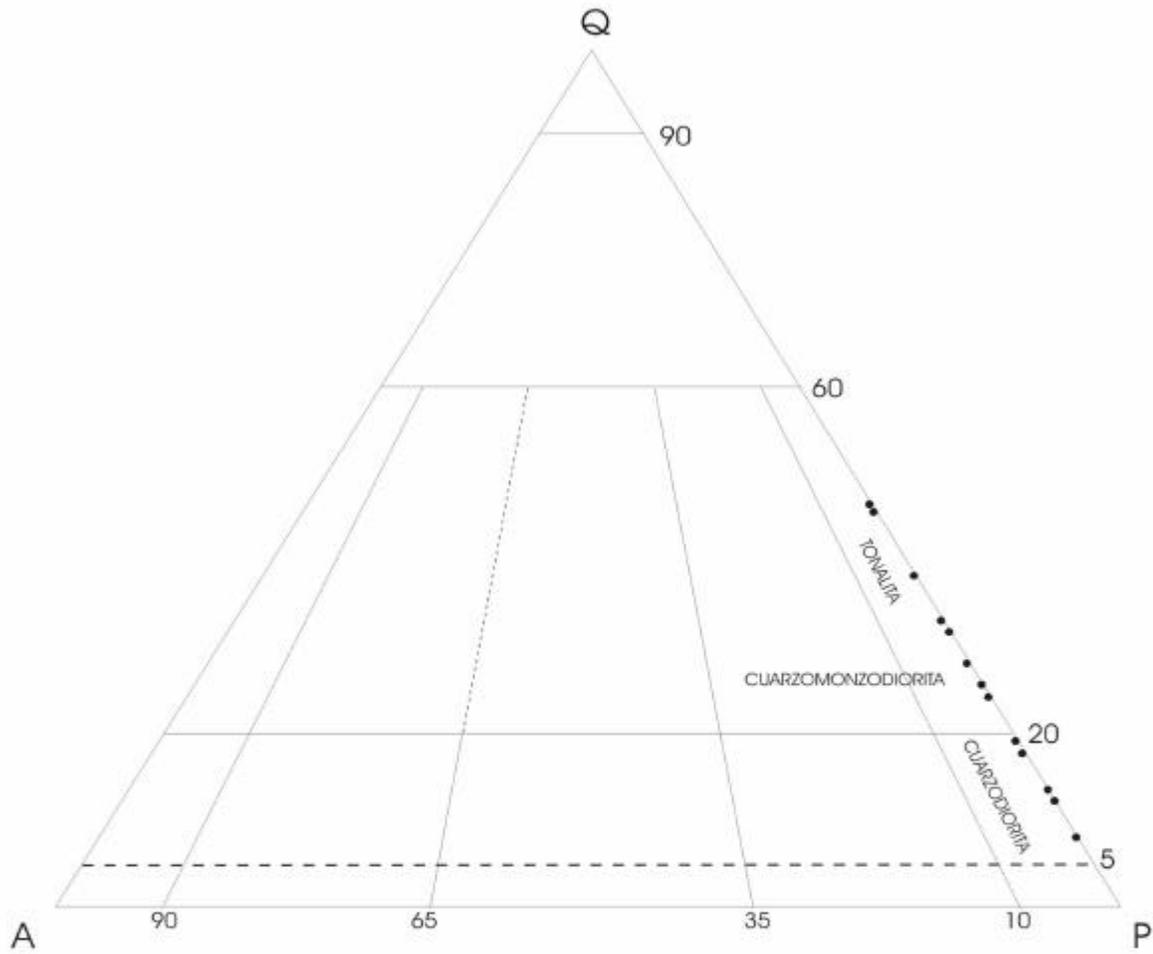
FACIES PORFÍDICA. El Batolito de Mandé, en las áreas de Pantanos (Ramírez et al., 1979), Murindó (Guarín & Álvarez, 1977), Acandí (Álvarez & Parra, 1979) y hacia el sur en el río Comitá (Álvarez et al., 1987) presenta variaciones texturales en la facies tonalítica normal a cuarzodioritas – tonalitas porfídicas y pórfidos tonalíticos y cuarzodioríticos, que encajan

mineralizaciones de Cu – Au y Cu – Mo diseminados; a su vez, en estas mismas regiones, el batolito está intruido por pórfidos andesíticos pobres en sulfuros (Ramírez et al., 1979; Álvarez, 1983; Álvarez et al., 1983).

Aunque la ocurrencia local de estos tipos de rocas es común, su extensión es reducida y no es posible su representación gráfica a escala regional. Sólo se han cartografiado independientemente en las áreas con las mineralizaciones mencionadas anteriormente, donde la escala de los trabajos efectuados ha sido mucho mayor. Las variedades porfídicas de la tonalita y la cuarzodiorita no difieren fundamentalmente de la mineralogía esencial de estas rocas en la facies normal, a no ser por la mayor intensidad de la alteración hidrotermal que presentan y la ocurrencia de sulfuros diseminados que alcanzan hasta un 3% en volumen. En la Tabla 4 se pueden observar algunos análisis modales de roca de esta facies y en la Figura 6 su clasificación petrográfica. Los fenocristales de cuarzo, plagioclasa argilizada o sericitizada y máficos (hornblenda y biotita), cloritizados y epidotizados, se encuentran en una matriz holocristalina fanerítica equigranular fina constituida por cuarzo, plagioclasa caolinizada, pobremente maclada y abundante opaco diseminado.

#### 4.2 PETROQUÍMICA

Los proyectos de exploración efectuados en la Cordillera Occidental han estado enfocados a la proyección geoquímica y por ello, a pesar de existir varios trabajos detallados sobre el Batolito de Mandé (Guarín & Álvarez, 1977; Ramírez et al., 1979; Álvarez & Parra, 1979; Chakrabarty & Durango, 1979), es escasa la información petroquímica disponible (Tabla 5).



## INGEOMINAS

Diagrama Q-A-P para la Facies Porfídica del Batolito de Mandé (Campos de Streckelsen, 1976)

Por: Ana Cristina Londoño  
Humberto González

Digitalizó: Margarita Rodríguez

Fecha: X/ 98      Figura 6

Tabla 4. Análisis modales de la facies porfídica del Batolito de Mandé.

|                     | 1    | 2    | 3     | 4     | 5    | 6    | 7     | 8         | 9     | 10    |
|---------------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-----------|-------|-------|
| Matiz Fenocristales | 35,4 | 57,0 | 43,16 | 61,94 | 36,6 | 32,9 | 44,19 | 35,4-65,4 | 44,55 | 45,6  |
| Cuarzo              | 9,8  | 17,3 | 0,64  | P     | P    | 9,6  | P     | 7,2-29,7  | 15,39 | 13,9  |
| Feldespatos de K    | -    | -    | -     | 1,06  | -    | 1,4  | -     | 0- TR     | 0,35  | 0     |
| Plagioclasa         | 37,3 | 13,1 | 36,79 | 29,03 | 52,5 | 39,8 | 36,19 | 20,3-43,5 | 35    | 37,12 |
| Hornblenda          | 13,1 | -    | 0,24  | -     | -    | 5,95 | 9,25  | -         | 4,07  | 0     |
| Biotita             | 3,4  | -    | -     | -     | 1,6  | 2,7  | 3,7   | 0-2,4     | 1,61  | 0,32  |
| Piroxeno            | -    | -    | -     | -     | -    | 3,5  | -     | -         | 0,5   | 0     |
| Opacos              | 0,8  | 1,8  | 4,98  | 1,53  | 1,1  | 1,0  | 0,75  | 0,3-1     | 1,71  | 0,59  |
| Min, alteración     | 0,2  | 11,5 | 0,19  | -     | -    | TR   | TR    | TR -6,7   | 6,58  | 2,5   |
| Accesorios          | TR   | TR   | 0,29  | 0,14  | 0,4  | 1,0  | 0,75  | TR 0,1    | 0,65  | TR    |

- P: Cuarzo solamente presente en la matriz.  
 1.7: Guarín & Álvarez, 1973. Área de Murindó.  
 8: Rango de valores para 14 muestras. Área de Pantanos (Ramírez et al., 1979).  
 9: Promedio para 7 muestras, Guarín & Álvarez, 1973.  
 10: Promedio para 14 muestras, área de Pantanos (Ramírez et al., 1979).

Tabla 5. Análisis químicos del Batolito de Mandé.

|                                | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | prom  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 60,02 | 58,40 | 49,20 | 50,52 | 58,08 | 57,54 | 55,75 | 50,62 | 54,99 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,39  | 0,73  | 0,63  | 0,58  | 0,49  | 0,22  | 0,23  | 0,42  | 0,46  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,75 | 12,83 | 18,85 | 17,85 | 16,39 | 12,66 | 12,28 | 15,37 | 15,25 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,89  | 2,80  | 1,86  | 11,67 | 3,00  | 3,61  | 5,92  | 5,53  | 4,41  |
| FeO                            | 8,0   | 4,77  | 7,97  | 0,81  | 3,17  | 4,73  | 4,45  | 4,54  | 4,80  |
| MnO                            | 0,15  | 0,97  | 0,30  | 0,18  | 0,12  | 0,13  | 0,15  | 0,13  | 0,26  |
| MgO                            | 2,52  | 2,30  | 5,77  | 4,38  | 3,51  | 9,68  | 10,89 | 9,98  | 6,13  |
| CaO                            | 6,72  | 4,48  | 2,10  | 3,92  | 4,20  | 6,15  | 6,72  | 5,74  | 5,0   |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,43  | 2,91  | 4,72  | 9,75  | 2,99  | 3,64  | 2,70  | ,77   | 3,36  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,22  | 2,45  | 0,19  | 1,35  | 0,64  | 0,71  | 0,35  | 1,52  | 0,93  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,18  | 0,34  | 0,10  | 0,01  | 0,01  | ND    | ND    | ND    | 0,13  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1,16  | 1,46  | 0,43  | 1,10  | 2,28  | 1,70  | 1,43  | 2,89  | 1,56  |

- 1-5: Chakabarty & Durango, 1979.  
 6-8: Álvarez et al., 1987.  
 ND: No determinado.

Los diagramas indicados para Chakrabarty & Durango (1979) muestran una tendencia calcoalcalina y, aunque el número de muestras es bajo y de áreas específicas, predominan rocas altas en

potasio que estaría de acuerdo con la presencia de facies monzoníticas o monzodioríticas subordinada a una facies cuarzodiorítica – diorítica predominante.

Schmidt-Thomé et al. (1989) consideran que desde el punto de vista petroquímico, el Complejo volcánico Santa Cecilia – La Equis y el Batolito de Mandé pertenecen a una secuencia comagmática donde la composición química de las rocas plutónicas indicaría que éstas son el equivalente intrusivo de las rocas extrusivas (Complejo Santa Cecilia – La Equis).

La transición de basaltos toleíticos en algunos casos con tendencia hacia boninitas, en la unidad Santa Cecilia hacia rocas calcoalcalinas en la unidad La Equis y ésta misma tendencia en el Batolito de Mandé coincide con un modelo de un arco magmático generado por una subducción al oeste de la actual Cordillera Occidental (Salazar et al., 1991).

## 5. POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA y EDAD.

El Batolito de Mandé, según el mapa geológico de Colombia (INGEOMINAS, 1988), a lo largo de toda extensión está en contacto con rocas volcánicas básicas del Complejo Santa Cecilia – La Equis y presenta facies marginales que indican efectos de asimilación de las rocas encajantes donde los contactos corresponden a una zona de debilidad tectónica; se observan regionalmente efectos de metamorfismo dinámico, aunque es posible reconocer el contacto intrusivo entre el cuerpo granitoide y las rocas volcánicas que quedan adheridas a él.

Los efectos de asimilación están evidenciados en las zonas de borde por la presencia de abundantes xenolitos esferoidales de rocas finogranulares máficas provenientes de las rocas encajantes y afectadas por metamorfismo térmico. Localmente, las facies de borde

son andesíticas y desarrollan zonas de cornubianitas. Tanto hacia el extremo sur como hacia el norte, el contacto intrusivo con las rocas volcánicas está marcado por la presencia de brechas constituidas por fragmentos angulares de vulcanitas en una matriz félsica de apariencia granitoide. Los efectos térmicos se manifiestan por la presencia de cornubianitas de grano fino, en facies hornblenda a epidota – albita cornubianita.

La aureola de contacto observada en algunas zonas se caracteriza por ser relativamente estrecha y por la rápida transición de una facies de metamorfismo térmico a otra. Estas características indicarían un emplazamiento en niveles superiores de la corteza con un levantamiento y un enfriamiento rápidos, posiblemente a lo largo de zonas de debilidad tectónica que facilitan el ascenso y aceleran la difusión de calor; las zonas de brecha y texturas dinámicas en las facies de borde apoyarían esta interpretación.

Al sur de Pantanos, el contacto está modificado localmente por la Falla Murindó, las rocas están fuertemente cizalladas y cuerpos de rocas ultramáficas y máficas se han emplazado tectónicamente, a veces acompañadas de rocas volcánicas, y constituyen una asociación de afinidad ofiolítica (Guarín & Álvarez, 1977; González, 1997).

El Batolito de Mandé es intruido por pórfidos andesíticos y dacíticos, especialmente hacia el borde occidental del intrusivo, con numerosos diques, y apófisis que cortan las rocas del cuerpo plutónico (Ramírez et al., 1979).

Las edades isotópicas disponibles del Batolito de Mandé, con excepción de la indicada por Botero (1975), corresponden

a los prospectos de pórfidos cupríferos estudiados tanto en Colombia como en Panamá (Sillitoe et al., 1982).

Una muestra de sericita separada de una tonalita en la zona de alteración de Acandí dio una edad K/Ar de  $48,1 \pm 1,0$  Ma, y una hornblenda del pórfido tonalítico de Murindó permite obtener una edad de  $54,7 \pm 1,3$  Ma, mientras que en el área de Pantanos, la edad de  $42,7 \pm 0,9$  Ma se obtuvo en sericita separada de un pórfido dacítico mineralizado. Estas edades mínimas indican un emplazamiento del sistema de pórfidos cupríferos durante el Eoceno temprano – medio. Estas edades son concordantes con las obtenidas en el prospecto de río Pito en la prolongación hacia Panamá del batolito (Sillitoe et al., 1982). Las edades K/Ar de  $43,4 \pm 1,0$  Ma y  $41,9 \pm 1,0$  Ma en hornblendas frescas, de tonalitas ligeramente mineralizadas, son poco más jóvenes que las indicadas por Kesler et al. (1977), en la misma área para los "pórfidos cuarzosos",  $48,4$  Ma en hornblenda y  $49,2$  Ma en plagioclasa. Según Sillitoe et al. (1982), las primeras edades registran la época de mineralización - alteración más que la del emplazamiento de la tonalita.

Las edades K/Ar reportadas de  $47,0 \pm 2,5$  Ma en hornblenda (Göbel & Stibane, 1979), y de  $34$  Ma para un mineral no especificado (Botero, 1975), aparentemente más jóvenes que la edad de  $54,7$  Ma (Sillitoe et al., 1982), pueden corresponder a fases post mineralización del batolito o representar una reestabilización isotópica parcial o total por eventos térmicos posteriores o por episodios tectónicos y que pueden afectar otras áreas del plutón. En este caso, la edad en hornblenda estaría menos afectada debido a su mayor temperatura de cierre isotópico.

## 7 CORRELACIÓN

En la literatura geológica del noroccidente colombiano posterior a 1971 no se han establecido correlaciones litológicas, en edades o por posición estructural, del Batolito de Mandé con otros cuerpos plutónicos en la Cordillera Occidental; por las características petrográficas, ocurrencia de prospectos de pórfidos cupríferos y continuidad geográfica se considera que el cuerpo del río Pito, en Panamá, es la prolongación hacia el noroeste del Batolito de Mandé; además, el Batolito de Acandí, en el sentido empleado por Ingeominas – Naciones Unidas (1982), y por Sillitoe et al. (1982), es la continuación hacia el norte de la masa principal del Batolito de Mandé en territorio colombiano y separado de la masa principal por depósitos aluviales cuaternarios del río Atrato.

## 8. LOCALIDAD TIPO

En el trabajo de Álvarez (1971 a, b), se toma como sitio de referencia para el batolito, la región del caserío de Mandé y el río del mismo nombre donde fueron descritas y analizadas algunas muestras. Aunque no existe allí una sección completa levantada y descrita, puede tomarse como sección tipo para el batolito.

Los afloramientos más accesibles, aunque no los más representativos por el grado de meteorización que presentan las rocas, se encuentran en las carreteras Bolívar – Quibdó y Santa Cecilia – Tadó, especialmente en los cruces con las corrientes de agua donde pueden observarse las características del cuerpo plutónico. Los afloramientos más continuos de rocas frescas representativas de las diferentes facies que constituyen el batolito, se encuentran a lo largo de los

grandes ríos que lo cruzan tanto al norte como al sur, aunque la mayoría de ellos son de difícil acceso por falta de vías de penetración y condiciones climáticas. Entre estos se pueden considerar como secciones de referencia los ríos Murri, Pantanos, Murindó y Chaquenodá, en Antioquia; Comitá, San Juan, Bebará, Bebaramá, Arquía y Acandí, en el Departamento del Chocó.

En las regiones de Pantanos (Ramírez et al., 1979; Álvarez et al., 1983), Murindó (Guarín & Álvarez, 1977), Acandí (Álvarez & Parra, 1979) y Andagueda (Chakrabarty & Durango, 1979), se han efectuado trabajos específicos relacionados con la ocurrencia de prospectos de pórfidos cupríferos dentro de los cuales se han hecho levantamientos detallados de algunas quebradas que sirven de referencia para la descripción de las variedades litológicas y texturales en el batolito y su relación con las mineralizaciones.

## 9. GÉNESIS

Según Álvarez (1983), aunque las relaciones estructurales del batolito no están claramente definidas a lo largo de toda su extensión, en las áreas donde han sido estudiadas en detalle, Pantanos, Murindó, Acandí, río Comitá, indican un emplazamiento post-tectónico con una facies subvolcánica tardía a la cual están relacionadas las mineralizaciones de Cu – Mo y Cu – Au (Guarín & Álvarez, 1977; Sillitoe et al., 1982; Álvarez et al., 1983).

El Batolito de Mandé presenta las características generales de los cuerpos granitoides orogénicos con facies marginales que evidencian efectos de asimilación de las rocas básicas encajantes del Complejo Santa Cecilia – La Equis donde los contactos siguen una zona de debilidad tectónica y se observan

regionalmente efectos dinámicos, pero aún es posible reconocer el contacto intrusivo entre el cuerpo granítico y las rocas volcánicas.

La variedad textural y petrográfica, las facies marginales con evidencias de asimilación, los contactos discordantes con truncamiento de estructuras regionales son características de cuerpos plutónicos emplazados en la epizona en el sentido de Buddington (1959).

La información geoquímica disponible de las diferentes facies del batolito es insuficiente para determinar con precisión el ambiente geodinámico de generación del magma fuente. Esta información se refiere, en gran parte, a la composición de los óxidos mayores y no muestra una distribución regular; además, no se dispone de análisis isotópicos; utilizando los valores disponibles se observa una tendencia calcoalcalina y, en este caso, el magma pudo haber sido generado en una margen activa a partir de cuñas de manto localizadas por encima de placas subducentes. Sin embargo, teniendo en cuenta su relación espacial íntima con las rocas volcánicas básicas del Complejo Santa Cecilia – La Equis existe la posibilidad que el intrusivo tenga una génesis relacionada con la de la corteza oceánica que representan estas rocas y donde el batolito haría parte de los niveles plutónicos de la evolución de la corteza (Schmidt-Thomé et al., 1989; Salazar et al., 1991); en este caso, durante la cristalización se generan diferenciados de composición intermedia a ácida que dan origen a plutones compuestos litológicamente, como el Batolito de Mandé con facies subvolcánicas tardías que autoinuyen la masa principal intrusiva formando un complejo volcánico – intrusivo.

## 10. RECURSOS MINERALES

El Batolito de Mandé hace parte del desarrollo de un cinturón magmático asociado a complejos acrecionarios cuya evolución presenta un ambiente favorable para la formación de yacimientos minerales. A este cuerpo plutónico están asociadas secuencias volcánicas que aumentan las posibilidades tanto de pórfidos cupríferos como de depósitos tipo Kuroko. Los pórfidos cupríferos normalmente ocurren en pequeños stocks e intrusiones subvolcánicas formadas a poca profundidad (Michell & Garson, 1981), y en estrecha relación con vulcanismo calcoalcalino subaéreo (Evans, 1987, en Nivia, 2001).

Asociados al Batolito de Mandé se han estudiado, con cierto detalle, algunos prospectos de pórfidos cupríferos con Mo o Au asociados encontrados a partir de trabajos de prospección geoquímica regional llevados a cabo por Ingeominas (Álvarez, 1971 a, b) que delimitaron anomalías geoquímicas para Cu y metales asociados.

Estos prospectos han sido denominados Pantanos (Ramírez & ARIAS, 1974), Murindó (Guarín & Álvarez, 1977), Acandí (Álvarez & Parra, 1979) y Andágueda (Chakrabarty & Durango, 1979). Posteriormente, los trabajos de prospección geoquímica llevados a cabo en el flanco occidental de la Cordillera Occidental por el personal del Convenio Colombo – Alemán (Álvarez et al., 1987) delimitaron algunas nuevas anomalías que aún no han sido evaluadas.

En la parte del intrusivo, donde se encuentran los prospectos mencionados, predominan tonalitas – cuarzodioritas hornbléndicas con variaciones texturales o rocas porfídicas y pórfidos de igual

composición mineralógica que son las rocas mineralizadas; el cuerpo, a su vez, es intruido por pórfidos andesíticos pobres en sulfuros (Álvarez, 1983; Sillitoe et al., 1982). En los diferentes prospectos las características de alteración – mineralización son muy variables y, por lo tanto, no es posible un modelo único para todo el plutón.

En las zonas de mayor mineralización, tanto la alteración sericítica como la potásica están íntimamente relacionadas a las áreas con calcopirita o bornita y molibdenita; en Murindó, la alteración potásica queda hacia la parte externa de la propilítica, sin que sea notoria la alteración sericítica (Guarín & Álvarez, 1977). En Pantanos, la alteración sericítica predomina en superficie y pasa gradualmente a profundidad a una alteración potásica (Álvarez et al., 1983); en este caso, se tendrían los niveles superiores de un sistema porfídico tal como parece indicarlo la abundancia de brechas hidrotermales.

En contraste, en los prospectos de menor mineralización predomina la alteración propílica tal como sucede en Acandí (Álvarez & Parra, 1979) y Andágueda (Chakrabarty & Durango, 1979). En todos los prospectos, el enriquecimiento supergénico es mínimo, excepto en Murindó, donde una baja relación pirita - calcopirita favorece la oxidación *in situ*. Los efectos supergénicos restringidos se atribuyen a un rápido levantamiento y consecuente erosión inducida por un clima tropical que actúa sobre regiones de fuertes pendientes (Sillitoe et al., 1982).

Los procesos de meteorización y erosión sobre las rocas del batolito han producido la acumulación de material a lo largo de las corrientes que drenan el cuerpo, y generaron, en algunos lugares, depósitos de placer con valores significativos de

oro en la región Murindó, Acandí y, al sur, entre Risaralda y Chocó, que han venido siendo explotados a mediana y pequeña escala, pero sin que se tengan estudios que permitan conocer su verdadero potencial.

Otro recurso potencial en este plutón son las arcillas y materiales para construcción generados a través de los procesos de alteración, meteorización y erosión que han afectado el cuerpo a través del tiempo pero que, teniendo en cuenta la localización y características geográficas de la región, no presentan un recurso económico de interés.

#### 11. AMENAZAS GEOLÓGICAS

Las amenazas de origen geológico que pueden afectar el área donde aflora el Batolito de Mandé dependen no sólo de las características del macizo rocoso, sino de factores externos a este como es el caso de la amenaza sísmica. Las amenazas más importantes, en el primer caso, corresponden a la de movimientos en masa, un fenómeno común en zonas sometidas a intensa meteorización y erosión acentuada por la alta precipitación que caracteriza la zona. Sin embargo, la zona del batolito se caracteriza por una baja densidad de población, menos de un habitante por kilómetro cuadrado, y la carencia total de obras de infraestructura, por lo cual, el riesgo es muy bajo excepto en los cortes de las carreteras.

#### 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, E.; GONZÁLEZ, H. 1978. Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao). Mapa escala 1:100.000. Ingeominas, Informe 1761, 347 p. Medellín.

ÁLVAREZ, E.; PARRA, E. 1979. Evaluación del prospecto de cobre y molibdeno en las cabeceras del río Muerto, Municipio de Acandí; Departamento del Chocó. Ingeominas, Informe 1791, 203 p. Bogotá.

ÁLVAREZ, E.; PARRA, E.; CABALLERO, H.; NUGTEREN, H. 1983. Estudio para la justificación de la prefactibilidad en el prospecto de pórfido cuprífero de Pantanos – Pegadorcito, Departamento de Antioquia Ingeominas, Informe ECOMINAS, 172 p. Medellín.

ÁLVAREZ, J. 1971a. Mapa geológico generalizado y localización del muestreo geoquímico de la Cordillera Occidental Departamentos de Chocó y Antioquia. Ingeominas, ined. Medellín.

ÁLVAREZ, J. 1971b. Informe preliminar sobre geoquímica de la Cordillera Occidental. Ingeominas, Informe interno. Medellín.

ÁLVAREZ, J. 1983. Geología de la Cordillera Central y occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos ganitoides mesocenozoicos. Ingeominas, Bol. Geol., 26 (2): 1-175 p. Bogotá.

BOTERO, G. 1975. Edades radiométricas de algunos plutones colombianos. Rev. Minería, 27(169-179):8336-8342. Medellín.

BUDDINGTON, A. 1959. Granite emplacement with special reference to North America. Geol. Soc. Am. Bull., 70(6): 671-747.

- CALLE, B.; SALAZAR, G. (2002). Geología de la Plancha 185 Bagadó. Ingeominas, Informe interno. Medellín.
- CALLE, B.; SALINAS, R. 1986. Geología y geoquímica de la plancha 165, Carmen de Atrato. Ingeominas, Informe 1987, 140 p. Bogotá.
- CHAKRABARTY, A.; DURANGO, J. 1979. Geology and geochemistry of the Río Andagueda porphyry copper prospect, Chocó, western Colombia. Ingeominas, Informe 1806, 130 p. Bogotá.
- COSSIO, U. 1993. Mapa geológico generalizado del Departamento del Chocó. Escala 1:600.000. Ingeominas. Santa Fe de Bogotá.
- GÖBEL, V.; STIBANE, F. 1979. K/Ar hornblende ages of tonalite plutons, Cordillera Occidental, Colombia. U. Nal., Publ. Esp. Geol., (19):1-2. Medellín.
- GONZALEZ, H. 1993. Mapa geológico del departamento de Risaralda. Escala 1:200.000, Memoria explicativa. INGEOMINAS, Santa Fe de Bogotá.
- GONZÁLEZ, H. 1997. Mapa geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria Explicativa. INGEOMINAS, Informe 2199, 232 p. Santa Fe de Bogotá.
- GONZÁLEZ, H.; COSSIO, U.; MAYA, M.; VÁSQUEZ, E.; HOLGUÍN, M. 1997. Mapa geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. INGEOMINAS. Santa Fe de Bogotá.
- GUARÍN, G.; ÁLVAREZ, E. 1977. Geología y geoquímica del proyecto de cobre porfídico del área de Murindó. Ingeominas, Informe interno. 169 p. Medellín.
- INGEOMINAS, 1976. Mapa geológico de Colombia, Escala 1:1.500.000. Ingeominas. Bogotá.
- INGEOMINAS. 1979. Mapa geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:500.000. Ingeominas. Bogotá.
- INGEOMINAS. 1988. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1.500.000. Ingeominas. Bogotá.
- INGEOMINAS - NACIONES UNIDAS, 1982. Mineralización de cobre – molibdeno en el Municipio de Acandí, Departamento de Chocó Informe interno Naciones Unidas Bogotá.
- INTERNATIONAL SUBCOMMISSION ON STRATIGRAPHIC CLASSIFICATION. 1987. Stratigraphic classification and nomenclature of igneous and metamorphic rock bodies. Geol. Soc. Am. Bull., 99 (3): 440-442. Boulder
- INTERNATIONAL SUBCOMMISSION ON STRATIGRAPHIC CLASSIFICATION. 1994. International Stratigraphic Guide. A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure. Amos Salvador (ed.). 2ª ed. Internat. Union Geol. Sci. Trondheim & Geol. Soc. Am., 214 p. Boulder.
- KESLER, S.; SUTTER, J.; ISIGONIS, M.; JONES, L.; WALKER, R.. 1977. Evolution of porphyry copper mineralization in an oceanic island arc: Panama. Econ. Geol. 72:1142-1153.

- MICHELL, A.; GARSON, M. 1981. Mineral deposits and global tectonics settings. Academic press, 405 p.
- NIVIA, Á. 2001. Mapa geológico del Departamento del Valle del Cauca. Escala 1:250.000. Mapa y memoria explicativa. INGEOMINAS, 148 p. Bogotá.
- RADELLI, L. 1967. Geologie des Andes Colombiennes. Tesis doctorado, Lab. Geol., U. Grenoble. Mem. 6, 457 p. Grenoble.
- RAMÍREZ, O.; ARIAS, A. 1974. Estudio geoquímico en el área de Pantanos – Pegadorcito, Municipios de Frontino y Dabeiba, Antioquia. Informe de progreso. Ingeominas, Informe 1633-54 p. Bogotá.
- RAMÍREZ, O.; ALMINAS, H.; ARIAS, A.; MOSIER, E. 1979. Estudio geoquímico en el área de Pantanos – Pegadorcito, Municipios de Frontino y Dabeiba, Antioquia. Bol. Geol., Ingeominas, 22(2):53–98. Bogotá.
- SALAZAR, G.; JAMES, M.; TISTL, M. 1991. El Complejo Santa Cecilia – La Equis: Evolución y acreción de un arco magmático en el norte de la Cordillera Occidental, Colombia. Simp. magmatismo y su marco tectónico. Mem., 2:142–106. Manizales.
- SCHMIDT-THOMÉ, M.; FELDHAUS, L.; SALZAR, G. 1989. Geology and mineral potential of the Western Cordillera of Colombia, departments of Choco and Antioquia. Natural Research & Developments 32:5665 Tübingen.
- SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL. 1946. Mapa geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:500.000. Bogotá.
- SILLITOE, R.; JARAMILLO, L.; DAMON, P. E.; SHAFIQULLAH, M.; ESCOVAR, R. 1982. Setting, characteristics, and age of the andean porphyry copper belt in Colombia. Econ. Geol., 77: 1837-1850.
- STRECKEISSEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. Earth Science Reviews 12:1-33. Amsterdam.