

**SERPENTINITAS Y EPIDOTA ANFIBOLITAS DE ITUANGO
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA**

Informe 1989

Por:

JAIRO ALVAREZ AGUDELO
Instituto Nacional de Investigaciones
Geológico - Mineras

1984

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	95
1. INTRODUCCION	95
1.1. OBJETIVOS DEL TRABAJO Y LOCALIZACION	96
1.2. METODOS DE LABORATORIO	96
1.3. TRABAJOS ANTERIORES	96
1.4. AGRADECIMIENTOS	96
2. GEOLOGIA	96
2.1. MARCO REGIONAL	96
2.2. MARCO LOCAL	98
3. SERPENTINITAS	98
3.1. PETROGRAFIA	100
3.2. ESTRUCTURA DE LA ULTRAMAFITA	103
4. EPIDOTA-ANFIBOLITAS	103
4.1. EPIDOTA-ANFIBOLITAS METASOMATIZADAS	108
5. CONTACTOS	109
6. GEOQUIMICA	110
6.1. SERPENTINIZACION	110
6.2. EPIDOTA-ANFIBOLITAS	112
6.2.1. EPIDOTA-ANFIBOLITAS METASOMATIZADAS	112
7. ORIGEN Y EMLAZAMIENTO	115
8. BIBLIOGRAFIA	119

FIGURAS

1. Localización del área de estudio	97
2. Morfología del cuerpo de serpentinita al Sur de Ituango	99
3. Serpentinita cizallada. Carretera Ituango-Medellín	99
4. Textura en malla de la serpentinita (22X) Nic +, Nic II.	101
5. Textura en malla. Detalle de serpentina pseudomorfa según olivino (55X) Nic +, Nic II.	102
6. Dunita con textura granular xenoblástica (22X)	104
7. Serpentinita foliada parcialmente meteorizada	104
8. Epidota-anfibolita néisica	106
9. Epidota-anfibolita esquistosa	106
10. Contacto Oeste (camino a la Fonda) de serpentinita-epidota anfibolita néisica-filitas básicas.	110
11. Diagrama Na ₂ O y CaO vs SiO ₂ para las epidota-anfibolitas asociadas a las serpentinitas de Ituango.	116
12. Diagrama álcalis-siice de las epidota-anfibolitas de Ituango	116

	Página
13. Diagrama de variación química AFM de las epidota-anfibolitas asociadas a las serpentinitas de Ituango..	117
14. Variación del contenido de TiO_2 con el índice máfico ($FeO^*/FeO^* + MgO$) en las epidota-anfibolitas (metagabros) de Ituango.	117

TABLAS

1. Análisis y fórmula sobre la base de 23 (0) de los anfíboles de las epidota-anfibolitas tipo 1 y 2 de Ituango.	107
2. Análisis químicos de las serpentinitas de Ituango.	111
3. Promedio y comparación del contenido en algunos elementos trazas de las serpentinitas de Ituango y de roca ultramáfica promedia.	
4. Comparación de la composición química de las serpentinitas de Ituango con dunitas y harzburgitas serpentinizadas de las Montañas Burro.	113
5. Análisis químicos de las epidota-anfibolitas de Ituango.	114
6. Comparación de la composición química promedia de las epidota-anfibolitas con rocas gabroicas intermedias dragadas del Océano Atlántico	115
7. Comparación de la composición química promedia de epidota anfibolitas néisicas típicas con epidota anfibolitas metasomatizadas	118

PLANCHA

1. Mapa geológico de las serpentinitas y epidota-anfibolitas de Ituango, Departamento de Antioquia	entre : 98 - 99
--	-----------------

RESUMEN

Las serpentinitas y epidota-anfibolitas del área de Ituango, forman un cuerpo discontinuo, muy largo y delgado, con rumbo norte-sur y 35 km de longitud, que hace parte de la faja máfica-ultramáfica, tipo alpino, relacionada con la zona tectónica de Romeral. Dicho cuerpo está encajado dentro de una secuencia eugeosinclinal plegada (Grupo Valdivia), con metamorfismo de bajo grado y edad posiblemente Paleozoica y los litotipos que lo conforman tienen contactos tectónicos entre sí y con las metamorfitas encajantes.

La serpentinita, cizallada e internamente fracturada, está constituida por antigorita y/o lizardita y crisotilo. Tiene una razón $MgO/MgO + FeO^*$ entre 0,82 y 0,85 y MgO/SiO_2 entre 0,92 y 1,07 lo cual sugiere que la serpentinitización fue un proceso isoquímico, acompañado solamente por la adición de agua y que el protolito fue principalmente una harzburgita. Las características químicas y mineralógicas relictas insinúan que esta roca fue residuo de fusión parcial en el manto.

Se distinguieron epidota-anfibolitas néisicas y esquistosas que difieren en mineralogía, grado de recristalización y cizalladura; son gradacionales entre sí, predominando el segundo tipo hacia la base del "thrust" ofiolítico. La composición química de estas rocas sigue la tendencia toleítica, es similar a la de los gabros intermedios dragados de la dorsal Atlántica y se sitúa en el campo de las ofiolitas de alto Ti. El protolito fue, quizás, un gabro homogéneo ligeramente rico en magnesio, generado en una dorsal de una cuenca oceánica mayor o en una cuenca marginal.

El cuerpo de Ituango fue emplazado en forma sólida, en el Cretáceo tardío-Terciario temprano, como un fragmento ofiolítico desmembrado, a lo largo de fallas inversas profundas inclinadas hacia el este. Durante el emplazamiento, las rocas fueron recristalizadas y deformadas penetrativamente. El emplazamiento al nivel presente es post-Mioceno temprano y continúa en la actualidad a causa del movimiento activo de las fallas que limitan dichas rocas.

1. INTRODUCCION

En varias fajas orogénicas del mundo se ha observado la íntima asociación de peridotita-gabro, conformando lo que Thayer (1967) llamó complejos tipo alpino, a los cuales les señaló unas características petrológicas y estructurales particulares, además de considerar entre las litounidades una relación consanguínea.

El advenimiento de la teoría de tectónica de placas, suministró nuevas herramientas para explicar el origen y emplazamiento de las asociaciones máficas-ultramáficas, tipo alpino, más acordes con las observaciones de terreno e investigaciones experimentales.

Por otra parte, la definición por la conferencia Penrose (1972) del término ofiolita, el cual era empleado en un sentido muy amplio, y la apreciación de que probablemente las ofiolitas son fragmentos de la litosfera oceánica que han sido obductados en los márgenes continentales (COLEMAN, 1971; DEWEY and BIRD, 1971), ha llevado a estimar a las asociaciones peridotita-gabro, tipo alpino, como ofiolitas incompletas o desmembradas.

En la zona occidental de Colombia y principalmente a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Central, se presenta un cinturón constituido por cuerpos alargados de peridotita y gabro homogéneo o únicamente peridotita, los cuales están íntimamente relacionados con la zona de Falla de Romeral (BARRERO et al, 1969; GONZALEZ, 1974; ALVAREZ, 1979, 1982). Estos cuerpos se encuentran encajados tectónicamente en rocas volcánicas del Cretáceo, entre éstas y metamorfitas eugeoclinales pre-mesozoicas o en estas últimas, (ALVAREZ, 1979).

La asociación máfica-ultramáfica de Ituango forma parte de ese cinturón oriolítico de varios centenares de kilómetros de longitud y está dentro de metamorfitas pre-mesozoicas.

1.1. OBJETIVOS DEL TRABAJO Y LOCALIZACION

Este estudio tiene como propósito describir las características petológicas y la posible historia del cuerpo de epidota-anfibolita y serpentinita de Ituango. Se trata de contribuir en esta forma a la comprensión de los procesos tectónicos que se realizan en la corteza y manto en las márgenes continentales.

El cuerpo está situado en el Departamento de Antioquia, al este de la población de Ituango (Fig. 1), en las Planchas 104-I-D, 104-III-B, D, 115-I-B, D, en escala 1:25.000 del IGAC.

1.2. METODOS DE LABORATORIO

Se efectuaron un total de 44 análisis petrográficos de secciones delgadas, de los cuales 15 corresponden a serpentinita, 26 a epidota-anfibolita y dos a anfibolitas con metasomatismo.

La composición de los olivinos fue obtenida por el químico Antonio Gutiérrez, en el laboratorio del INGEOMINAS en Medellín, empleando un espectrómetro difractor JEOL, modelo 60P2, con goniómetro modelo DX-GOS. También efectuó dos análisis por fluorescencia de rayos-X. En el mismo laboratorio, el químico Alvaro Bedoya R., determinó estroncio, bario, cromo, níquel, vanadio, cobalto y cobre en cuatro muestras de roca, empleado un espectrofotómetro de absorción atómica marca Shimadzu, modelo AA-64-13.

En el laboratorio químico del INGEOMINAS en Bogotá, se realizaron 26 determinaciones cuantitativas en igual número de muestras de roca para elementos mayores, menores y trazas. Estas determinaciones fueron efectuadas por los químicos Ada Yolanda V. de Sánchez y Gabriel Torres. La sílice y el aluminio se hicieron por gravimetría, el hierro y titanio por volumetría, el fósforo por colorimetría y el magnesio por complejometría. Calcio, manganeso, sodio, potasio, estroncio, bario, cromo, níquel, vanadio, cobalto y cobre se determinaron por espectrometría de absorción atómica usando un aparato Perkin Elmer, modelo 306, de lectura digital.

1.3. TRABAJOS ANTERIORES

Hall et al (1972) y Alvarez et al (1970), informaron por primera vez en un trabajo regional de la existencia, al este de Ituango, de un cuerpo de serpentinita y de la presencia de una masa de metagabro al sur de éste. Estos autores no reportaron la prolongación de dichos cuerpos hacia el norte y solo hicieron referencia somera y general de los mismos en los aspectos tanto geológico como petológico.

1.4. AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer al doctor Tomas Feininger los análisis efectuados en anfíboles utilizando la microsonda Kevex, E.D.S. del Servicio Geológico de Canadá (Ottawa).

2. GEOLOGIA

2.1. MARCO REGIONAL

En el sector septentrional de la Cordillera Central, afloran las metamorfitas del Grupo Valdivia (HALL, et al, 1972; ALVAREZ et al, 1970), constituidas principalmente por metapelitas, metabasitas y neises félsicos, de edad posiblemente Paleozoica (HALL et al, 1972), intruidas por rocas granitoides del Cretáceo. Parte de la secuencia es eugeoclinal, está intensamente deformada y su metamorfismo es de bajo grado. El origen de los neises félsicos es una incógnita aún no resuelta. Pequeños remanentes locales de sedimentitas clásticas continentales del Terciario (Oligoceno tardío Mioceno), se presentan con contactos fallados en las metamorfitas. Dentro de esta secuencia, se encuentra la asociación máfica-ultramáfica metamorfizada de Ituango, que forma parte de un cinturón ultramáfico discontinuo (ALVAREZ, 1982), ubicado en el flanco occidental de la Cordillera Central.

Las masas que forman dicho cinturón, están relacionadas con la zona tectónica de Romeral (BARRERO et al. 1969; GONZALEZ, 1974; ALVAREZ, 1979), y algunas de ellas, se encuentran encajadas en rocas metamórficas premesozoicas.

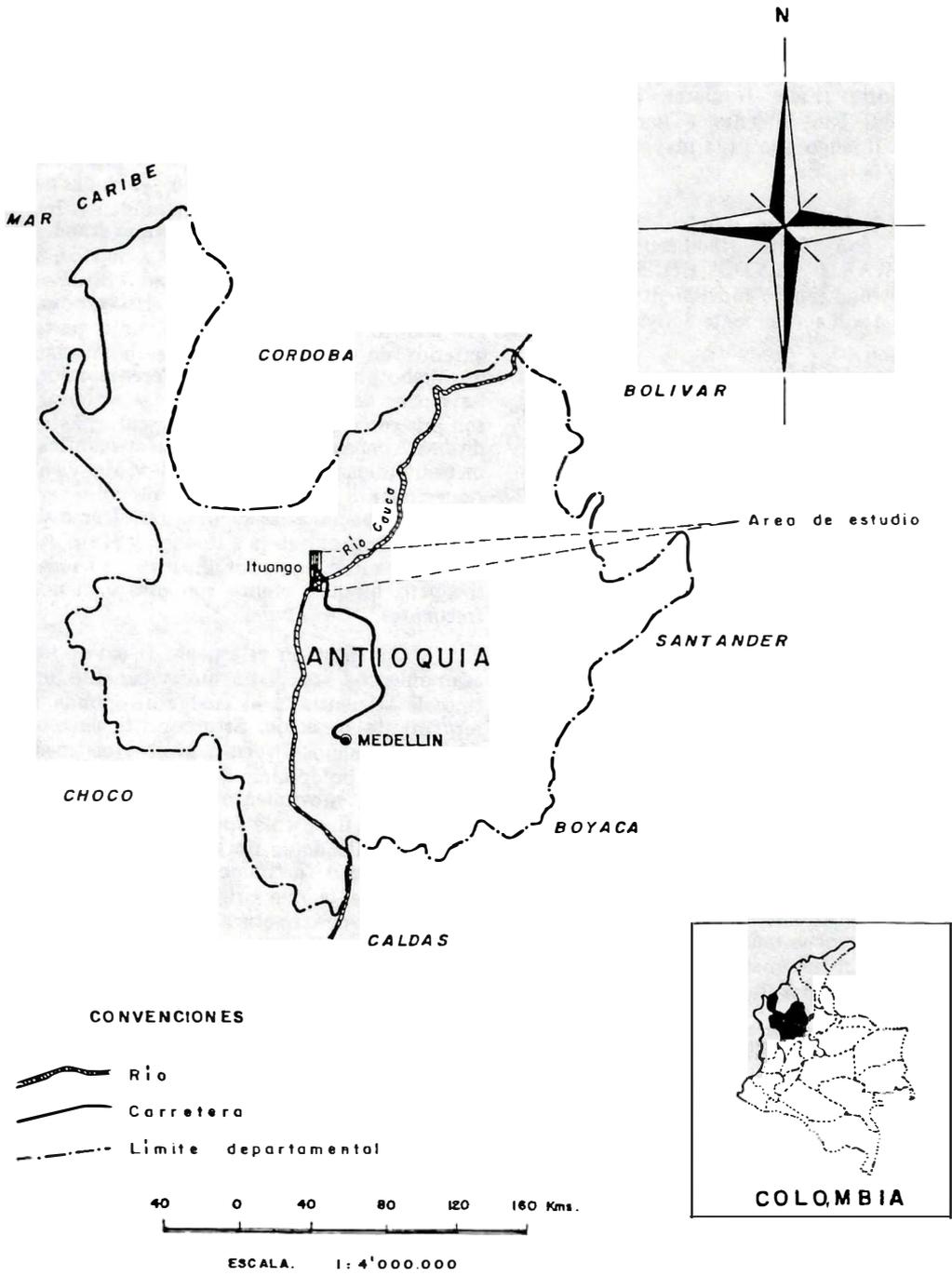


FIG. 1: Localización del área de estudio.

Estructuralmente la región está situada en el llamado bloque Ituango (WOODWARD CLYDE CONSULTANTS, 1980), caracterizada por un complejo conjunto de fallas subparalelas de dirección general Norte (Falla Romeral, Sabanalarga, Contaderal- San Eugenio y Sardinás) y la Falla de Ituango que es la mayor falla transversal de la región.

Las fallas son generalmente del tipo inverso, con fuerte inclinación al este (WOODWARD CLYDE CONSULTANTS, op. cit.); han tenido movimiento en el Cuaternario o son actualmente activas.

2.2. MARCO LOCAL

Las serpentinitas y las epidota-anfibolitas están emplazadas tectónicamente en una secuencia metamórfica de bajo grado, facies esquisto verde, perteneciente al Grupo Valdivia, sin que exista relación con una determinada unidad litológica. Así, al sur del río Ituango, se encuentran predominantemente dentro de filitas básicas, en cambio al norte del mismo, las filitas básicas intercaladas con metapelitas y metasamitas gris oscuras a negras y ricas en materia orgánica, constituyen las rocas encajantes. (Pl. 1).

Cuerpos de neises félsicos se presentan en la secuencia esquistosa, pero sin contacto directo con las ofiolitas.

La esquistosidad de las metamorfitas tiene un rumbo regional norte-sur, con inclinación pronunciada tanto al este como al oeste, y coincide con la estratificación. Asimismo, las rocas máficas y ultramáficas poseen una actitud más o menos concordante con la de las rocas encajantes.

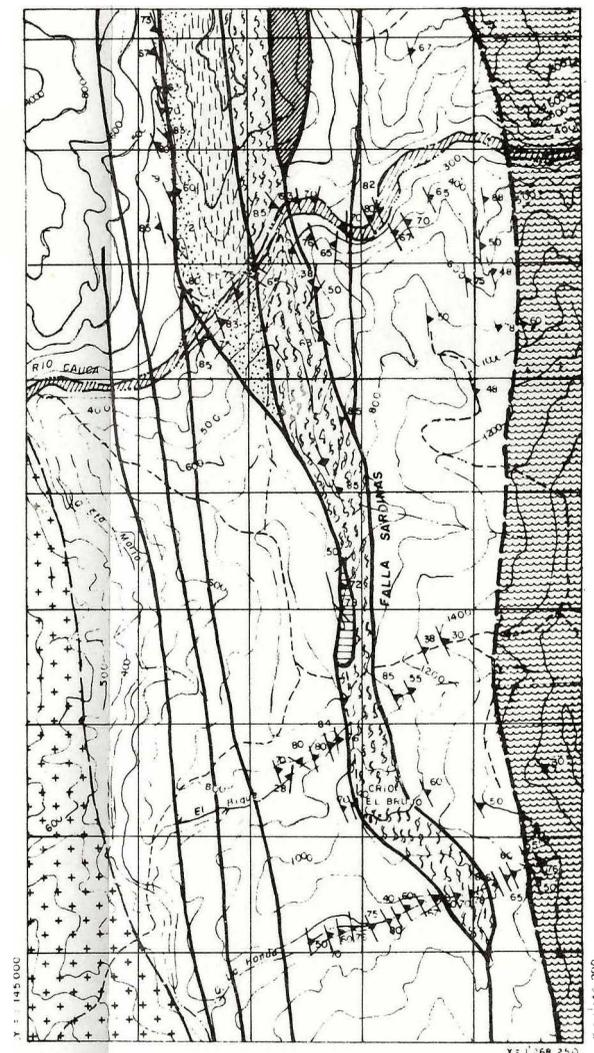
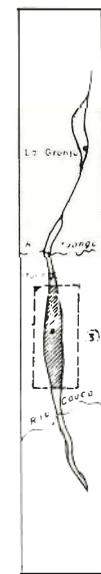
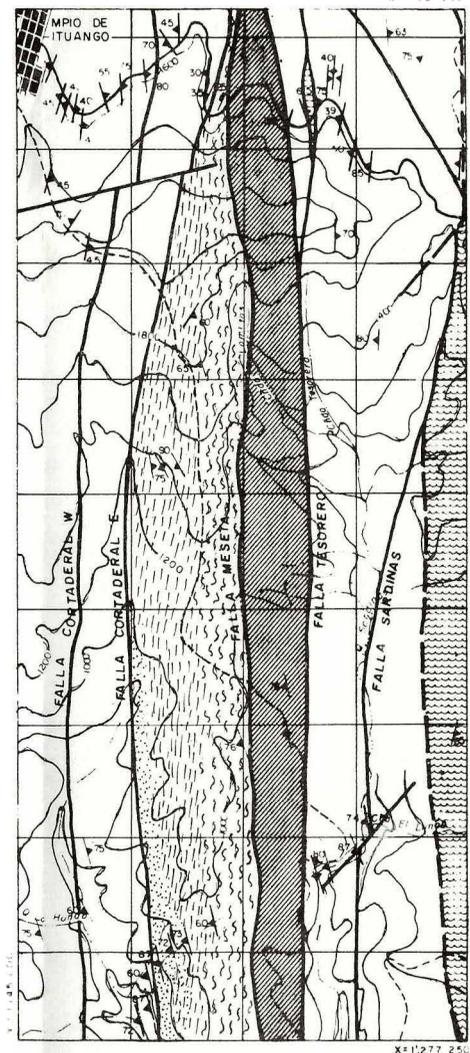
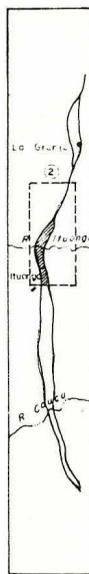
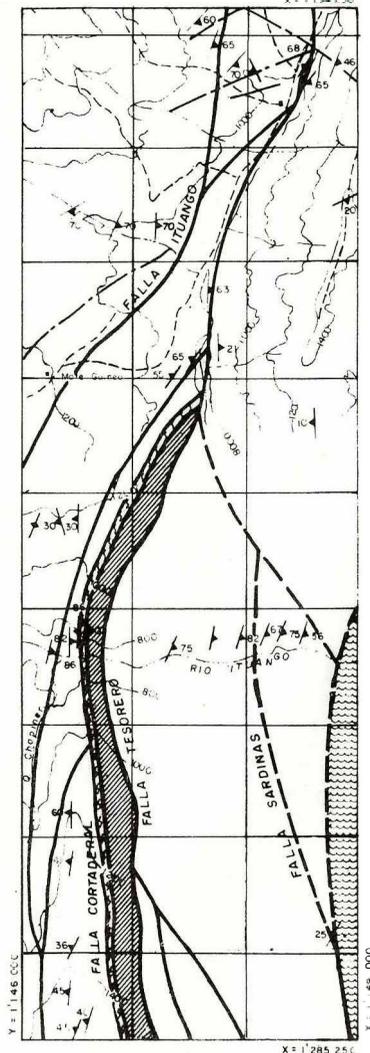
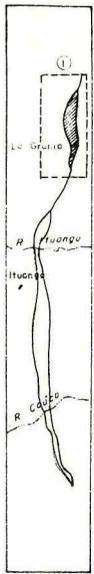
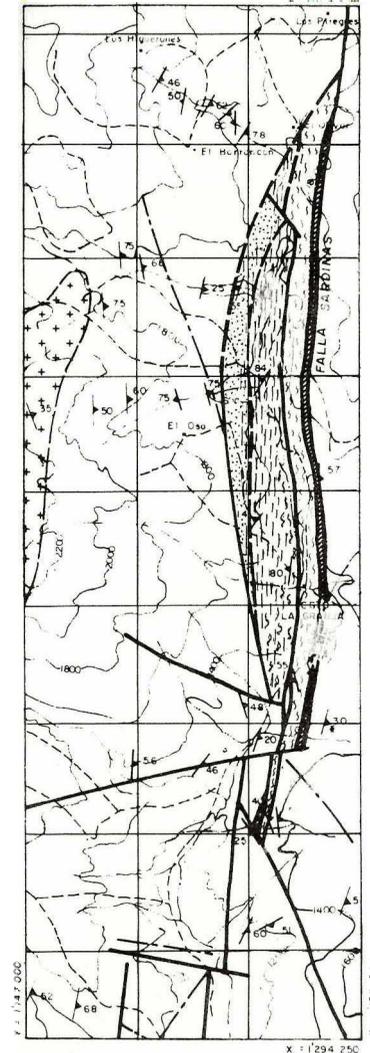
3. SERPENTINITAS

Las serpentinitas forman un cuerpo discontinuo muy largo y delgado de dirección norte-sur. En el sector sur (Ituango), aflora continuamente, tiene una longitud de 15 km y un espesor menor de 600 m. En el sector central, se observa únicamente un pequeño cuerpo alargado de pocos metros de espesor y de más o menos 40 m de longitud, para luego reaparecer al norte (La Granja) en forma de dique con un espesor de unos cuantos metros a 30 m aproximadamente y una longitud mayor de 8 km (Pl. 1).

En el sector sur, se presentan buenas exposiciones de serpentinita fresca, en la carretera que va a la población de Ituango y en los tributarios de la quebrada Sardinás. En este mismo sector, el cuerpo forma colinas redondeadas, y en sus partes topográficamente más altas con morfología relativamente suave, se desarrolló una cubierta laterítica, en general pobre en vegetación, de color rojizo oscuro (Fig. 2). En cambio, en zonas de pendientes pronunciadas, son abundantes los bloques de serpentinita, ya sea como grandes cantos dispersos, de decímetros a metros, o como pequeños guijarros en estados diversos de meteorización, con colores gris verdoso, gris claro o ligeramente marrón. En la parte exterior de algunos bloques se desarrollan por dicho proceso, capas de diferente color, las cuales de la superficie hacia el interior, son gris verdosas, verdes y gris oscuras. Estas diversas capas, analizadas espectrográficamente, indican lixiviación de Fe y Mg, y enriquecimiento en Ni en la capa de color verde con respecto a las demás. En el área situada entre la carretera a Ituango y el río del mismo nombre, los afloramientos son escasos pero bloques sueltos son más o menos frecuentes.

Con base en el aspecto físico de los afloramientos, se distinguió solamente un tipo de serpentinita el cual corresponde a serpentinita cizallada. Esta consiste en bloques de tamaños diversos, de centímetros a decímetros predominantemente, los cuales han tenido movimiento diferencial entre ellos, con la invariable formación de serpentinita recrystalizada de fibra deslizada (Fig. 3). El movimiento tectónico a lo largo de las fracturas, de la que originalmente fue una serpentinita con fractura en bloques, se ha efectuado con diversos grados de intensidad, dando lugar a un leve desarrollo de serpentinita cizallada entre bloques, pero donde el cizallamiento es extremo se forma serpentinita en escama de pescado.

La serpentinita de fibra deslizada y cizallada tiene superficies suaves y brillantes, de colores que forman manchas de varias tonalidades: blanco grisáceo, amarillo verdoso, verde amarillento y verde pálido. Ocasionalmente se ven venas de crisotilo menores de 2 cm de espesor, con deformación y ligero deslizamiento de las mismas. Algunos bloques de decímetros de diámetro, muestran fracturamiento interno sin movimiento diferencial, pero éste es notorio en la superficie exterior de ellos.

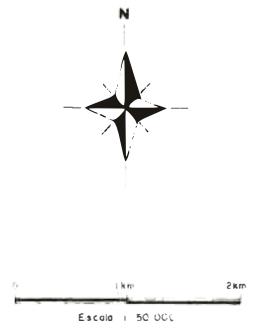


LEYENDA

Terciario		Sedimentitas clásticas continentales
		Serpentino
		Epidoto anfíbolita néisico (tipo 1)
Cretáceo		Epidoto anfíbolita esquistoso (tipo 2)
		Epidoto anfíbolita esquistoso transicional a filita básica
		Granitoides
Pre - cretáceo		Neises félsicos
		Esquistos de bajo grado

CONVENCIONES

CONTACTOS	
	Localización aproximada
FALLAS	
	Localización precisa
	Probable o incierto
	Lineamiento fotogeológico
FOLIACION	
	Inclinada
	Vertical



PLANCHA. — 1 Mopo geológico de las serpentinitos y epidoto anfíbolitas de Ituango, Dpto de Antioquia (Modificado de Alvarez et al., 1970)

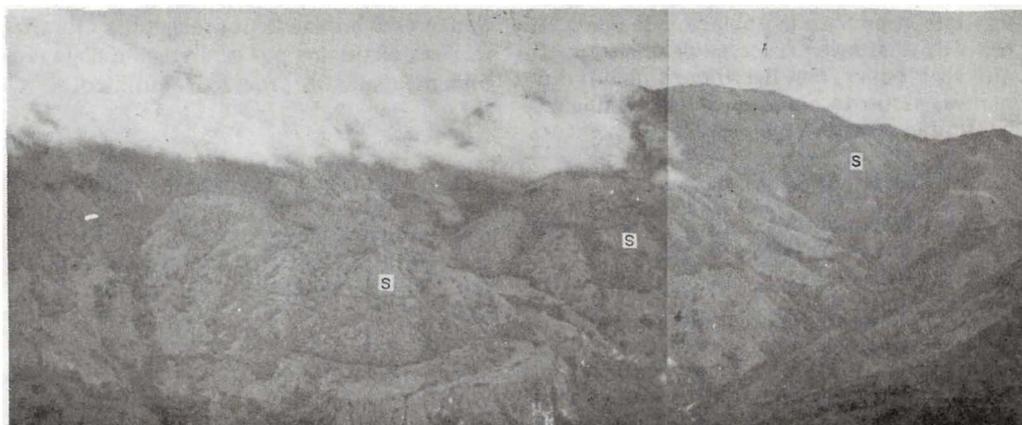


FIG. 2: Morfología del cuerpo de serpentinita(s) al sur de Ituango.

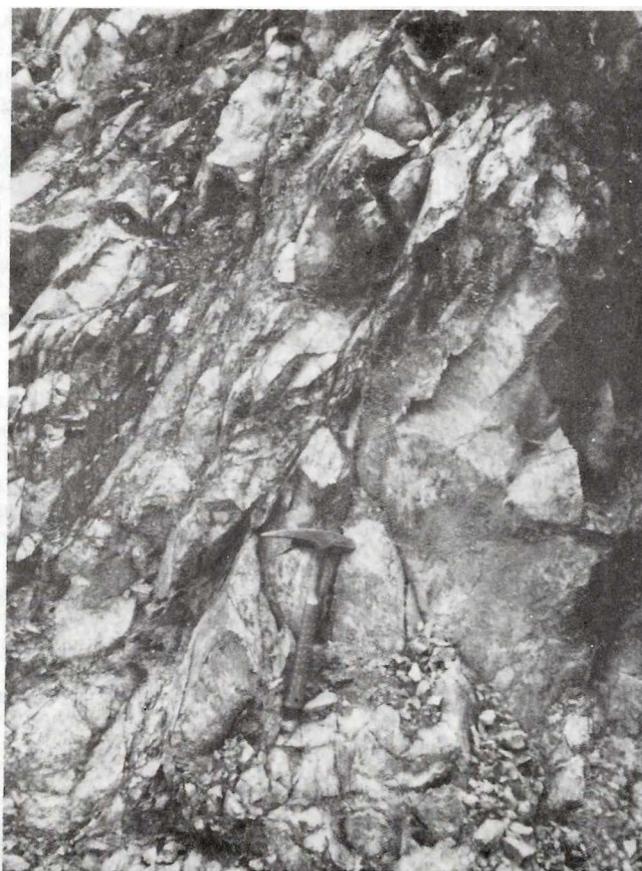


FIG. 3: Serpentinita cizallada. Carretera Ituango-Medellín

En el sector norte (La Granja), se observan buenos afloramientos, sobre la carretera que conduce a la población de Santa Rita. Allí el aspecto físico es de una serpentinita en bloques, con ligero movimiento diferencial, variando a zonas donde es una serpentinita esquistosa o en escama de pescado.

3.1. PETROGRAFIA

Las serpentinitas en su parte interna son de color negro grisáceo, gris oscuro medio y negro verdoso.

El fracturamiento que se observa megascópicamente, también se ve a escala microscópica y es mucho más claro cuando existe mineralogía primaria, no siendo así al aumentar la serpentinitización. El modelo de fracturamiento es triangular y rectangular complementado por abundantes fracturas irregulares.

Algunas de las muestras tomadas en bloques, sin movimiento diferencial interno, han sufrido el proceso de serpentinitización en una forma relativamente estática. En ellas se observa al microscopio, la configuración geométrica de los granos de olivino bordeados por magnetita, conformando una típica textura en malla (Fig. 4). En muestras moderadamente cizalladas, los contornos de antiguos cristales de olivino serpentinizados se encuentran más raramente y sólo en algunas partes. Normalmente existen relictos ocasionales y dispersos de olivino, aunque esporádicamente este mineral constituye más del 90% de la roca.

Los minerales de serpentinita son fibrosos (crisotilo), o laminares (antigorita o lizardita). En algunas partes el crisotilo forma hileras dobles separadas por magnetita o serpentinita laminar fina. Se presenta en los bordes de microfracturas y reemplazando algunos cristales primarios, olivino y piroxeno, siendo su tamaño menor de 1,5 mm. Ocasionalmente forma venas hasta de 6 mm de espesor y en ellas está flexionado por cizalladura. La serpentinita no fibrosa, ocurre en placas, venas y láminas, generalmente menores de 0,4 mm, y en pequeñas escamas. Cuando la serpentinitización es completa se observan los límites de los cristales de olivino definidos por magnetita muy fina. Continuando hacia el interior del antiguo cristal existe algunas veces, una franja de crisotilo y luego cristales de serpentinita no fibrosa, magnetita pulverulenta y en ocasiones carbonato (Fig. 5).

El espinel crómico original se observa generalmente como relictos en serpentinita, donde está bordeado por magnetita cromífera. Esta se origina por la alteración de la cromita mediante un proceso isoquímico.

La magnetita se presenta como polvo fino, forma manchas o algunas veces venillas en compañía de carbonato. Contornea y reemplaza olivino y piroxeno y bordea cromita. Los carbonatos forman venillas irregulares.

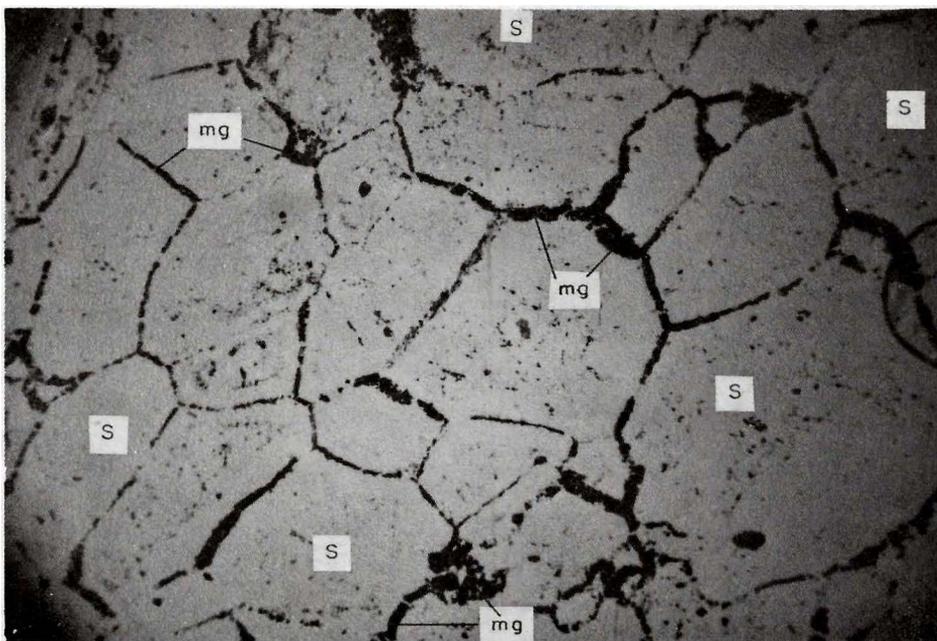
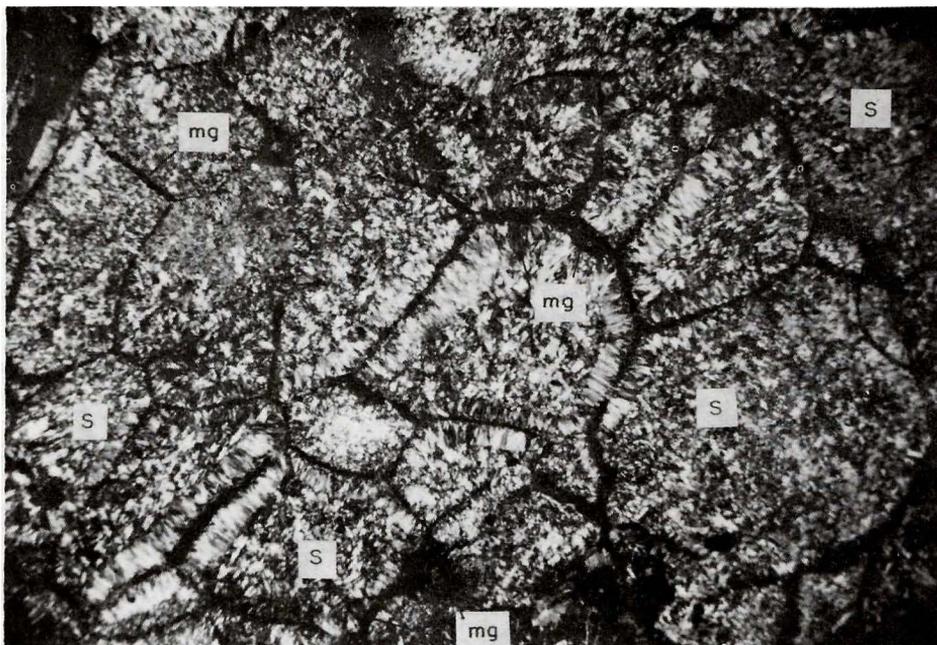
La clorita es incolora a verde pálida, escasa, ocurre como hojas anhedrales y escamas de 0,2 a 1 mm de longitud. Se encuentra dispersa o formando venas irregulares posteriores a las de serpentinita. A veces está asociada con magnetita y/o carbonatos.

En resumen, los principales minerales producto de la serpentinitización son serpentinita fibrosa (crisotilo), y no fibrosa (antigorita o lizardita), además de magnetita.

Protolito. A causa de la fuerte serpentinitización es difícil decir cuál es el protolito de la ultramafita de Ituango. Sin embargo, en una muestra, la mineralogía primaria es de una dunita con aproximadamente 7% de minerales serpentínicos, aunque en otros especímenes podrá corresponder a una harzburgita.

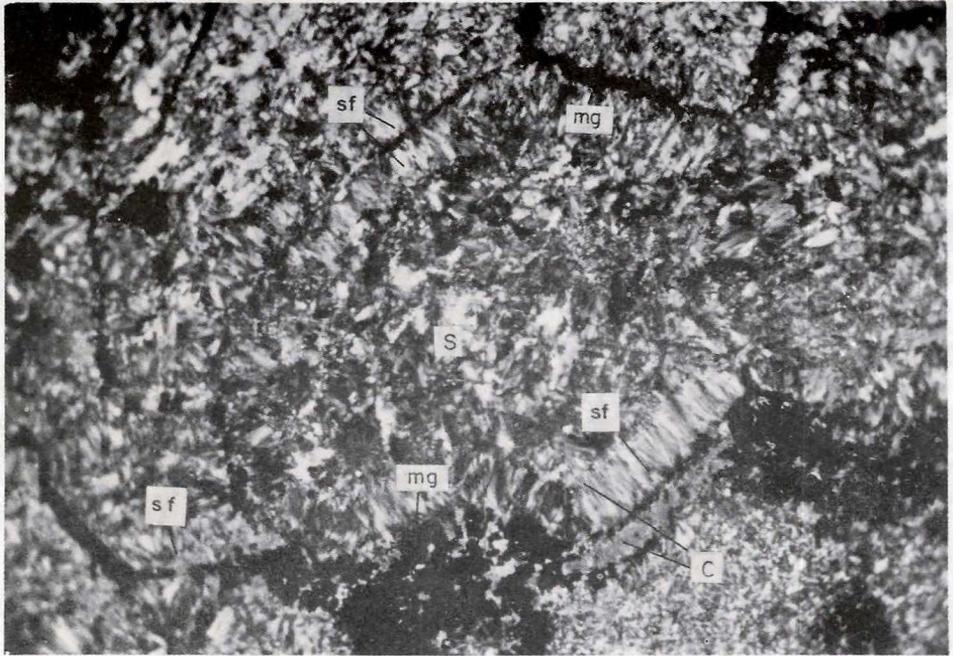
La dunita está compuesta por olivino y espinel crómico. La textura es granular xenoblástica y algunos cristales de olivino tienen bordes que se interfieren unos con otros (Fig. 6). Dichos cristales son equidimensionales y principalmente equigranulares, su tamaño predominante varía de 0,5 a 1 mm, aunque algunos alcanzan hasta 2 mm. En todos los cristales se observa extinción ondulatoria, pero en los de mayor tamaño y fragmentados, dicha extinción es desigual. Microfranjas, con fuerte fracturamiento, atraviesan los minerales ocasionando granulación.

La presencia de "lamaellas de deformación" no es clara, aunque en algunos cristales parecen estar limitadas por fracturas. Es probable que en parte su existencia sea difusa en razón al abundante fracturamiento intragranular. La determinación por DRX de la composición de los olivinos fue posible

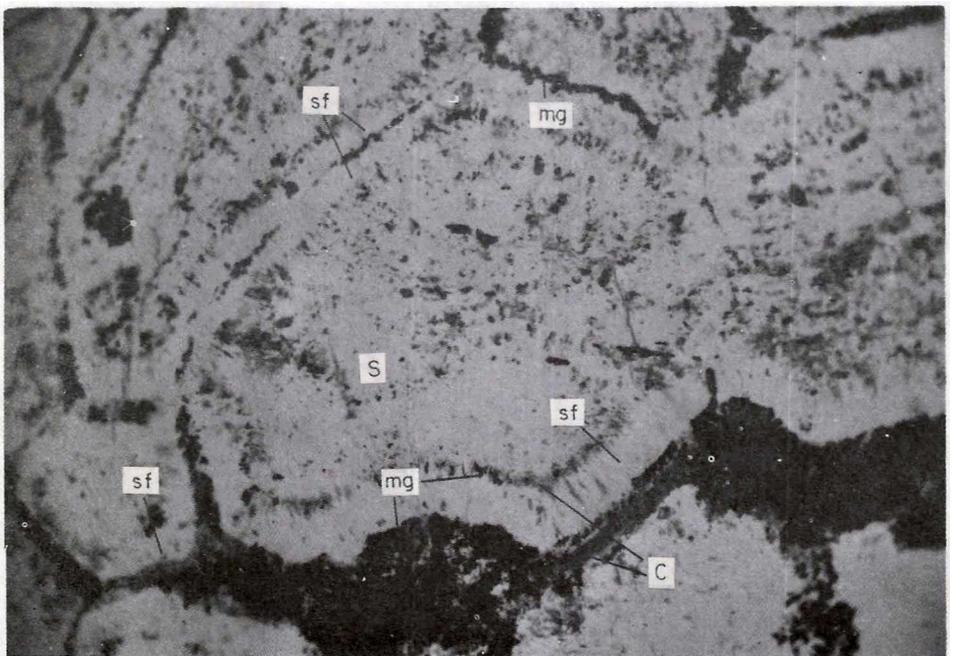


(b)

FIG. 4: Textura en malla de la serpentinita (22X). (a): Nic +; (b): Nic II, s: serpentina, mg: magnetita.



(a)



(b)

FIG. 5: Textura en malla. Detalle de serpentina pseudomorfa según olivino (55X). (a): Nic + (b): Nic II. s: serpentina no fibrosa. sf: serpentina fibrosa. mg: magnetita. c: carbonato.

hacerla únicamente en dos muestras, en las cuales los porcentajes de este mineral son mayores del 5%. Se utilizó el método de Yoder y Sahama (1957), dando por resultado una composición promedio de $Fo_{92} Fa_8$ con un rango del 4% molecular de Fo .

Relictos de cristales de ortopiroxeno se hallan algunas veces. Este mineral se encuentra como granos aislados, menores de 1 mm, transformados parcial o completamente a serpentina (bastita), como también reemplazados por carbonato. Poseen "lamaellas de deformación" (Kink banding) más o menos paralelas, pero la extinción difiere en orientación de unas a otras. Todos los cristales de ortopiroxeno tienen extinción ondulatoria.

El espinel crómico ocurre como granos dispersos anhedrales, subredondeados o esqueléticos de color pardo rojizo. La parte alterada de este mineral es opaca, de color negro y enriquecida en hierro férrico (magnetita). Su tamaño varía comúnmente de 0,3 a 1,5 mm. En ultramafitas intensamente serpentinizadas o serpentinitas se presenta a su alrededor magnetita secundaria y a veces clorita y carbonatos.

Aunque en las ultramafitas de Ituango se conservan su mineralogía primaria algunos rasgos que sugieren deformación en estado sólido, ellos no son tan claros como en las dunitas de Medellín (ALVAREZ, 1982).

3.2. ESTRUCTURA DE LA ULTRAMAFITA

Cuando la roca ultramáfica está poco serpentinizada, como sucede con algunas rocas duníticas, no se observan estructuras planares macroscópica ni microscópicamente. En este último caso, los cristales de olivino podrían tener cierta orientación cristalográfica que no fue definida en este estudio. Sin embargo, cuando la serpentización es avanzada, se observa bandeamiento en mayor o menor grado.

Dicho rasgo planar está representado por bandas, como hojas de papel a milímetros de espesor, en general discontinuas, lenticulares y de diferente color, gris oscuro a gris verdoso, que presentan una diferente resistencia a la meteorización. El aspecto que muestran en la superficie algunos bloques, parcialmente meteorizados, es de una "piel

rugosa" con salientes y acanaladuras discontinuas (Fig. 7), con aspecto similar al de las dunitas foliadas de Medellín (ALVAREZ, 1982).

Microscópicamente las bandas están constituidas por minerales de alteración y minerales primarios. Se observan lentículos y listas discontinuas constituidas por cristales de olivino y ortopiroxeno (?), algunos de ellos en proceso de serpentización o totalmente serpentinizados, pero conservando los contornos originales definidos a veces por opacos y/o carbonatos, además de cromita. Estas bandas están separadas por serpentina junto con manchas y granos de opacos (magnetita), ocasionalmente cromita, además de carbonato. Granos diminutos de opacos y en ocasiones de carbonatos se disponen en forma lineal como si estuvieran controlados por un clivaje muy fino similar al de un clinopiroxeno y conformando manchas hasta de 3,5 mm. Aunque no se sabe con certeza la razón de esa disposición, parece que en el proceso de alteración del olivino, antes de serpentinizarse, se transforma a un anfíbol (?) de color ligeramente pardusco y a veces fibroso, a lo largo de cuyo clivaje se colocan los opacos cuando se serpentinizan. En el proceso de descomposición algunos cristales de olivino adquieren una rara forma de madeja. Placas alargadas o fibras de clorita están asociadas con opacos o carbonatos.

Algunas de las características antes anotadas en el bandeamiento, son parecidas a las reportadas por Alvarez (1982), para las tectonitas dunitas de Medellín y es posible que los rasgos estructurales secundarios sean controlados por la disposición mineralógica primaria. No obstante, no existen suficientes bases para pensar que el cuerpo de Ituango sea similar al de Medellín.

4. EPIDOTA-ANFIBOLITAS

El cuerpo de las epidota-anfibolitas se encuentra al oeste de la serpentinita; aflora paralelamente y tiene contactos tectónicos con ésta y con las metamorfitas paleozoicas que afloran al oeste. En el sector sur (Ituango), posee un ancho menor de 1000 m y una longitud de 21 km; al norte (La Granja), se amplía localmente hasta 500 m, y se extiende por unos 8 km (Pl. 1).



FIG. 6: Dunita con textura granular xenoblástica (22X). ol: olivino. s. serpentinita.

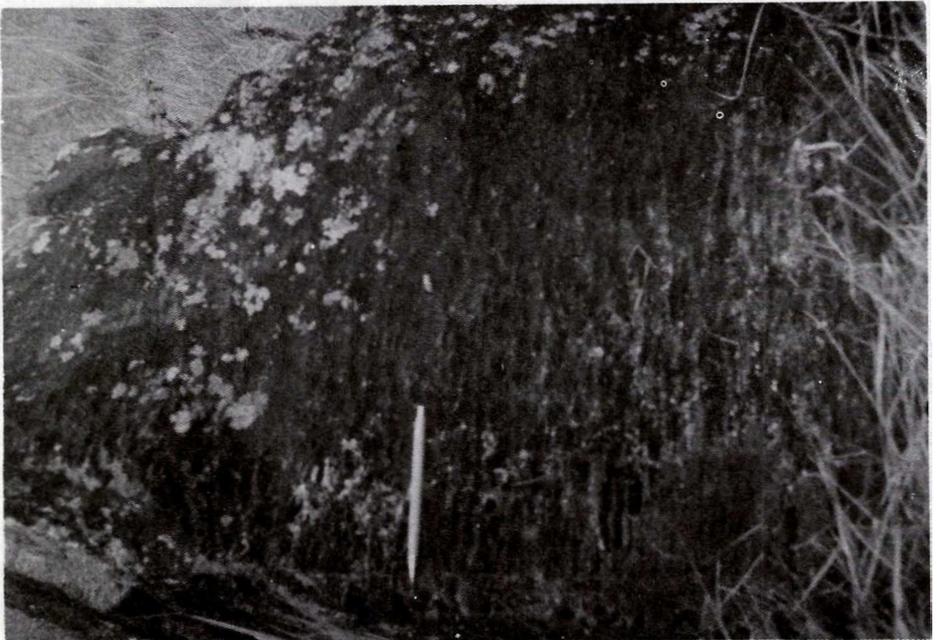


FIG. 7: Serpentinita foliada parcialmente meteorizada.

En general, los afloramientos son regulares. Los mejores se encuentran en los tributarios de las quebradas Sardinas y Lomitas situadas al sur de la carretera a Ituango y en los cortes de la vía que conduce del caserío de La Granja a Santa Rita.

Las epidota-anfibolitas están afectadas por cizalladura y metamorfismo dinámico en mayor o menor grado. Se distinguieron dos tipos de epidota-anfibolita, que cambian gradualmente uno a otro, relacionados posiblemente con un metamorfismo dinámico progresivo, expresado por cambios mineralógicos y texturales a partir del contacto oeste con la serpentinita.

Tipo 1. Epidota-anfibolita néisica (Fig. 8). Aflora al oeste de la serpentinita y en algunos sitios es la única variedad existente. Predominantemente tiene grano medio a grueso y apariencia gabroica con cruda orientación mineralógica dimensional. Localmente se encuentran segregaciones monomineralicas de grano grueso y color verde oscuro, de hornblenda-anfibolita como también anfibolitas normales que gradan a rocas de grano fino a medio. No se observa bandeamiento composicional típico, aunque se presentan bandas discontinuas de centímetros a decímetros. La cizalladura es especialmente notable al sur del río Cauca, y en rocas adyacentes a la serpentinita se desarrollan protomilonitas, milonitas y filonitas.

La textura primaria del protolito gabroico de la epidota-anfibolita fue borrado completamente por los procesos de recristalización metamórfica, aunque en el tipo 1, dicho proceso está en una etapa menos avanzada que en el tipo 2. En efecto, como se verá más adelante, existen diferencias en cuanto a la composición de los anfíboles y en el grado de recristalización de plagioclasa y epidota.

Tipo 2. Epidota-anfibolita esquistosa (Fig. 9). Es de color verde oscuro, con capitas menores de 1 mm compuestas por minerales claros y oscuros, los cuales definen a veces bandeamiento composicional, con listas discontinuas o lenticulares de diferente composición, que ocasionalmente tienen capas de plagioclasa hasta de 2 cm de espesor. Hacia el oeste, cuando se aproxima a la secuencia metamórfica pre-mesozoica de bajo

grado, la esquistosidad es muy fina, el tamaño de grano disminuye, las segregaciones de plagioclasa y cuarzo, lenticulares y alargadas hasta de 5 cm de espesor aumentan y son concordantes con la foliación, aunque algunas más delgadas son discordantes. La apariencia de la roca paulatinamente se vuelve igual a la de una filita básica, facies esquistoso verde, perteneciente a la secuencia antes dicha.

Las asociaciones mineralógicas observadas son las siguientes:

- Hornblenda - epidota - albita - cuarzo - clorita - esfena.
- Hornblenda - actinolita - epidota - andesina - albita - clorita - mica blanca - cuarzo - esfena .
- Hornblenda - epidota - albita - clorita - carbonato - mica blanca - esfena - opacos.
- Hornblenda - epidota - clorita - albita - actinolita - mica blanca - hematita - esfena.
- Hornblenda - epidota - albita - cuarzo - clorita - esfena

La hornblenda es pleocroica y se presenta en cristales prismáticos gruesos, rómbicos o pseudo hexagonales, idioblástica a subidioblástica y con clara extinción ondulatoria. En la epidota-anfibolita del tipo 1, tiene comúnmente un tamaño menor de 5 mm, aunque a veces alcanza 1 cm y su color Z axial es amarillento a verde amarillento. Es magnesia-na, más pobre en Fe y más rica en Ti que las anfibolitas del tipo 2 (Tab. 1).

El mayor contenido en Ti se debe posiblemente a condiciones diferentes en temperatura (RAASE, 1974), siendo probable que las del tipo 1 recristalizaran a mayor profundidad y quizá a más alta temperatura que las rocas esquistosas más tardías del tipo 2.

En las partes marginales del anfíbol, por recristalización y reacción, se ha formado clorita verde muy pálida, en plaquitas entrelazadas y sin orientación preferencial, menores de 0,16 mm, o se presenta como láminas delgadas que siguen el clivaje. Acompa-

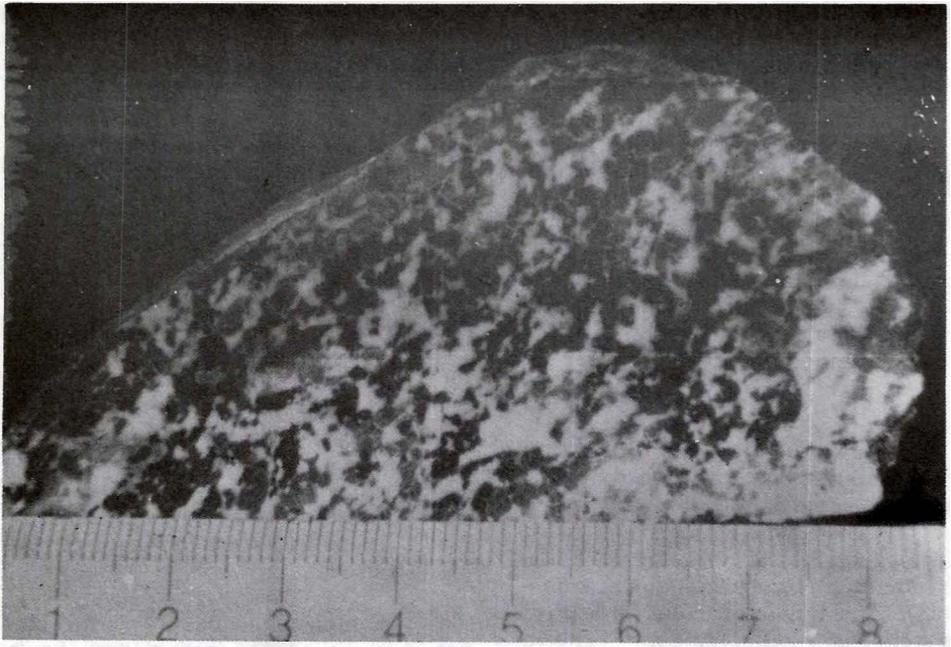


FIG. 8: Epidota-anfibolita néisica.

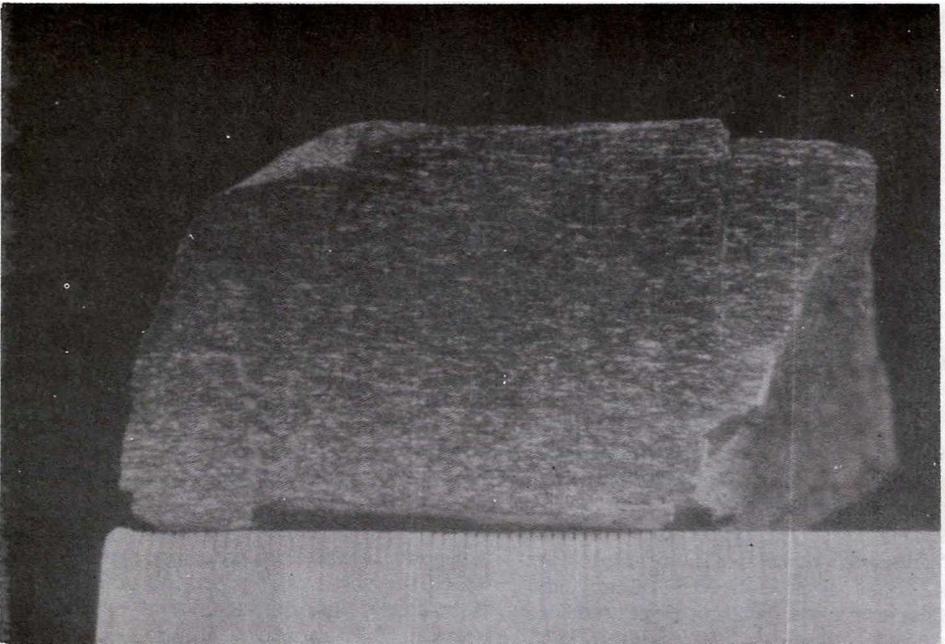


FIG. 9: Epidota-anfibolita esquistosa.

TAB. 1: Análisis y fórmula sobre la base de 23(O) de los anfíboles de las epidota-anfibolitas tipo 1 y 2 de Ituango.

Peso %	Tipo 1					Tipo 2					Tipo 2						
	Secc. Anfb.		IGM-174274		(JAA-1265	Secc. Anfb.		IGM-174275		(JAA-1271A)	Secc. Anfb.		IGM-174975		(JAA-1804)		
	1	2	3	4	5 Prom.	1	2	3	4	5 Prom.	1	2	3	4	5 Prom.		
SiO ₂	48,11	47,54	47,82	49,19	48,06	48,14	46,43	45,47	46,15	46,91	46,20	45,91	46,14	45,77	45,59	45,60	45,80
TiO ₂	0,59	0,75	0,70	0,61	0,66	0,66	0,58	0,46	0,51	0,47	0,45	0,49	0,46	0,36	0,37	0,42	0,42
Al ₂ O ₃	10,36	9,30	9,38	8,09	9,79	9,38	11,32	11,73	11,27	10,77	10,89	11,20	12,33	12,72	11,60	12,78	12,06
Cr ₂ O ₃	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,10	0,16	0,20	0,11	0,04	0,01	0,10	0,14	0,13	0,09	0,06	0,04
FeO	10,86	11,26	11,29	10,99	11,13	11,28	13,52	12,88	13,31	12,55	13,14	13,08	12,43	13,00	12,07	12,28	12,53
MnO	0,15	0,19	0,08	0,21	0,21	0,17	0,33	0,24	0,32	0,27	0,23	0,28	0,22	0,26	0,24	0,17	0,29
MgO	14,95	14,81	15,10	15,91	14,98	15,15	13,32	13,08	13,41	13,14	13,23	13,24	12,90	12,56	13,31	12,78	13,14
CaO	11,97	12,39	12,28	12,52	12,19	12,27	12,27	11,83	12,35	12,16	12,15	12,15	12,16	12,88	12,79	11,80	11,89
Na ₂ O	1,62	1,39	1,63	1,27	2,09	1,60	1,49	1,83	1,88	1,46	1,48	1,63	2,54	2,73	2,41	2,66	2,30
K ₂ O	0,27	0,06	0,04	0,09	0,12	0,12	0,08	0,10	0,07	0,12	0,08	0,09	0,06	0,07	0,10	0,05	0,07
Totales	98,97	97,78	98,41	99,29	99,21	98,72	99,50	97,82	99,39	97,89	97,68	98,46	99,18	99,95	98,74	98,54	98,74

Número de Iones sobre la base de:

Si	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)	23(0)
Ti	6,848	6,873	6,867	6,993	6,848	6,886	6,673	6,637	6,650	6,809	6,724	6,699	6,605	6,597	6,668	6,590	6,616
Al	0,063	0,082	0,076	0,066	0,070	0,071	0,062	0,050	0,055	0,051	0,049	0,054	0,053	0,050	0,040	0,041	0,046
Cr	0,010	0,012	0,011	0,012	0,014	0,012	0,018	0,023	0,012	0,004	0,001	0,012	0,016	0,015	0,010	0,007	0,005
Fe	1,293	1,360	1,354	1,343	1,310	1,332	1,625	1,572	1,604	1,523	1,606	1,586	1,496	1,555	1,471	1,484	1,521
Mn	0,018	0,024	0,010	0,025	0,025	0,020	0,041	0,030	0,040	0,034	0,029	0,34	0,027	0,031	0,030	0,021	0,036
Mg	3,172	3,192	3,232	3,372	3,183	3,230	2,853	2,845	2,880	2,844	2,883	2,861	2,766	2,677	2,891	2,753	2,786
Ca	1,825	1,920	1,889	1,907	1,861	1,880	1,890	1,850	1,907	1,891	1,902	1,888	1,874	1,820	1,840	1,828	1,841
Na	0,447	0,359	0,453	0,351	0,578	0,444	0,414	0,519	0,524	0,410	0,419	0,458	0,708	0,757	0,680	0,745	0,708
K	0,050	0,012	0,007	0,017	0,022	0,021	0,015	0,018	0,015	0,022	0,015	0,017	0,011	0,012	0,018	0,009	0,012
Totales	15,464	15,348	15,486	15,441	15,555	15,473	15,509	15,561	15,602	15,431	15,504	15,522	15,648	15,658	15,640	15,655	15,630

Proporciones

Fe	20,55	20,02	20,91	20,27	20,61	20,67	25,53	25,08	25,10	24,34	15,13	25,04	24,37	25,69	23,71	24,47	24,51
Mg	50,43	49,32	49,91	50,93	50,10	50,14	44,80	45,40	45,07	45,44	45,11	45,16	45,08	44,23	46,62	45,39	45,81
Ca	29,02	29,96	29,18	28,80	29,29	29,19	29,67	29,52	29,83	30,22	29,76	29,80	30,54	30,08	29,67	30,14	29,68
Razón																	
FM	0,29	0,30	0,30	0,28	0,29	0,29	0,36	0,35	0,36	0,35	0,36	0,35	0,35	0,37	0,33	0,35	0,35

Tipo de Anfíbol: Hornblenda magnesiana

Tipo de Anfíbol: Hornblenda magnesiana

Tipo de Anfíbol: Hornblenda edenítica.

ñando la clorita existen granos diminutos de epidota y esfena. Algunas veces con la clorita se ven cristales aciculares incoloros a verde muy pálido, pobres en Fe, de tremolita-actinolita, menores de 0,3 mm, formando un borde marginal de reacción. Ocasionales manchas de carbonato existen en la hornblenda. Es común que los contactos de este mineral con epidota, albita y cuarzo, provenientes de plagioclasa, tengan forma irregular o aserrada sugiriendo reacción.

En la epidota-anfibolita del tipo 2, la hornblenda es generalmente menor de 0,5 mm y el color *Z* axial es verdoso. Su composición es edenítica y más rica en Fe y pobre en Ti que la de las anfibolitas tipo 1 (Tab. 1). Este hecho se debe posiblemente a que la esfena y epidota, más abundantes en el tipo 2, restringen la entrada del Ca en los anfíboles permitiendo el ingreso de Na disponible. Asimismo, estos tienen menos TiO_2 a causa de que las anfibolitas tipo 2 poseen mayor cantidad de otras fases de Ti como la esfena, que reduce el contenido de este óxido en los anfíboles. También, la hornblenda es más pobre en SiO_2 y más rica en Al, porque en las anfibolitas esquistosas la actividad de la sílice es mayor fomando cuarzo de segregación y plagioclasa sódica, lo que conduce a variaciones inversas en el anfíbol.

La hornblenda se encuentra recristalizada a clorita a lo largo del clivaje, y con ésta, tienen contactos penetrativos y fluctuantes, pero este mineral comúnmente se presenta en hojas bien formadas alternando con los demás, aunque es mucho más escaso.

Tres análisis de anfíbol hechos con microsonda, dieron los resultados que se observan en la Tabla 1.

La plagioclasa, menor de 0,5 mm, se encuentra recristalizada en grados variables. En la epidota-anfibolita del tipo 1, es característicamente sausrítica, nublosa, en la cual diminutos granos de epidota (se usa al término como sinónimo de minerales del grupo de la epidota), se enlazan tomando el aspecto de madeja; a veces con una reacción y recristalización más avanzada, estos granos se soldan formando granos más grandes y bien constituidos, que inundan densamente a la plagioclasa tomando un aspecto poiquilítico.

En algunos casos se observan en la plagioclasa, maclas polisintéticas, a veces difusas, que indican que recristalizó a composiciones relictas cercanas a An_{34} , aunque predominantemente la recristalización es más fuerte, próxima a An_{10} , siendo en este caso, intersticial. En mucho menor cantidad, se presentan marginalmente a la plagioclasa granos homogéneos de clorita, moscovita, calcita y cuarzo.

En la epidota anfibolita del tipo 2, aunque también se presenta plagioclasa sausrítica, nublosa o poiquilítica, en su mayor parte constituye cristales albiticos homogéneos bien formados que alternan con anfíboles, epidota y cuarzo.

La epidota, como cristales columnares gruesos y delgados con fuerte orientación dimensional o granos robustos, ocurre alternándose con cristales homogéneos de cuarzo, anfíbol y a veces albita limpia o sausrítica en epidota-anfibolitas del tipo 2. Ocasionalmente en el tipo 1 se encuentran gruesos cristales prismáticos en los cuales están incluidos abundantes granos de hornblenda de bordes curvos. Sin embargo, en esta roca normalmente no se llega a esta etapa de homogenización y recristalización de la epidota.

Ocasionalmente se presentan en el tipo 1 intercrecimientos simpletícticos entre albita y epidota.

El cuarzo cuando se presenta es escaso y anhedral. En la epidota-anfibolita de tipo 1, forma agregados policristalinos con bordes suturados y sombras de presión, pero en el tipo 2 se observan granos homogéneos bien formados y el porcentaje de cuarzo, en general, es mayor. La esfena se presenta dispersa en las rocas y su longitud es menor de 0,3 mm. Algunos cristales tienen un núcleo de color amarillo. Es más abundante en las anfibolitas del tipo 2.

4.1. EPIDOTA-ANFIBOLITAS METASOMATIZADAS

Epidota-anfibolitas néisicas parcialmente metasomatizadas se observaron únicamente en la carretera La Granja-Santa Rita y su composición mineralógica aunque sufrió algunos cambios, no presenta las características de las rodingitas (COLEMAN, 1967).

El afloramiento ocurre en el contacto con la serpentinita. Allí, se ve un lente de 4,0 m por 1,5 m en sección vertical, en contacto directo con dicha roca y algunos bloques como inclusiones tectónicas. La roca que los constituye es de color gris claro a verde amarillento, cataclástica en mayor o menor grado y con estructura néisica relicta.

En el lente anotado, se presentan dos variedades de rocas metasomatizadas sin una distribución zonal clara. La primera, está compuesta por epidota, albita intersticial deformada y maclada y menores porcentajes de tremolita y clorita; la segunda, por epidota, albita con escasa esfena.

La mineralogía de las inclusiones tectónicas en la serpentinita, consta de hornblenda relicta, clorita abundante, tremolita y poca esfena.

5. CONTACTOS

Las serpentinitas y epidota-anfibolitas se encuentran en contacto tectónico entre sí y con las metamorfitas encajantes. Las fallas que bordean la serpentinita tienen, además de rocas con fuerte metamorfismo cataclástico, una buena expresión geomórfica representada por notorios quiebres topográficos y cauces de quebradas profundos y orientados. En cambio, el contacto de las epidota-anfibolitas con las rocas metamórficas del Paleozoico, aunque es tectónico y neto en algunos sitios como el río Ituango y la carretera Ituango-Medellín en otros se llega gradualmente a las filitas básicas empezando por anfibolitas, cuyo grano se va haciendo más fino a la vez que el metamorfismo dinámico y la recristalización se van acrecentando hasta llegar a filonitas similares a las filitas (Camino La Granja-Alto El Oso).

La Falla Tesorero, que limita la serpentinita al este, forma parte de la zona de Falla Sardinas-Tesorero (Pl. 1), tiene más de 60 km de longitud y está constituida por dos fallas subparalelas que se encuentran hacia el sur, con ramales de las fallas Espíritu Santo y Romeral; aunque podría ser el ramal este de la continuación norte de la zona de Falla Romeral. El movimiento cuaternario de la falla es normal con inclinación 55° a 70° E (WOODWARD CLYDE CONSULTANT, 1980).

La zona de falla Meseta - Cortaderal este y Cortaderal oeste, está situada al occidente de las epidota-anfibolitas, siendo posiblemente la traza Cortaderal este la que las separa de las filitas pre-mesozoicas, aunque como se mencionó antes, el paso entre ambos tipos de rocas es transicional en algunas zonas y de una roca se pasa a la otra sin que se presente, excepto localmente, una fractura definida. Existe por lo tanto, una zona transicional de deformación en donde la cizalladura es paralela a la foliación que incluye en el extremo oeste, la falla Cortaderal oeste. Hacia el norte de Ituango las varias ramas convergen, junto con la falla transversal Ituango, formando una zona tectónica más estrecha y cuya falla principal sería la Falla Sardinas. A nivel superficial, estas fallas, como las anteriores, son actualmente del tipo normal con buzamiento pronunciado al este. Específicamente la Falla Sardinas tiene una posición N5-10°W, 55-75°SE y su movimiento, en algún momento, tuvo un componente horizontal ya que los lisos existentes en la serpentinita esquistosa, que aflora inmediatamente al sur del Caserío La Granja, así lo sugieren,

Los efectos del fallamiento en el contacto oeste, entre serpentinita y anfibolita néisica, se observan en varios sitios, pero son especialmente claros en las carreteras La Granja-Santa Rita y Medellín-Ituango y en el camino que va al caserío La Fonda, en dirección este, paralelo al río Ituango. En el último sitio se observan las siguientes características (Fig. 10).

1. Serpentinita cizallada, color negro verdoso, con superficies brillantes abigarradas en tonalidades verde amarillento a verde manzana, a lo largo de las cuales ha habido movimiento con formación de serpentinita recristalizada.
2. Serpentinita fuertemente cizallada, esquistosa con superficies brillantes verde negruzco.
3. Ultramilonita de epidota-anfibolita, color gris verdoso claro, fuertemente esquistosa, con lentecillos de cuarzo y bloques de protomilonita. Hacia el oeste grada a rocas menos deformadas, de protomilonita a epidota-anfibolita néisica.

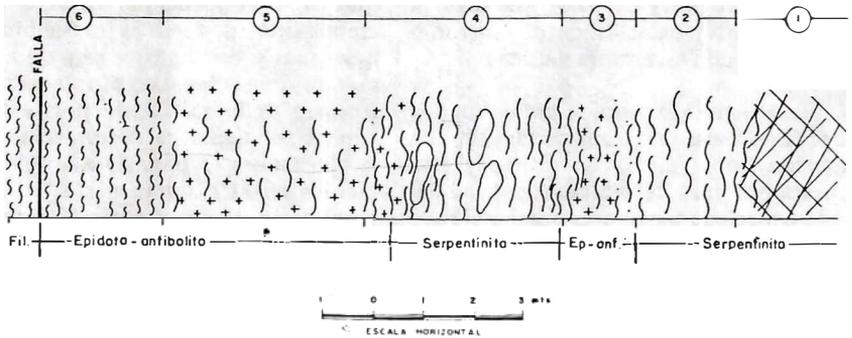


FIG. 10: Contacto Oeste (camino a la Fonda): Serpentinita-epidota-anfibolita néisica-filitas básicas.

4. Serpentinita con poliedros de cizalladura. Lente tectónico en la epidota anfibolita.
5. Epidota-anfibolita néisica sin cizalladura o ésta es leve.
6. Protomilonitas y milonitas de epidota anfibolita, color verde gris claro a gris claro, en contacto fallado con filonitas provenientes de filitas verdes.

En general, en los sitios donde se observa dicho contacto las rocas son cataclásticas. Merece mencionarse además la ocurrencia, en un tributario de la quebrada Lomitas, de una roca gris clara muy deformada proveniente de anfibolitas néisicas, constituida por abundante tremolita fibrosa, epidota, carbonatos y esfena. Además, allí se presenta a lo largo de la zona de falla un dique andesítico (?), delgado, cizallado y foliado, compuesto por hornblenda, plagioclasa sódica, epidota y sausurita con menores cantidades de biotita, calcita, cuarzo, esfena, clorita y apatito.

Buenas exposiciones del contacto Este no se conservaron. Sin embargo, sobre la carretera Ituango-Medellín, en el contacto con las serpentinitas, las rocas metamórficas de bajo grado, filitas básicas, cuarcitas y esquistos cuarzoceríficos, forman un pliegue antiformal con el flanco oeste verticalizado y en contacto fallado con la ultramafita.

6. QUIMICA

6.1. SERPENTINIZACION

El proceso de serpentización, con sus implicaciones geoquímicas, es importante por su relación con el tectonismo en límites convergentes de placas.

Para conocer acerca de dicho proceso en las serpentinitas de Ituango, se efectuaron siete análisis químicos de roca total, en muestras con grados diversos de serpentización y en cuatro de ellas se hicieron determinaciones de algunos elementos traza (Tab. 2). Los análisis químicos fueron normalizados sustrayendo agua con el fin de poder comparar con otros cuerpos.

La gravedad específica es un método seguro para establecer el grado de serpentización (COLEMAN y KEITH, 1971), y el contenido de agua, cuando no se presenta brucita como sucede en el cuerpo de Ituango, sirve también para tal objetivo. Se observa que existe una clara correlación entre la gravedad específica, el contenido de agua y el factor de oxidación, con disminución en la primera e incremento en los demás, cuando aumenta la serpentización (Tab. 2).

La razón $MgO/MgO + FeO^*$ es muy constante y varía entre 0,82 y 0,85, valores característicos para Harzburgita. Por otra parte, la cantidad de agua requerida para

TAB. 2: Análisis químicos de las serpentinitas de Ituango.

No. Muestra	171861	171863	171862	171864	174269	174271	174860	174277
IGM	JAA-1251	JAA-1286	JAA-1386	JAA-1386	JAA-1251	JAA-1252	JAA-1286	JAA-1274
	D4	A-D4	A-D1	A-D5	A		A-D7	
Gravedad específica	3,09	2,83	2,67	2,63	2,74	2,67	2,60	2,68
SiO ₂	37,67	39,38	38,95	39,77	34,25	37,24	40,67	39,38
Al ₂ O ₃	0,47	0,57	0,76	0,66	1,61	0,85	0,94	1,80
Fe ₂ O ₃	2,68	3,69	5,95	6,79	6,16	6,10	4,63	3,73
FeO	7,27	3,63	2,17	1,77	2,53	1,69	2,83	4,49
MgO	47,35	40,68	39,50	38,90	36,01	39,77	37,69	36,34
CaO	0,13	0,53	0,11	0,62	3,92	1,08	0,57	0,98
Na ₂ O	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03
K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
TiO ₂	0,13	0,029	0,25	0,46	0,65	0,20	0,39	0,04
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,17	0,12	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,08
H ₂ O ⁺	3,69	10,23	11,68	11,17	14,32	12,24	11,62	12,23
H ₂ O ⁻	0,22	0,32	0,24	0,06	0,14	0,34	0,23	0,30
Suma	99,83	99,21	99,75	100,35	99,72	99,66	99,71	99,41
MgO/MgO								
+FeO*	0,83	0,85	0,84	0,85	0,82	0,85	0,84	0,82
MgO/SiO ₂	1,26	1,03	1,01	0,98	1,05	1,07	0,93	0,92
FeO*	9,68	6,95	7,52	6,98	8,07	7,18	8,85	7,8
Fe ₂ O ₃ /FeO								
+Fe ₂ O ₃	0,27	0,50	0,73	0,77	0,71	0,78	0,62	0,45
Elementos traza (ppm)								
Sr	-	-	-	-	10	10	15	10
Ba	-	-	-	-	100	100	100	100
Cr	-	-	-	-	3500	2200	2400	2600
Ni	-	-	-	-	2100	2100	1700	1800
V	-	-	-	-	12	12	20	12
Co	-	-	-	-	125	110	130	120
Cu	-	-	-	-	25	5	30	25
	Dunita Serpentinizada				Serpentinita			
Oxidos recalculados								
SiO ₂	39,28	44,29	44,35	45,14	40,18	42,77	46,33	45,33
Al ₂ O ₃	0,49	0,64	0,87	0,75	1,89	0,98	1,07	2,07
Fe ₂ O ₃	2,79	4,15	6,78	6,57	7,23	7,00	5,27	4,29
FeO	7,58	4,08	2,47	2,00	-2,97	1,94	3,22	5,17
MgO	49,37	45,74	44,98	44,15	42,24	45,68	42,94	41,83
CaO	0,13	0,60	0,12	0,70	4,59	1,24	0,57	1,13
Na ₂ O	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03
K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
TiO ₂	0,14	0,33	0,28	0,52	0,76	0,23	0,44	0,05
P ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	*
MnO	0,18	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09

serpentinización depende de la mineralogía primaria y de la movilidad del magnesio, de la sílice o de ambos. La relación MgO/SiO_2 fluctúa entre 0,92 y 1,07. Una muestra se sale de este rango con 1,26. Con excepción de este último valor, propio de las dunitas, los demás particularizan harzburgitas. La constancia de dichas razones sugiere que la serpentinización fue un proceso isoquímico acompañado solamente por adición de agua. Sin embargo, se debe hacer notar, que el alto contenido de hierro y calcio de algunas muestras de las serpentinitas es solo comparable al de unas pocas harzburgitas metamórficas citadas por Coleman (1977).

Con respecto a los elementos traza, las serpentinitas de Ituango están relativamente enriquecidas en Cr y bajas en V con respecto a las estimaciones de abundancia promedia en rocas ultramáficas según Vinogradov (1962), Tabla 3. Asimismo, con respecto a las serpentinitas de las Montañas Burro (COLEMAN y KEITH, 1971), existen contenidos similares en la mayor parte de los elementos, exceptuando el Co que es más alto y el níquel que es más bajo (Tab. 4).

TAB. 3: Promedio y comparación del contenido en algunos elementos traza de las serpentinitas de Ituango y de roca ultramáfica promedia.

Serpentinita Ituango*	Roca ultramáfica**	
ppm	ppm	
Cr	2.700	2.000
Ni	1.900	2.000
Co	120	130
V	14	40
Cu	20	20

* Promedio de cuatro análisis

** Según Vinogradov (1962)

6.2. EPIDOTA-ANFIBOLITAS

Se hicieron siete análisis químicos de roca total en diferentes muestras y a cada una de ellas se le determinaron siete elementos traza (Tab. 5).

La composición química promedia (Tab. 6), es similar a la de los gabros intermedios dragados de la dorsal del Atlántico (Miyashiro et al 1970), y de la zona de fracturas Romanche (BONATTI et al, 1971),

aunque es un poco más baja en sílice, sodio y potasio y más alta en calcio.

Muchas de las rocas de complejos gabroicos de ofiolitas y de la corteza oceánica han sufrido metamorfismo hidrotermal de piso oceánico. No obstante, estudios de los efectos químicos de dicho metamorfismo (BONATTI et al, 1971; MIYASHIRO, et al, 1970), indican que las concentraciones en Ti, P, Al, Fe, Mg, y Si en los metagabros de piso oceánico y de las ofiolitas no son afectados significativamente.

En el caso de las epidota-anfibolitas, dados los diversos tipos de metamorfismo que han sufrido, es probable que su composición química haya variado un poco, especialmente los álcalis.

A pesar de ello, utilizando diagramas Na_2O y CaO vs SiO_2 (Fig. 11), tres de las muestras se ubican en los campos delimitados por Miyashiro et al, (1971), para rocas poco alteradas de la dorsal del Atlántico.

En el diagrama álcalis vs SiO_2 (Fig. 12), las muestras de las epidota-anfibolitas se sitúan en el dominio de los basaltos subalcalinos y en el AFM se ubican en la tendencia de diferenciación de la serie toleítica (Fig. 13). Asimismo, la tendencia del fraccionamiento de dichas muestras, cuando se gráficas en TiO_2 vs IM (Fig. 14), es afín con la seguida por ofiolitas de alto Ti (SERRI y SAIITA, 1980), cuyos magmas parentales son más subsaturados en SiO_2 y más ricos en TiO_2 que aquellos de ofiolitas bajas en Ti como el Complejo de Troodos. Según dichos autores, las ofiolitas de alto Ti representan remanentes de corteza oceánica creada en cuencas oceánicas mayores o en cuencas intraoceánicas detrás de arcos durante las etapas intermedias o tardías de apertura.

6.2.1. EPIDOTA ANFIBOLITAS METASOMATIZADAS.

Los análisis químicos de dos muestras de anfibolitas néisicas colectadas en el contacto o zona de reacción con la serpentinita (Tab. 7), indican que los cambios metasomáticos experimentados, además de ser aparentemente erráticos, no presentan la variación química progresiva que se describe en otros lugares (COLEMAN, 1967). Por ejemplo una de las muestras (JAA-1801F), tiene

TAB. 4: Comparación de la composición de las serpentinitas de Ituango con dunitas y harzburgitas serpentinizadas de las Montañas Burro.

	Serpentinitas (1) Rango de valores (%) N=7	Dunitas serp. (2) Rango de Valores (%) N=5	Harzburgitas serp. (2) rango de valores (%) N=4
SiO ₂	34,25 - 39,77	33,59 - 37,43	35,67 - 41,69
Al ₂ O ₃	0,47 - 1,80	0,39 - 0,58	0,72 - 1,06
Fe ₂ O ₃	2,68 - 6,16	2,60 - 3,61	2,28 - 3,84
FeO	1,69 - 7,27	2,87 - 4,64	3,45 - 5,12
MgO	36,01 - 47,35	41,77 - 46,25	39,44 - 44,03
CaO	0,11 - 3,92	0,00 - 0,03	0,27 - 0,76
Na ₂ O	0,03 - 0,04	0,02 - 0,06	0,01 - 0,03
K ₂ O	< 0,01	0,01 - 0,03	0,01 - 0,02
H ₂ O ⁺	3,69 - 14,32	6,54 - 15,78	4,53 - 14,47
H ₂ O ⁻	0,14 - 0,34	0,30 - 1,00	0,28 - 0,83
TiO	0,04 - 0,65	0,00 - 0,001	0,01
MnO	0,08 - 0,17	0,08 - 0,11	0,10 - 0,11
	ppm	ppm	ppm
Cr	2200 - 3500	3000 - 7000	1900 - 300
Ni	1700 - 2100	2300 - 2500	2000 - 2200
Co	110 - 125	32 - 110	75 - 100
V	12 - 20	< 10 - 34	28 - 44
Cu	5 - 90	2 - 5	2 - 34

1) Serpentinitas Ituango

Análisis por Absorción Atómica

2) Dunitas y harzburgitas de las Montañas Burro, California (COLEMAN and KEITH, 1971).
Análisis espectrográfico cuantitativo.

TAB. 5: Análisis químicos de las epidota-anfibolitas de Ituango. (*Análisis absorción atómica. **Análisis fluorescencia Rayos - X).

No. Muestra	174268*	174274*	174275*	174276*	174272*	700315*	712818**
	JAA-1251	JAA-1265	JAA-1271	JAA-1273	JAA-1254	JAA-1801	JAA-1801
	A					F	G
SiO ₂	44,12	48,82	46,76	46,56	38,46	46,32	47,89
Al ₂ O ₃	17,20	18,28	15,98	15,55	16,79	23,81	16,56
Fe ₂ O ₃	0,12	0,05	3,97	3,00	3,83	1,64	1,99
FeO	4,93	5,11	6,55	7,29	10,73	2,41	1,49
MgO	14,10	9,95	8,24	10,28	11,61	5,70	11,35
CaO	14,42	11,20	12,88	11,90	11,20	12,83	15,48
Na ₂ O	1,67	3,25	1,89	2,18	3,20	3,15	1,75
K ₂ O	0,01	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
TiO ₂	0,15	0,49	1,13	0,66	0,79	0,53	0,26
P ₂ O ₅	0,05	0,00	0,14	0,09	0,06	0,11	0,02
MnO	0,10	0,12	0,15	0,17	0,21	0,09	0,08
H ₂ O ⁺	0,03	0,26	0,01	0,14	0,15	2,77	2,37
H ₂ O ⁻	2,39	1,58	1,63	1,74	2,38		
Suma	99,29	99,19	99,35	99,58	99,43	99,38	99,25
Elementos traza (ppm)							
Sr	76	126	105	54	42		
Ba	20	80	15	25	15		
Cr	1900	180	390	720	200		
Ni	364	80	68	300	160		
V	100	150	250	185	340		
Co	34	30	38	38	82		
Cu	35	10	36	26	11		
	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 1	Anfib. hornbl.	Anfibolita con metasomat.	Anfibolita con metasomat.
Norma							
Q	-	-	-	-	-		
C	-	-	-	-	-		
Ab	2,15	24,05	15,99	18,45	-		
An	39,41	35,05	35,06	32,58	31,39		
Or	0,06	0,47	0,12	0,12	-		
(En)	-	-	9,85	3,55	-		
opx							
(Es)	-	-	3,44	1,41	-		
(Di)	20,76	12,58	17,17	15,47	9,88		
cpx							
(He)	4,58	3,87	5,23	5,34	4,65		
(Fo)	17,87	13,28	1,90	10,43	17,06		
ol							
(Fa)	4,98	5,17	0,73	4,55	10,15		
ne	6,49	1,87	-	-	14,67		
Lc	-	-	-	-	0,09		
Cs	-	-	-	-	1,82		
mt	0,17	0,07	5,76	4,35	5,55		
il	0,28	0,93	2,15	1,25	1,50		
ap	0,12	-	0,33	0,21	0,14		

TAB. 6: Comparación de la composición química promedia de las epidota-anfibolitas con rocas gabroicas intermedias dragadas del Océano - Atlántico.

	Epidota-anfibolitas A	Dorsal de Atlántico medio cerca a 24° N B	Océano Atlántico C
SiO ₂	46,57	51,53	51,18
Al ₂ O ₃	16,75	15,17	15,26
Fe ₂ O ₃	1,79	1,64	1,47
FeO	5,98	5,75	5,27
MgO	10,60	8,65	7,25
CaO	12,60	10,85	9,74
Na ₂ O	2,25	3,17	4,09
K ₂ O	0,03	0,10	0,74
MnO	0,14	0,14	0,14
TiO ₂	0,61	0,65	0,83
P ₂ O ₅	0,07	0,03	0,05
H ₂ O ⁺	1,84	2,14	3,79
H ₂ O ⁻	0,11	0,33	0,32

A: Epidota-anfibolitas

B: Dorsal del Atlántico medio cerca a 24° N (MIYASHIRO et al, 1970).

C: Océano Atlántico (BONATTI et al, 1971).

un incremento notable en aluminio y disminución en magnesio comparada con la composición química promedia de tres muestras de epidota anfibolitas néisicas (tipo 1). En cambio, la otra (JAA-1801G), no experimentó modificación en estos elementos, pero se aumentó el calcio. Con excepción del hierro que disminuyó en ambas, los demás elementos no experimentaron cambio alguno.

7. ORIGEN Y EMPLAZAMIENTO

Las asociaciones máficas - ultramáficas tipo alpino, son consideradas actualmente como secuencias ofiolíticas que pueden estar completas, pueden haber sufrido desmembramiento o aún haber sido metamorfizadas (COLEMAN, 1971). Asimismo, parte de estas rocas se han tenido como procedentes del manto superior, con base en la evidencia de su deformación en estado sólido, su emplazamiento como un cuerpo sólido y frío, la homogeneidad química en el mundo y el hecho de encontrarse en el núcleo de cinturones montañosos deformados (HESS, 1955; GREEN, 1964, LONEY et al, 1971). En este contexto, la asociación tipo alpino de Ituango, compuesta por serpentinitas y

epidota-anfibolitas, equivalentes metamórficos de peridotita-gabro, se puede considerar como constituida por masas desmembradas tectónicamente de una secuencia ofiolítica.

La mineralogía primaria relictiva de la serpentinita de Ituango y la relación relativamente uniforme de FeO*/FeO* + MgO en la misma roca, sugieren que la ultramafita no se generó por cristalización fraccionada sino que fue probablemente un residuo de fusión parcial en el manto.

El protolito de las epidota-anfibolitas fue quizás un gabro homogéneo ligeramente rico en Mg, probablemente generado en una dorsal de una cuenca oceánica mayor o en las etapas intermedias o tempranas de apertura de una cuenca marginal; dicho gabro se presenta completamente recrystalizado y de él no se encontraron relictos en el área.

La asociación mineralógica en facies epidota-anfibolita, de temperatura intermedia, grada a facies esquisto verde con temperaturas más bajas a medida que se incrementa la recrystalización y la cizalladura. Aunque la homblenda podría ser primaria, producto de diferenciación magmática tardía, u

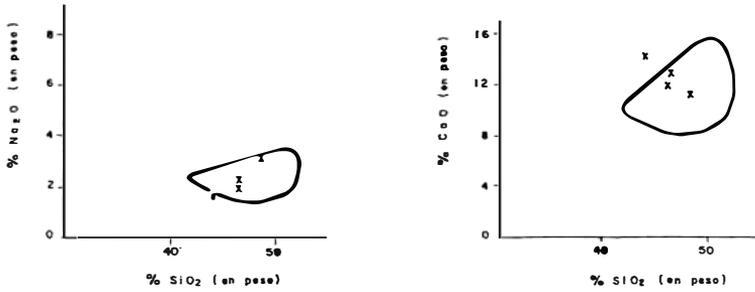


FIG. 11: Diagrama Na₂O y CaO vs SiO₂ para las epidota-anfibolitas asociadas a las serpentinitas de Ituango. Campos delimitados por Miyashiro et al. (1970) para gabros inalterados de la dorsal del Atlántico.

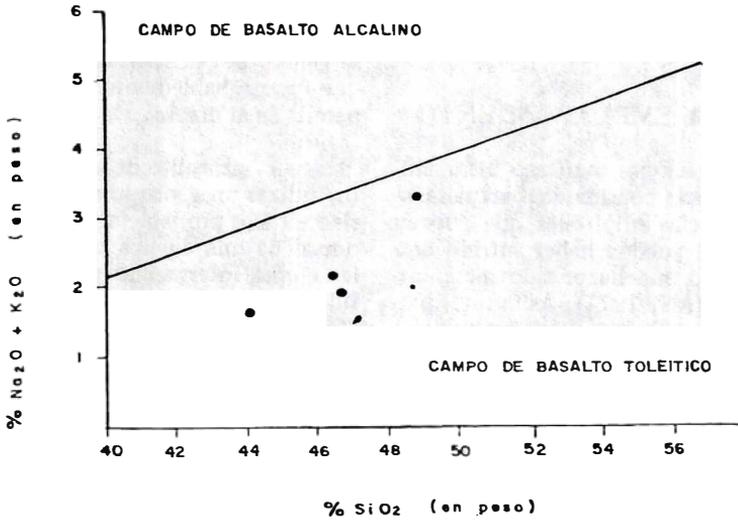


FIG. 12: Diagrama álcalis - sílice de las epidota-anfibolitas de Ituango.

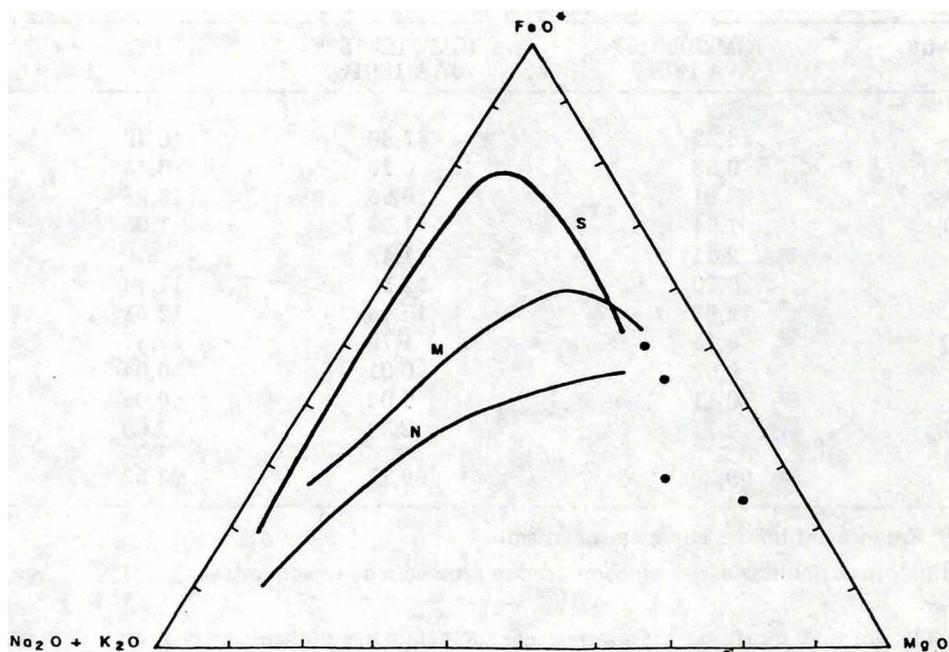


FIG. 13; Diagrama de variación química AFM de las epidota-anfibolitas asociadas a las serpentinitas de Ituango. Se delimita el campo calcoalcalino MN. S es la tendencia de diferenciación de Skaergaard. FeO^* es el hierro total.

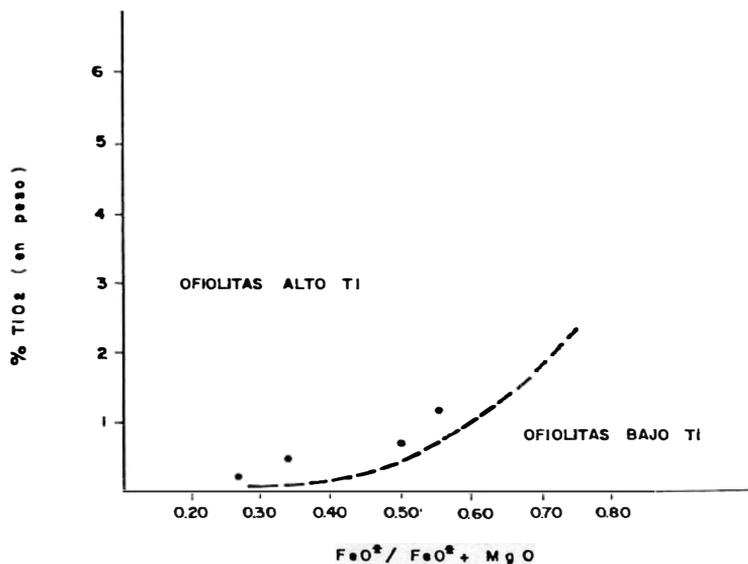


FIG. 14: Variación del contenido de TiO_2 con el índice máfico ($\text{FeO}^*/\text{FeO}^* + \text{MgO}$) en las epidota-anfibolitas (metagabros) de Ituango. La línea interrumpida separa los campos de ofiolitas con alto y bajo Ti. Diagrama tomado de Serri y Saitta (1980). FeO^* es hierro total.

TAB. 7: Comparación de la composición química promedio de epidota-anfibolitas néisicas típicas con epidota-anfibolitas metasomatizadas.

Elemento	IGM-700315* JAA-1801F	IGM-712818** JAA-1801G	***
SiO ₂	46,32	47,89	46,49
TiO ₂	0,53	0,26	0,43
Al ₂ O ₃	23,81	16,56	16,93
Fe ₂ O ₃	1,64	1,99	1,06
FeO	2,41	1,49	
MnO	5,70	11,35	11,44
CaO	12,83	15,48	12,51
Na ₂ O	3,15	1,75	2,37
K ₂ O	0,02	0,01	0,04
P ₂ O ₅	0,11	0,02	0,05
P.P.C.	<u>2,77</u>	<u>2,37</u>	<u>2,08</u>
	99,29	99,17	93,33

* y ** Epidota-anfibolitas con metasomatismo.

*** Epidota-anfibolitas néisicas, composición promedio de tres muestras.

originada por metamorfismo hidrotermal de grado medio en una dorsal oceánica en expansión, las características texturales y composicionales observadas sugieren un origen por metamorfismo dinámico durante el emplazamiento.

La presencia a unos pocos kilómetros al oeste del cuerpo ofiolítico de Ituango, de volcanitas básicas mezcladas con sedimentitas de fosa y pelágicas del Cretáceo, reposando sobre corteza oceánica (CASE et al, 1971) y separadas de las metamorfitas paleozoicas por una sutura mayor, insinúan acreción de litosfera oceánica posiblemente por subducción hacia el este. Las ofiolitas de Ituango pudieron haber hecho parte de esta litosfera y como un fragmento ofiolítico, emplazadas en forma sólida a lo largo de fallas inversas profundas, inclinadas al este, aunque el movimiento actual de ellas sea normal con buzamiento en el mismo sentido.

Durante el emplazamiento, las rocas adquirieron el bandeamiento, la orientación

mineralógica dimensional y fueron deformadas penetrativamente a causa de la cizalladura y el tiempo de su emplazamiento en el Cretáceo tardío - Terciario temprano, a las facies epidota anfibolita y esquisto verde, esta última predominando hacia la base del bloque ofiolítico levantado.

Esta interpretación, con base en nueva información, modifica lo expresado por Alvarez (1981), en cuanto al proceso metamórfico de estas ofiolitas.

El movimiento diapírico hacia arriba de la peridotita causado por el fuerte movimiento tectónico, produjo la serpentinita cizallada que constituye actualmente la casi totalidad del cuerpo. La ausencia de clastos de serpentinita y epidota-anfibolita en conglomerados continentales del Oligoceno tardío - Mioceno temprano sugiere que el emplazamiento al nivel presente es post-Mioceno temprano y continúa en la actualidad a causa del movimiento activos de las fallas que limitan dichas rocas.

8. BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, J. et al, 1970.- *Mapa geológico del cuadrángulo H-8 (Yarumal) y parte este del cuadrángulo H-7 (Ituango)*. Escala 1:100.000. Ingeominas. Bogotá.
- , 1979.- *Geología de la Cordillera Central y el Occidente Colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenoicos*. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Tesis de doctorado, 359 p.
- , 1981.- *Serpentinitas y metagabros relacionados del área de Ituango, Departamento de Antioquia, Colombia*. Resumen Tercer Congreso Colombiano de Geología. Medellín.
- , 1982.- *Tectonitas dunitas de Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia. Informe 1896*. Ingeominas, 62 p. Medellín.
- BARRERO D., ALVAREZ, J., KASSEM, T., 1969.- *Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Mesocenoico*. Ingeominas, Bol. Geol. 18 (1-3): 145-173. Bogotá.
- BONATTI, E., HONNAREZ, J. and FERRARA, G., 1971.- *Peridotite-gabro-basalt complex from the Equatorial Mid-Atlantic Ridge*. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A. 268: 385-405.
- CASE, J. et al, 1971.- *Tectonic Investigations in western of Colombia and eastern Panamá*. Geol. Soc. Am. Bull. (Boulder, Colorado), 82 (10): 2686-2711.
- COLEMAN, R.G., 1967.- *Low temperature Reaction zones and Alpine Ultramafic Rocks of California, Oregon and Washington*. Geol. Surv. Prof. Paper 1247, 49 p. Washington.
- , 1971.- *Plate tectonic emplacemet of upper mantle peridotites along continental edges*. Jour. Geophys. Res, 76: 1212-1222. Washington.
- COLEMAN, R.G., KEITH, T.E., 1971.- *A chemical study of serpentinization. Burro Mountain, California*. Jour. Petrol. 12 (2): 311-328. Oxford.
- DEWEY, J.F., BIRD, J.M., 1971.- *Origin and emplacement of the ophiolite suite: Appalachian ophiolites in Newfoundland*. Jour. Geophys. Res. 76:3179-3206. Washington.
- GONZALEZ, H., 1974.- *Metamorfismo dinámico en la zona de Falla de Romeral, Colombia*. Simposio sobre Ofiolitas, Medellín, 21 p.
- GREEN, D.H., 1964.- *The petrogenesis of the high-temperature peridotite intrusion in the Lizard Area, Cornwall*. Jour. Petrol. 5:134-183. Oxford.
- HALL, R., ALVAREZ, J., RICO, H., 1972.- *Geología de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-Zona II-A)*. Ingeominas, Bol. Geol. 20: 85 p. Bogotá.
- HESS, H.H., 1955.- *Serpentinites Orogeny and Epeirogeny*. Geol. Soc. Am. Spec. Paper 62:391-407. Washington.
- LONEY, R.A., HIMMELBERG, E.R., COLEMAN, R.G., 1971.- *Structure and Petrology of the Alpine type peridotite at Burro Mountain, California*. Jour. Petrol. 12:245-309. Oxford.

- MIYASHIRO, A., SHIDO, F., EWING, M., 1970.- *Crystallization and differentiation in Abyssal tholeiites and gabbros from mid-oceanic ridges*. Earth Planet. Sci. Lett. 7:361-365. Amsterdam.
- PENROSE FIELD CONFERENCE, 1972.- *Report of conference of ophiolites*. Geotime, 17:24-25.
- RAASE, P., 1974.- *Al and Ti contents of hornblende. Indicator of pressure and temperature of regional metamorphism*. Contr. Miner. Petrol. 45:231-236. Amsterdam.
- SERRI, G., SAIITA, G., 1980.- *Fractionation trends of the gabbroic complexes from high-Ti and low-Ti ophiolites and the crust of major oceanic basins: A comparison*. Ofioliti, 5 (2-3): 241-264. Bologna.
- STERN, C.R., ELTHON, D., 1979.- *Vertical variations and the effects of hydrothermal metamorphism in Chilean ophiolites: their implications for ocean-floor metamorphism*. Tectonophysics. 55:179- 213. Amsterdam.
- THAYER, T.P., 1967.- *Chemical and structural relations of ultramafic and feldspathic rocks in alpine intrusive complexes*. in: Ultramafic and Related Rocks. Wyllie, P.J. (ed), Wiley: 222-238. New York.
- VINOGRADOV, A.P., 1962.- *Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the Earth's Crust*. Geochemistry: Vol. 7: 661-664.
- WOODWARD CLYDE CONSULTANTS, 1980.- *Preliminary Seismic Hazard study, Ituango Project, Colombia. Phase I*. 152 p.
- YCDER, H.S., Jr. SAHAMA, T.G., 1957.- *Olivine X-ray determinative curve*. Am. Min. 42: 475-491. Washington.