

**PETROGRAFIA DEL STOCK DE PAYANDE
Y METAMORFITAS ASOCIADAS**

INFORME No. 1551

por
DARIO BARRERO LOZANO
1969

CONTENIDO

	Páginas
Resumen	117
Abstract	118
Introducción	119
Propósito	119
Localización geográfica	119
Investigaciones anteriores	119
Trabajo de campo y laboratorio	119
Geología general	121
Agradecimientos	121
Características generales del stock	122
Cuarzodiorita	123
Composición	124
Textura	124
Petrografía	124
Granodiorita	129
Composición	129
Textura	129
Petrografía	131
Pigmentación rosada anómala en la granodiorita	133
Cambios metamórficos en el stock	134
Metasomatismo de calcio	134
Desilicificación	134
Edad del stock	134
Rocas de dique	135
Metamorfitas	136
Rocas con metamorfismo regional	137
Petrografía	137
Antibolita	137
Neis Cuarzo—feldespático	137
Augen neis biotítico—perfitico	138

Edad de los neises	138
Facies de metamorfismo regional	138
Rocas con metamorfismo térmico	138
Petrografía	139
Metasedimentos calcáreos	139
Metasedimentos silíceos	140
Cambios metasomáticos	140
Facies de metamorfismo térmico	140
Facies hornblenda—cornubianita	141
Facies albita—epidota—cornubianita	141
Condiciones del metamorfismo térmico	141
Relación entre la distribución de las isógradas y la forma tridimensional del stock	143
Referencias citadas	144

ILUSTRACIONES

Fig.		Pág.
1	Mapa índice mostrando la localización del área trabajada	120
2	Microfotografía de sección delgada de cuarzodiorita	127
Tablas		
1	Principales unidades estratigráficas presentes en el área de Payandé	122
2	Análisis químico de la Cuarzodiorita y granodiorita del stock de Payandé	123
3	Análisis modales de la Cuarzodiorita del stock de Payandé	125
4	Valores de I. Ch para 16 muestras de la cuarzodiorita del stock de Payandé	126
5	Análisis modales de 25 muestras de granodiorita del stock de Payandé	130
6	Valores de I.Ch para 22 muestras de granodiorita del stock de Payandé	132
7	Análisis modales de 4 rocas híbridas del stock de Payandé	135
8	Análisis modales de los lamprófidos espesartita y Kersantita procedentes del stock de Payandé	136
9	Paragénesis mineral de la facies hornblenda—cornubianita en el área de Payandé	141
10	Paragénesis mineral característica de la facies albita — epidota — cornubianita en el área de Payandé	141

PLANCHAS

1	Mapa geológico del stock de Payanandé y metamorfitas asociadas . .	144
---	--	-----

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto informar acerca de la petrografía cuantitativa del stock de Payandé y metamorfitas asociadas.

Los sedimentos Jura-Triásicos y las rocas metamórficas Precambrianas del área fueron intruídas por el stock de Payandé, un cuerpo ígneo compuesto, de fines del Jurásico o principios del cretáceo, el cual produjo metamorfismo térmico en las rocas encajantes.

Los estudios petrográficos del stock probaron que está formado por dos intrusiones diferentes: una intrusión pequeña de cuarzodiorita que fue seguida por una intrusión más grande de granodiorita separadas por un lapso muy pequeño. Estas dos intrusiones fueron secundadas por emplazamiento de diques de pegmatita-aplita, andesita-dacita y lamprófidos.

Las características del metamorfismo térmico fueron estudiadas usando un sistema combinado de métodos petrográficos, químicos y difracción de rayos-X. Se comprobó la existencia de dos facies metamórficas, la facies hornblenda-cornubianita y la facies Albita-epidota-cornubianita, las cuales están distribuídas en forma asimétrica alrededor del stock.

Sobre el mapa geológico se ubicaron las asociaciones minerales representativas y a la vez se trazaron las isógradas. Se hace un esfuerzo para dar alguna idea acerca de las condiciones de temperatura—presión que reinaron durante el metamorfismo tomando como base de análisis, minerales individuales o asociaciones minerales con características especiales.

Teniendo como base, la distribución de las isógradas, se interpreta la forma del stock y se concluye que el stock de Payandé es una lámina delgada irregular que buza al Oeste.

ABSTRACT

An attempt is made to report on the quantitative petrography of the Payandé stock and associated metamorphic rocks.

The Jura—Triassic sediments and the regionally metamorphosed Precambrian rocks were intruded by the Payandé Stock, a composite body of Late Jurassic or Early Cretaceous age, which thermally metamorphosed the surrounding rocks.

The petrographic study of the stock shows it to be composed of two different intrusions: a small intrusion of quartz—diorite that was followed by a larger one of granodiorite, closely related in time. These were followed by intrusions of pegmatite—aplite, andesite—dacite, and lamprophyric dikes.

The thermal metamorphism of the host rocks was studied using a combination of petrographic, chemical and X—ray diffraction methods. Two metamorphic facies, the hornblende—hornfels and albite—epidote—hornfels, are present and are asymmetrically distributed about the stock.

The characteristic mineral assemblages as well as the isograds are shown on the geologic map. An effort is made to give some idea of the pressure—temperature conditions that prevailed during the metamorphism on the basis of critical mineral assemblages and individual minerals.

On the basis of the distribution of the isograds it is concluded that the Payandé Stock is a rather thin irregular sheet with a westerly dip.

INTRODUCCION

PROPOSITO

El propósito del presente estudio es mostrar los resultados de las investigaciones de campo y laboratorio realizadas en el stock de Payandé y rocas metamórficas asociadas.

El área fue cartografiada en algún detalle con la finalidad de definir las relaciones espacio-tiempo entre las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas.

Sin embargo, el principal objetivo del trabajo es documentar acerca de la petrografía y petrología del stock de Payandé y metamorfitas asociadas.

En ningún momento se pretende resolver problemas estratigráficos o estructurales, ya que estos serán motivo de un trabajo separado actualmente en elaboración.

LOCALIZACION GEOGRAFICA

El área estudiada está localizada inmediatamente al Oeste de la pequeña villa de Payandé, en la parte central del Departamento del Tolima.

Payandé está localizado al Sur del río Coello, unos 20 kilómetros al Sureste de Ibagué.

La parte sometida a estudio tiene una extensión aproximada de 45 kilómetros cuadrados y está comprendida entre las latitudes $4^{\circ} 16' 10''$ y $4^{\circ} 19'$ Norte y las longitudes $75^{\circ} 06'$ y $75^{\circ} 09' 40''$ Oeste (Fig. 1).

INVESTIGACIONES ANTERIORES

El área de Payandé ha llamado la atención de muchos geólogos por ser la localidad tipo de la Formación Payandé (en su mayor parte calcárea), la cual es una de las pocas unidades pre-Cretáceas bien datadas (Trumpy, 1943; Hubach, 1957; Nelson, 1957).

Además de este interés científico, existe el interés económico ya que en este sitio se explotan mármol y calizas. Por este motivo se han escrito muchos informes los cuales pueden ser consultados en la biblioteca del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.

Sin embargo, un estudio petrográfico como el que se presenta en este informe no se había llevado a cabo.

TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO

El trabajo de campo se realizó en forma esporádica durante los

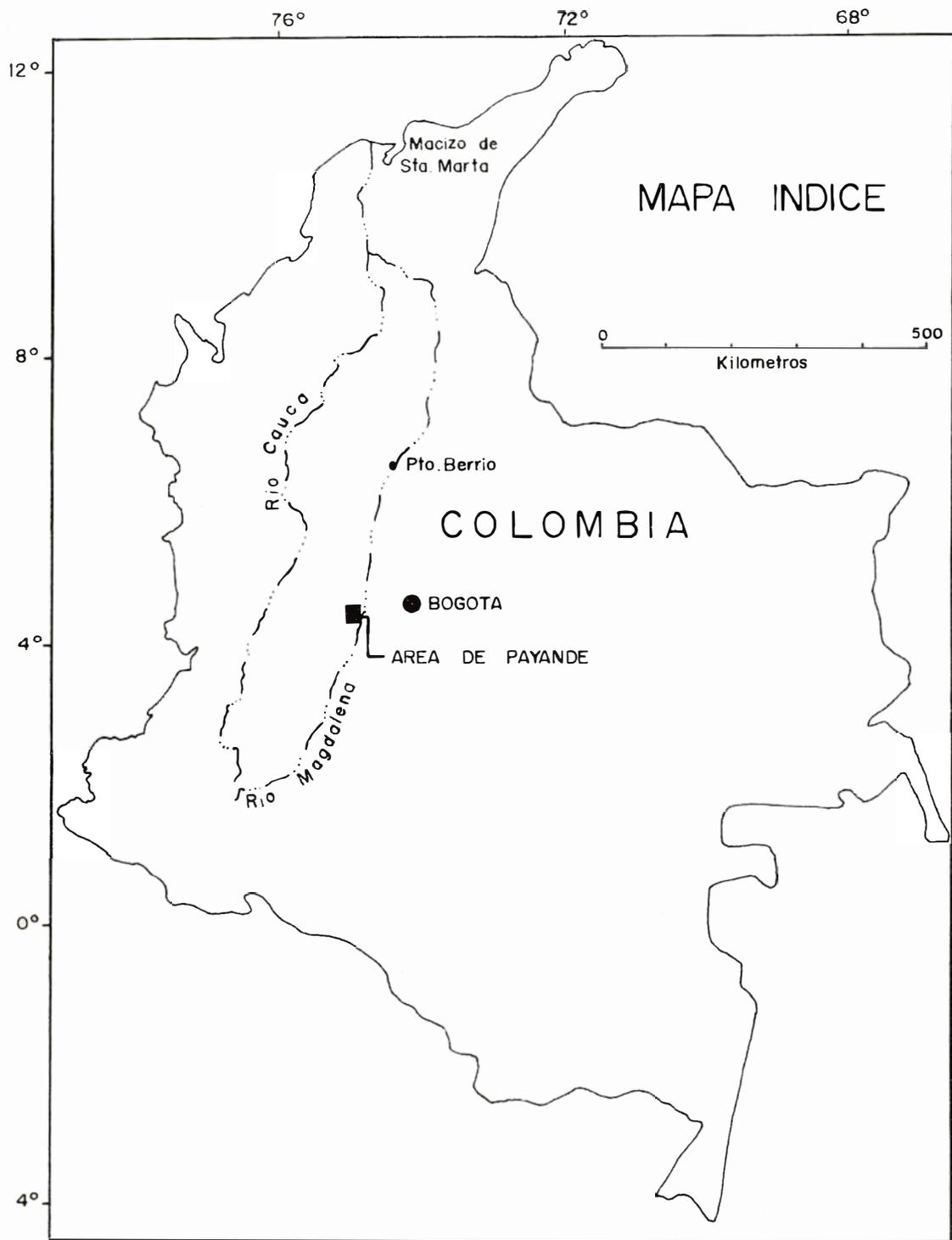


Fig. 1 Mapa índice mostrando la localización del área trabajada

años de 1963, 1964, 1967 y 1968. En total se cartografiaron 300 kilómetros cuadrados de los cuales solamente 45 kilómetros cuadrados fueron sometidos a estudio petrográfico detallado.

Para efecto del estudio se usó un método combinado. 180 secciones delgadas fueron estudiadas y descritas petrográficamente en detalle. 30 muestras de rocas metamórficas de bajo grado fueron sometidas a los rayos—X. Un total de 20 muestras fueron estudiadas, usando el método de tinción, para separar feldespato—K de plagioclasa y unas 40 muestras fueron tratadas por un método similar para detectar el contenido de dolomita.

Los índices de refracción de los minerales fueron calculados usando la técnica de inmersión.

GEOLOGIA GENERAL

El área en la cual se encuentra localizado el stock de Payandé está conformada por rocas que han sufrido metamorfismo regional dinamo—térmico, rocas sedimentarias afectadas por metaformismo termal y rocas sedimentarias (Cretáceo—Terciario) sin ningún metamorfismo.

Las rocas más antiguas del área son los neises y anfibolitas producto de metamorfismo regional y a las cuales se les ha asignado tentativamente una edad precambriana.

Le siguen en edad las rocas sedimentarias de origen continental y marino, las cuales han sido metamorfoseadas localmente por el stock. A este grupo corresponden las formaciones Prepayandé, Payandé y Postpayandé.

Finalmente se encuentran las rocas sedimentarias que no han sufrido clase alguna de metamorfismo y que han sido depositadas en ambiente marino (Cretáceo) y continental (Terciario). Una síntesis de las diversas unidades rocas presentes en el área aparece en la tabla(1.)

A pesar de ser muy pequeña el área estudiada, es notoria la presencia de discordancias angulares y fallas de diferente edad.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue posible gracias a la colaboración del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico—Mineras, la Universidad Industrial de Santander, la Universidad de Indiana, U.S.A. y el Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Colombia. A todas estas entidades el autor les queda altamente agradecido.

El autor expresa su reconocimiento por su valiosa ayuda a los doctores Manuel Julivert de la Universidad de Oviedo, Charles J. Vitaliano de la Universidad de Indiana U.S.A. y Thomas Feininger

del Servicio Geológico de los Estados Unidos.

El autor agradece en forma especial a los geólogos C. J. Vesga, H. González y R. Cadena por la corrección del manuscrito.

Muchos fueron los geólogos colombianos que acompañaron al autor en el trabajo de campo o que ayudaron en los cálculos petrográficos, entre ellos Carlos J. Vesga, Hernando Lozano, Rubén Llinás, Iván Fajardo, Ramón Vera León.

UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	EDAD	
	Este Trabajo	Nelson 1957
Aluviones		
Discordancia	Holoceno	
Abanico aluvial de Ibagué		
Discordancia	Pleistoceno	
Abanico aluvial de Rovira	Pleistoceno	
Discordancia		
Rocas Terciarias	Terciario Sup.	
Discordancia		
Cretáceo sin diferenciar	Albiano	Aptiano
Formación Caballos	Aptiano	Aptiano
Discordancia		
Silos dacítico—riolíticos	Jura—Cretáceo	Pérmico
Stock de Payandé	Jura—Cretáceo	Jurásico
Formación Postpayandé	Jurásico	Jurásico
Discordancia?		
Formación Payandé	Triásico Sup.	Triásico Sup.
Discordancia		
Formación Prepayandé	Triásico Inf.	Triásico
Discordancia		
Neis y anfibolitas	Precámbrico	

TABLA 1.— Principales unidades estratigráficas presentes en el área de Payandé.

CARACTERISTICAS GENERALES DEL STOCK

El cuerpo intrusivo de Payandé es un stock compuesto de dos unidades petrográficamente diferentes pero estrechamente relacionadas en el tiempo.

La unidad más antigua, y a su vez la más pequeña, consiste de una cuarzodiorita que localmente muestra cristales de hypersteno.

La unidad más joven y más grande es una granodiorita que localmente ha sido teñida de color rosado.

La cuarzodiorita tiene una forma redondeada mientras que la granodiorita tiende a ser un cuerpo alargado en dirección Norte—Sur.

Las dos unidades muestran contactos discordantes con las rocas encajantes y han producido efectos térmicos y cambios metasomáticos en estas rocas.

La rotación de algunos xenolitos y la fuerte perturbación en las rocas encajantes, como también los fuertes efectos térmicos en sus contactos, sugieren un mecanismo de emplazamiento por inyección forzada más que por stoping magmático.

CUARZODIORITA

La cuarzodiorita aflora en el lado Este del stock en las quebradas Riofrío y Consuelo (pl.1). En la quebrada Consuelo la cuarzodiorita está claramente intruída por la granodiorita. Los análisis químicos de las dos rocas, procedentes de la quebrada Consuelo, se dan en la tabla 2.

El contacto de la cuarzodiorita con la caliza y chert de la Formación Payandé es claramente discordante. Desafortunadamente el contacto con la granodiorita no se observa claramente debido a que el área está cubierta de pastos.

	Cuarzodiorita Muestra 839 B	Granodiorita Muestra 839 C
Oxidos en peso por ciento		
SiO ₂	56.30	61.00
Al ₂ O ₃	16.12	16.49
Fe ₂ O ₃	8.05	5.75
FeO	1.05	1.66
MnO	0.11	0.13
MgO	1.79	3.50
CaO	6.27	4.38
Na ₂ O	2.92	2.09
K ₂ O	0.90	1.27
TiO ₂	0.42	0.37
P ₂ O ₅	0.12	0.05
H ₂ O	0.16	0.18
H ₂ O	0.14	0.14
Pérdidas	4.92	1.14
SO ₃	0.52	0.20
	99.79	98.35

TABLA 2.— Análisis químico de la Cuarzodiorita y Granodiorita del Stock de Payandé.

Se estudiaron petrográficamente 40 secciones delgadas de las cuales 15 fueron sometidas a análisis modal, para lo cual se usó el método del “contador de puntos”, tomando 1.500 puntos en cada sección delgada. Sobre 16 secciones delgadas se determinó el índice de Chayes (I.Ch.). Un total de 40 secciones fueron usadas para calcular el índice de color (C.I.).

El índice de Chayes I.Ch* (Chayes, 1956, p. 72—75) fue determinado sobre transversas de 40 milímetros.

COMPOSICION

La cuarzodiorita contiene de 0.4 a 1.4 por ciento de orto y clinopiroxeno. Una sola sección delgada alcanza una cifra anómala de 9 por ciento de hypersteno, rodeado de anfíbol uralítico. El cuarzo en la cuarzodiorita nunca excede 18 por ciento y el feldespato—K es siempre menor del 3 por ciento. El anfíbol uralítico alrededor de hypersteno representa los efectos de alteración producidos por la intrusión granodiorítica más rica en H₂O que la anterior. Un análisis químico de la cuarzodiorita se da en la tabla 2. Los análisis Modales de la cuarzodiorita se dan en la tabla 3.

TEXTURA

La cuarzodiorita es una roca de grano medio y color gris oscuro con un índice de color (C.I.) entre 14 y 29.

La roca tiene una textura granular hipidiomórfica que consiste principalmente de cristales euhedrales a subhedrales de plagioclasa. El cuarzo y el feldespato—K son siempre intersticiales.

Rasgos de deformación están localmente presentes en hornblenda y biotita. Algunas plagioclasas están ligeramente dobladas y la mayoría de los cuarzos muestran extinción ondulante y microfracturas, aunque algunos cuarzos se manifiestan claramente recristalizados. Estos efectos son el resultado de deformación protoclastica. El índice de Chayes (I.Ch.) fue medido para cada sección delgada en la cuarzodiorita, siguiendo el método sugerido por Taubeneck (1967,p.12). Los valores del I.Ch. para 16 muestras de cuarzodiorita están dados en la tabla 4.

PETROGRAFIA

La plagioclasa forma cristales tabulares subhedrales a anhedrales generalmente entre 0.5 y 4 milímetros de largo; unos pocos cristales alcanzan longitudes de 5 milímetros.

La plagioclasa se caracteriza por tener zonación oscilatoria y normal con un corazón más cálcico. El borde sódico usualmente es fresco o ligeramente alterado en contraste con la fuerte alteración del corazón cálcico.

* I.Ch. se refiere a la medida de granularidad en la fábrica granítica. La medida es simplemente el número de cambios de los minerales a lo largo de una transversa de 40 m.m.

Muestra No.	Plagio-clasa	Cuarzo	Feldes-pato-K	Piro-xeno	Horn-blenda	Biotita	Clori-ta	Opacos	No Opacos
817	58.00	16.00	0.70		14.10	9.00	0.70	0.80	0.70
822	65.20	16.60	0.70		7.30	0.50	7.90	0.30	1.50
823	64.00	17.80	2.62		5.08	0.71	8.53	0.63	0.63
825	67.60	15.70	0.60		5.90	4.40	4.60	0.80	0.40
827	57.40	15.10			12.50	0.20	13.20	0.90	0.70
914	56.40	13.20	1.20	1.40	13.20	12.30	0.60	1.40	0.30
915	60.30	13.30			12.70	12.30	1.10	0.30	
915 A	60.00	12.80	0.10	0.40	14.00	9.50	0.70	1.80	0.70
917	64.90	11.80	0.20	0.50	8.60	12.80		0.80	0.40
923	56.70	12.50		0.90	13.70	1.20	12.30	0.90	1.80
980	62.10	13.70	2.80		6.20		13.50	0.80	0.90
994	56.90	17.10		0.40	13.50	10.10	0.50	1.50	
995	64.00	11.80	1.20	0.40	10.70	9.90	0.40	1.50	0.10
996	67.80	13.50			9.50	6.00	1.30	0.90	1.00
1001	65.72	13.27	1.00		4.72		13.54	0.36	1.39
Media —	61.80	14.28	0.74	0.27	10.11	5.93	5.26	0.91	0.70
Desviación Standard —	4.09	1.95	0.80	0.35	3.54	4.61	5.41	0.45	0.47

TABLA 3.— Análisis modales de la cuarzodiorita del Stock de Payandé (En volumen por ciento)

Las maclas más comunes en la plagioclasa son albita y periclina. El ancho de las bandas en las maclas es muy variable lo cual es un rasgo característico de estas plagioclasas de composición intermedia (Emmons, 1953 p. 46). Sin duda las maclas se formaron posteriormente a la zonación.

La composición de la plagioclasa varía entre An₃₀ An₄₆

Muestra No.	Valores de I.Ch.
817	.69
822	.60
823	.63
825	.49
827	.57
914	.60
915	.63
915A	.63
917	.56
923	.57
980	.50
994	.66
995	.66
996	.56
1001	.58
1003	.53

Tabla 4. Valores de I.Ch. para 16 muestras de la cuarzodiorita del stock de Payandé.

Unos pocos cristales de plagioclasa contienen inclusiones de otros minerales, pero estas inclusiones no se restringen a ningún sitio especial del cristal sino que pueden encontrarse cerca a los bordes o bien en el núcleo. Estas inclusiones son: Hornblenda, biotita y óxido de hierro. Una sección delgada muestra una inclusión de clinopiroxeno de 0.1 milímetro en la dirección mayor.

La mayoría de las plagioclasas son frescas, pero algunas muestran un corazón muy alterado que consiste de sericita y epidota.

El cuarzo es anhedral e intersticial. La mayoría de los cuarzos contienen "líneas de polvo" (Dust trails) en diversas orientaciones, lo cual probablemente representa micro-fracturas. La extinción ondulante es común en la mayoría de los cristales. Sin embargo, en muchas secciones delgadas cuarzo severamente deformado coexiste con cuarzo no deformado.

El feldespato—K raramente excede el 1 por ciento. Este es

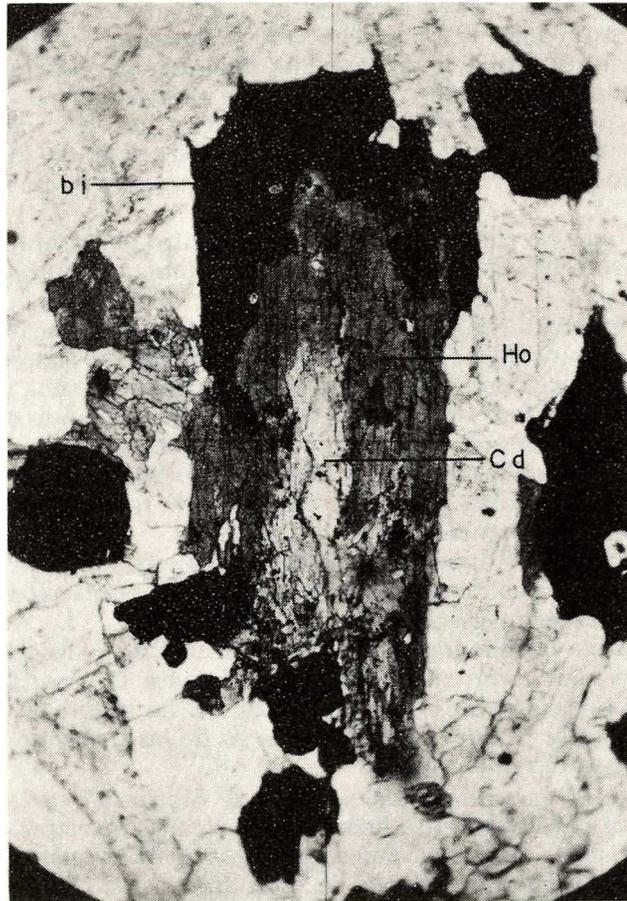


Fig. 2. Microfotografía de sección delgada de la Cuarzodiorita mostrando un cristal de hornblenda (Ho) con un corazón decolorido (Cd) y biotita (bi) reemplazando la hornblenda. Luz polarizada. Diám. 2.7 mm.

anhedral e intersticial y la mayoría de los cristales están alterados a minerales arcillosos. Las inclusiones más comunes son plagioclasa, biotita y hornblenda.

El piroxeno es anhedral a subhedral. Ambos, tanto clinopiroxeno como ortopiroxeno, están presentes en la roca. El clinopiroxeno es probablemente augita mientras que el ortopiroxeno es hypersteno y está siempre rodeado de un anillo uralítico.

El hypersteno es biaxial negativo con un 2V pequeño a moderado, tiene extinción paralela y pleocroismo de incoloro a rosado pálido. Hypersteno está presente sólo en unas pocas secciones delgadas.

Corazones de clinopiroxeno ocurren dentro de hornblenda en 6 de las 15 secciones delgadas y se manifiesta claramente reaccionando con ésta.

La hornblenda es de color verde con X=verde amarillento y Z=verde. Los cristales son anhedrales a subhedral, algunos de los cuales están maclados polisintéticamente. Muchos de ellos muestran "núcleos decoloridos" en los cuales se encuentran diminutos cristales de cuarzo. En algunos cristales fue posible observar continuidad óptica entre estos núcleos decoloridos y la hornblenda. Estos núcleos decoloridos representan un estado avanzado de reemplazamiento de clinopiroxeno por hornblenda.

De acuerdo a Taubeneck (1967, p. 15) esta relación entre los dos minerales representa una importante relación de reacción durante las etapas iniciales de cristalización del magma.

La biotita es anhedral a subhedral, carmelito oscuro a amarillo. Algunos cristales están doblados. Generalmente la biotita está en relación de reacción con hornblenda (Fig. 2). La biotita se extiende hacia adentro de la hornblenda a lo largo de las trazas de clivaje y reemplaza a esta irregularmente.

La clorita es pseudomorfa a partir de biotita y puede llegar a formar hasta el 13 por ciento de la roca en algunas muestras.

Los cristales de clorita muestran trazas de clivaje pertenecientes a la biotita antigua, a lo largo de estas trazas casi siempre ocurre esfena granular alterada a leucoxeno junto con ilmenita. Esta asociación es el típico resultado de la transformación de biotita a clorita. Esfena no solamente ocurre en clorita sino como anillos alrededor de ilmenita.

La magnetita se presenta como cristales independientes pero también ocurre en el núcleo de algunas biotitas con una longitud entre 1 y 2 milímetros.

El apatito es el accesorio no-opaco más común, los cristales son generalmente redondeados pero unos pocos son euhedrales, tienen dimensiones que no pasan de 0.3 milímetros y se encuentran en inclusiones dentro de biotita y hornblenda.

El zircón ocurre como pequeñas inclusiones en biotita y clorita. Cuando se encuentra en biotita los cristales generalmente muestran halos pleocróicos mucho más fuertes que los que se observan en aquellos incluidos en la clorita.

GRANODIORITA

Esta unidad es una biotita—hornblenda granodiorita la cual ocupa el 80 por ciento del área del stock de Payandé.

La granodiorita tiene una forma alargada con el eje más corto alcanzando una longitud aparente de 2 kilómetros. El eje mayor que lleva una dirección Norte—Sur alcanza una longitud aparente de 8 kilómetros. Hacia el Norte el cuerpo queda cubierto por el abanico aluvial de Ibagué.

La forma y dimensión del stock es por lo tanto aparente y en gran parte se debe a procesos erosivos.

Nelson (1957) cartografió la unidad granodiorítica del stock como dos cuerpos de composición similar pero edad diferente. La parte Norte del stock es para Nelson (1957) una granodiorita de edad paleozóica. Sin embargo, se comprobó que este cuerpo intruye y produce metamorfismo térmico en la Formación Payandé. Además no existe en ningún sitio indicio alguno de dos intrusiones granodioríticas. Por consiguiente las dos granodioritas de Nelson deben ser consideradas como una sola unidad.

COMPOSICION

El contenido de cuarzo y feldespato—K de la granodiorita es mucho más alto que en la cuarzodiorita. Por otra parte el contenido de hornblenda y biotita es menor. En ninguna de las muestras estudiadas se encontró piroxeno lo cual contrasta enormemente con la cuarzodiorita. Los accesorios opacos y no opacos están presentes en cantidades menores del 1 por ciento. Un análisis químico de la granodiorita a partir de una muestra tomada en la quebrada Consuelo, justamente en el sitio donde ésta intruye la cuarzodiorita se da en la tabla 3.

Los análisis modales de 25 muestras de granodiorita (Tabla 5) procedentes de diversos sitios del stock se calcularon usando el método del “Contador de puntos”. En cada sección delgada se contaron 1.500 puntos y en algunos casos hasta 3.000.

TEXTURA

La granodiorita es una roca de grano medio, color claro, moteada y con índice de color (C.I.) entre 7 y 16.

La textura es granular hypidiomórfica, sin embargo varias

Muestra No.	Plagio— clasa	Cuarzo	Feldes— pato—K	Horn— blenda	Biotita	Clori— ta	Opacos	No Opacos
Jac 26	41.40	29.00	11.60	8.00	10.00			
839	37.33	31.34	18.43	3.58	0.25	8.00	0.58	0.49
842	55.10	25.00	7.80	3.40	3.10	4.90		0.70
843	58.50	24.20	4.50	6.40	5.20	0.70	0.20	0.30
844	48.60	32.30	9.60	2.10	0.30	6.40	0.30	0.40
845	52.70	25.40	10.40	5.90	0.80	4.30	0.50	
846	52.60	27.70	10.60	1.80	3.40	3.00	0.50	0.40
847	54.80	30.70	5.30	0.20		7.20	0.30	1.50
848	55.80	23.30	6.70	4.60	0.10	8.40	0.40	0.70
912	52.64	19.82	15.81	4.92	5.54	0.81	0.28	0.18
916	54.80	22.40	7.70	5.30	7.80	1.20	0.70	0.10
935	46.00	27.00	13.00	5.40	7.20	0.40	0.70	0.30
941	48.38	25.54	8.55	7.73	1.27	6.45	1.00	1.08
942	62.00	19.40	4.60	5.40	0.10	7.40	0.30	0.80
981	48.75	25.06	4.75	1.40	0.05	15.44	0.15	4.40
983	48.70	32.60	7.30	3.70		7.20		0.50
984	50.30	28.30	6.60	1.20		13.10	0.10	0.40
985	46.10	29.38	7.63	5.37	4.81	5.00	0.45	1.26
986	45.30	26.00	3.70	1.80	8.50	13.30	0.30	1.10
988	48.76	27.52	11.08	3.80	7.00	1.08	0.45	0.31
991	49.20	16.30	8.80	8.30	2.10	2.30	0.60	2.40
993	52.10	26.90	8.70	1.70	8.90	0.90	0.40	0.40
997	50.90	26.20	17.80	1.90		3.20		
999	46.60	28.50	13.80	2.00		7.10	1.00	1.00
1000	51.30	27.60	7.20	4.80	6.30	2.40	0.10	0.30
Media	50.30	26.70	9.28	4.03	3.31	5.21	0.37	0.76
Desviación Standard —	5.23	3.36	4.02	2.27	3.12	4.13	0.76	0.90

TABLA 5.— Análisis Modales de 25 muestras de granodiorita del Stock de Payandé (En volumen por ciento)

secciones delgadas mostraron una textura inequigranular seriada.

Los minerales dominantes, como plagioclasa, hornblenda y biotita son anhedrales y subhedrales, mientras que el cuarzo y el feldespató—K son siempre anhedrales.

Los rasgos más importantes de deformación se manifiestan en el cuarzo, la pertita y la biotita como extinción ondulante y en el anfíbol y la biotita como ligeros plegamientos. En un estado más avanzado la deformación se manifiesta como cuarzo granular.

El I.Ch. fue calculado para cada una de las 22 secciones delgadas estudiadas (Tabla 6).

Las diferencias en los valores del I.Ch., en este caso representan no solamente cambios en la granulometría, sino también variaciones texturales debido a granulación por protoclasia y cataclasis.

PETROGRAFIA

La Plagioclasa es el mineral más abundante y forma cristales tabulares generalmente entre 1 milímetro y 6 milímetros de longitud.

La plagioclasa está maclada según las leyes de la albita y periclina. Las bandas de las maclas varían de gruesas a finas. La zonación es del tipo oscilatorio y normal mostrando rasgos que sugieren un origen anterior al de las maclas. La composición de la plagioclasa varía entre An₂₈ y An₄₀. La mayoría de los cristales de plagioclasa están extensamente sericitizados pero algunos se han alterado a una mezcla de sericita, epidota, calcita y prenita.

Unos pocos cristales de plagioclasa tienen inclusiones de anfíbol euhedral, biotita cloritizada, apatito y óxidos de hierro. Estas inclusiones ocurren en cualquier sitio del cristal sin concentraciones en ningún lugar específico.

El cuarzo es anhedral y muchos de los cristales presentan “líneas de polvo” orientadas al azar, las cuales representan microfracturas. Los cristales están severamente deformados y presentan inclusiones de biotita, plagioclasa y feldespató—K.

En algunos cristales de cuarzo se encuentran pequeños cristales de plagioclasa hasta de 0.2 milímetros de diámetro, formando un anillo interior periférico. Una posible explicación sería la granulación de la plagioclasa por esfuerzos protoclasticos durante la cristalización del cuarzo quedando englobados en forma de “xenolitos” a medida que el cuarzo cristaliza con un mecanismo similar al stoping magmático.

El feldespató—K ($n_{\alpha} = 1.52 - 1.522$; $n_{\beta} = 1.525 - 1.530$) es anhedral e intersticial. Algunos cristales alcanzan hasta 7 milímetros de largo y la mayoría son micropertíticos y están cubiertos por una película de alteración. Algunos de los cristales están severamente deformados y muestran las llamadas “líneas de polvo”. Las

Muestra No.	Valores de I.Ch.
839 C	.64
842	.54
843	.57
844	.43
845	.55
846	.60
847	.56
848	.59
1000	.50
916	.60
935	.43
941	.62
942	.57
981	.52
984	.59
999	.82
986	.53
988	.69
991	.47
993	.59
997	.74
983	.65

Tabla 6. Valores de I.Ch. para 22 muestras de granodiorita del Stock de Payandé.

inclusiones más comunes son de biotita, hornblenda, plagioclasa y clorita.

La hornblenda (X=verde amarillento; Z=verde) es anhedral a subhedral y alcanza dimensiones hasta de 5 milímetros. Algunos cristales muestran bordes de reabsorción y “corazones decoloridos” con pequeñísimas inclusiones de cuarzo. Al igual que en la cuarzodiorita pero menos conspicuos, estos “corazones decoloridos” representan una relación de reacción entre piroxeno y hornblenda durante las etapas iniciales de cristalización de este último mineral (Taubeneck, 1957, p. 15). Algunos cristales están maclados y las inclusiones más comunes son plagioclasa alterada y apatito.

La biotita es anhedral a subhedral y ocurre como cristales independientes o en relación de reacción reemplazando irregularmente la hornblenda. La mayoría de la biotita está fuertemente alterada a clorita, lo cual es un fenómeno muy común en la granodiorita. Algunos cristales están plegados y muestran extinción ondulante.

Clorita es pseudomorfa a partir de biotita y anfíbol y no se debe considerar como un mineral primario en la roca. La clorita muestra colores de interferencia anómalos generalmente azul violeta, lo cual sugiere que se trata de la variedad llamada penina. En la misma sección delgada pueden coexistir clorita, biotita cloritizada y biotita fresca. Una explicación razonable para esta situación es asumir que la clorita es el resultado de alteración hidrotermal de la biotita más que un mineral primario (Chayes, 1955).

Esfena ocurre como pequeños cristales euhedrales, sin duda de origen primario, pero también se encuentra, más comúnmente, como un agregado a lo largo de las trazas de clivaje de la biotita transformada en clorita. En este caso la esfena es un producto de esta transformación.

Epidota se presenta en venas, pero también como un agregado fino acompañando a la esfena en clorita.

Apatito, al igual que en la cuarzodiorita, es el accesorio no-opaco más común y ocurre como inclusiones euhedrales o subhedrales en casi todos los minerales.

Prenita y calcita ocurren en venas o como cristales anhedrales esparcidos en toda la roca.

PIGMENTACION ROSADA ANOMALA EN LA GRANODIORITA

Como se mencionó anteriormente la granodiorita es una roca moteada de color gris-claro. Sin embargo, en algunos sitios la granodiorita toma un color rosado brillante a lo largo de estrechas bandas o en parches irregulares de dimensiones variables que alcanzan un máximo de 1 metro de diámetro.

Se logró observar que las bandas de coloración rosada en la granodiorita, se desarrollan siempre a lo largo de fracturas. Estas bandas alcanzan hasta 4 centímetros de ancho, quedando la fractura en el centro de la banda. En muchos sitios se observó que la fractura está rellena de calcita y epidota siendo este último el mineral más conspicuo.

Macroscópicamente la roca rosada parece contener por lo menos 70 por ciento de feldespatos-K. Sin embargo los análisis modales probaron que no existe tal cantidad de este mineral (Tabla 5. Muestra 981).

Se puede concluir por consiguiente que la coloración rosada no es debida a un alto contenido de feldespatos-K. Una posible explicación de este fenómeno sería el recubrimiento de los cristales por una finísima película de óxido de hierro. Pero, debemos aclarar que el fenómeno, el cual es muy común en muchos stocks y batolitos de la Cordillera Central, no ha sido estudiado suficientemente.

En muchos afloramientos la roca está expuesta a lo largo del

plano de fractura. Esta es posiblemente la razón por la cual algunos geólogos han interpretado esta granodiorita con pigmentación rosada como una sienita.

CAMBIOS METASOMATICOS EN EL STOCK

La composición química y mineralógica de la cuarzodiorita y granodiorita se desvía localmente de los porcentajes normales. Este fenómeno es muy común en los contactos de las dos intrusiones con la Formación Payandé. A todo lo largo de los contactos se pudo observar una zona de influencia metasomática que varía desde 2 hasta 30 metros de ancho. Estos cambios metasomáticos también ocurren esporádicamente como pequeños parches distribuidos irregularmente en todo el Stock.

METASOMATISMO DE CALCIO

Este tipo de metasomatismo está representado por la introducción de epidota y prenita tanto en la cuarzodiorita como en la granodiorita. Prenita y epidota forman cristales euhedrales y subhedrales bien desarrollados. El calcio y aluminio necesarios para la formación de estos cristales fue transferido de las calizas y margas adyacentes a la intrusión, probablemente en estado gaseoso.

DESILICIFICACION

Una angosta zona de roca híbrida se interpone entre los cuerpos intrusivos del stock y las rocas encajantes, principalmente aquellas calcáreas de la Formación Payandé.

La roca intrusiva sufre enorme pérdida de sílice y se enriquece relativamente en Ca, Mg y Fe. Como consecuencia tenemos un roca rica en piroxeno y anfíbol pero muy pobre en cuarzo. Los análisis modales de cuatro muestras procedentes de la zona de desilicificación se dan en la tabla 7.

EDAD DEL STOCK

Nelson (1957, p. 34) asigna una edad Jurásica al stock de Payandé. En realidad una relación directa entre el stock de Payandé y la formación Postpayandé no es muy clara en el campo. Dos secciones delgadas procedentes de la Formación Postpayandé mostraron tener clorita, moscovita y calcita prógrada, presumiblemente debido a los efectos térmicos del stock, sobre los sedimentos de esta formación.

Por otra parte, el conglomerado basal del Cretáceo no ha sufrido ninguna acción térmica. Teniendo en cuenta que este conglomerado ha sido datado como Aptiano, el stock de Payandé debe ser de fines del Jurásico o principios del Cretáceo.

	Número de muestra			
	838 A	838 B	840 B	982
Plagioclasa	71.75	60.80	60.90	40.70
Diópsido	22.08	27.60	4.10	—
Ortoclasa	1.08	2.70	4.50	—
Cuarzo	1.58	5.30	8.20	tr
Anfíbol	—	0.10	18.20	53.50
Granate	—	1.30	—	—
Biotita	—	—	2.10	—
Clorita	—	—	—	3.70
Epidota	1.00	0.50	—	2.00
Esfena	1.92	1.20	0.60	tr
Apatito	0.59	0.40	tr	tr
Opacos		0.10	1.40	1.10

TABLA 7.— Análisis Modales de cuatro rocas híbridas del Stock de Payandé.

ROCAS DE DIQUE

En el área en estudio, tanto en las rocas del stock como en las rocas encajantes, se observaron varios tipos de diques. Sin duda existen muchos más diques de los que fueron encontrados, pero la cubierta vegetal impidió un estudio más detallado. Las rocas de dique del área fueron agrupadas para su estudio en tres categorías: aplita—pegmatita, andesita—dacita y lamprófidos.

El único criterio para determinar la edad relativa de los diques es la relación discordante entre ellos verificada durante el trabajo de campo.

Los diques de aplita—pegmatita son los más antiguos; estos fueron seguidos por diques de andesita—dacita y finalmente los dos primeros fueron intruídos por lamprófidos.

Los diques de aplita—pegmatita llevan una dirección generalmente N—S y se intruyen mutuamente. La mayoría de las pegmatitas muestran una tendencia a tener textura gráfica. El espesor de las pegmatitas puede alcanzar algunos metros mientras que las aplitas nunca exceden unos centímetros.

Los diques de andesita—dacita son generalmente porfiríticos y la mayoría de las andesitas están fuertemente propilitizadas.

Los lamprófidos son los más numerosos en el área. El rumbo

general es Noroeste y Oeste—Noroeste. Generalmente el espesor de estos diques no alcanza un metro. Dos tipos de lamprófidos Kersantita y espesartita, fueron determinados en el estudio de las secciones delgadas. Tanto kersantita como espesartita pueden presentarse intruyendo el stock o las rocas encajantes. En total se estudiaron 10 secciones delgadas de lamprófidos, en su mayoría ellos muestran la textura lamprofírica típica a pesar de encontrarse altamente alterados.

Un análisis modal de cada uno de los tipos de lamprófidos se dan en la tabla 8.

Espesartita (Porfirítico)		Kersantita (No porfirítico)	
Fenocristales			
Hornblenda verde	11.30		
Matriz		Plagioclasa	85.50
Hornblenda verde	48.50	Biotita	
		Cloritizada	10.80
Plagioclasa	35.00	Cuarzo	0.80
Cuarzo	0.80	Epidota	1.80
Opacos	3.90	Calcita	0.60
Esfena	0.30	Opacos	0.30
Apatito	0.20	Apatito	0.10

TABLA 8.— Análisis modales de los lamprófidos Espesartita y Kersantita Procedentes del Stock de Payandé.

METAMORFITAS

Las metamorfitas del área incluyen rocas metamórficas originadas por metamorfismo regional dinamo—térmico y metamorfismo térmico. Los dos tipos de metamorfitas son de distinta edad y han sido formadas bajo condiciones de temperatura y presión muy diferentes.

Para el estudio de estas rocas se examinaron 79 secciones delgadas y los minerales metamórficos fueron estudiados por métodos petrográficos, químicos y rayos—X. Un total de 20 muestras de grano muy fino y composición calcárea fueron tratadas con ácido clorhídrico a temperatura ambiente y el residuo insoluble fue identificado por el método de difracción de rayos—X.

La posible presencia de dolomita en las rocas fue investigada usando el método de tinción sugerido por Friedman (1959).

Los índices de refracción de los minerales metamórficos fueron

determinados por el método de inmersión usando luz de sodio.

Los análisis modales de algunas de las rocas metamorfoseadas regionalmente se incluyen en el texto.

ROCAS CON METAMORFISMO REGIONAL

Rocas que han sufrido metamorfismo regional se manifiestan hacia la esquina Noroeste del área en estudio (pl.1). Ellas consisten principalmente de anfibolitas, neises con cuarzo—pertita—plagioclasa y augen neises con biotita—pertita—cuarzo. Estas rocas se encuentran en contacto fallado con la granodiorita del Stock y las calizas de la Formación Payandé.

PETROGRAFIA

ANFIBOLITA

Capas de anfibolita se encuentran intercaladas con neises cuarzo feldespáticos en contacto fallado con la granodiorita del stock.

La anfibolita es una roca oscura, equigranular que se encuentra foliada en algunos sitios pero maciza en otros. Las relaciones de campo sugieren que se trata de rocas ígneas básicas metamorfoseadas.

El mineral más importante es plagioclasa de composición andesina la cual hace el 50 por ciento de la roca; le sigue en importancia hornblenda actinolítica de color verde pálido en cantidad de 47 por ciento; como accesorios figuran cuarzo, epidota, prenita y magnetita.

En sección delgada la roca aparece muy alterada especialmente la plagioclasa. Es muy probable que la anfibolita haya sufrido metamorfismo retrógrado debido a la intrusión del stock de Payandé.

NEIS—CUARZO—FELDESPATICO

Este neis es una roca de grano medio a grueso, color rosado, con una fábrica muy característica, en la cual lentes o varillas de cuarzo gris alternan con pertita y plagioclasa. Macroscópicamente la roca presenta una lineación muy fuerte producida por cristales alargados de cuarzo que alcanzan hasta 3 centímetros en su dirección mayor.

El análisis modal dió una composición de 40 por ciento cuarzo, 27.9 por ciento pertita, 24,3 por ciento plagioclasa, 7.6 ortoclasa y 0.2 opacos.

El cuarzo es anhedral y muestra extinción ondulante lo mismo que “líneas de polvo”.

La plagioclasa es Andesina (An₃₆) y está relativamente fresca.

La pertita es de las variedades: “Patch perthite” y “String perthite”, siendo esta última más abundante.

Los minerales accesorios suman menos del 1 por ciento y consisten de allanita, epidota, monazita y prenita. La epidota y prenita pueden ser el resultado de metasomatismo de calcio.

AUGEN NEIS BIOTITICO—PERTITICO

Este neis es el producto cataclástico de la falla que pone en contacto las rocas precambrianas con la granodiorita y las calizas de la Formación Payandé.

EDAD DE LOS NEISES

Rocas precambrianas similares en composición y textura a las de Payandé, afloran al Oeste de Puerto Berrío y en la Sierra Nevada de Santa Marta. En este último sitio las rocas con aspecto de “granulitas” han sido datadas radiométricamente (Tschanz et al 1969).

Además de esta extraordinaria semejanza con rocas de edad conocida, se puede afirmar con certeza que los neises de Payandé son anteriores al Pérmico, ya que se encuentran numerosos fragmentos de estos neises en la Formación Prepayandé.

El conocimiento del tipo de metamorfismo de las rocas paleozóicas de la Cordillera Central sugiere que durante el paleozóico no existieron condiciones de temperatura y presión favorables para la formación de este tipo de neises.

En base a estos datos hemos asignado tentativamente una edad precambriana a los neises que afloran al Oeste de Payandé.

FACIES DE METAMORFISMO REGIONAL

La ausencia de sedimentos pelíticos o calcáreos en los neises dificulta la evaluación del grado de metamorfismo obtenido por estas rocas. Sin embargo, varios hechos conducen a pensar en un metamorfismo regional de temperatura y presión altas. La fuerte lineación y la presencia de pertita en el neis sugieren fuertemente que estas rocas pertenecen a las facies granulita. Aún más, la presencia de biotita y allanita indica que las rocas sólo alcanzaron la subfacies hornblenda ortopiroxeno—plagioclasa de la facies granulita (Winkler, 1967, p. 132).

La presencia de hornblenda y biotita en algunos neises intercalados con anfibolitas, representan variaciones locales en la presión del vapor de agua (de Waard, 1965, p. 460).

ROCAS CON METAMORFISMO TERMICO

Los efectos del metamorfismo térmico producido por las intrusiones son muy conspicuos y extensos en el área de Payandé. Las variaciones texturales obvias del metamorfismo están representadas por fuerte variación en el tamaño del grano y compactación de calizas, margas, chert, areniscas y conglomerados de

las formaciones Payandé y Prepayandé.

En sección delgada la mayoría de las muestras presentan una “textura hornfésica” típica y numerosos minerales metamórficos que facilitan la determinación del grado de metamorfismo.

PETROGRAFIA

La petrografía de las rocas con metamorfismo térmico es muy simple, excepto en las rocas de grano muy fino.

METASEDIMENTOS CALCAREOS

Los metasedimentos calcáreos están ampliamente distribuidos en el área. Ellos consisten principalmente de mármol blanco y rosado compuesto casi exclusivamente de calcita, mármol con impurezas silíceas y mármol dolomítico. La mayoría de los mármoles son de grano fino, pero localmente llegan a ser de grano muy grueso. Los cristales de calcita en el mármol alcanzan hasta 3 centímetros y usualmente son equidimensionales. La mayoría presentan maclas polisintéticas, las cuales están plegadas y microfalladas en las muestras que han sufrido fuerte deformación.

La tremolita se encuentra como pequeñas láminas menores de 1 milímetro, generalmente intersticial con respecto a la calcita. En unas pocas secciones delgadas la tremolita apareció como núcleos en cristales de diópsido, representando paragénesis en desequilibrio formadas en la zona de transición entre dos facies.

La epidota se manifiesta como agregados de cristales pequeños y subredondeados no mayores de 1 milímetro. La mayoría de los cristales muestran colores de interferencia anómalos, predominando el azul—violeta.

La clorita es de color verde a carmelito—verdoso y ocurre en parches compuestos de pequeñas láminas. Clinocloro fue encontrado solamente en una placa.

Diópsido ocurre principalmente como pequeñísimos cristales anhedrales y raramente euhedrales esparcidos en toda la roca.

Forsterita llega a formar hasta el 30 por ciento de una muestra. Sin embargo, este mineral es muy escaso en el área. Los cristales de forsterita son anhedrales a subhedrales y están extensamente alterados a antigorita, probablemente por efectos hidrotermales.

Flogopita se presenta como pequeñas láminas menores de 1 milímetro. La presencia de flogopita fue controlada por medio de rayos—X.

Wollastonita es probablemente el mineral metamórfico más conspicuo en el área. Este mineral es muy abundante en el contacto entre rocas intrusivas y mármoles. En algunos sitios la wollastonita es tan abundante que forma bloques de 6 metros cúbicos compuestos exclusivamente de este mineral.

Vesuvianita se encontró en una sección delgada cerca al contacto con el intrusivo. Los cristales son subhedrales, zonados y presentan colores de interferencia anómalos como el azul Berlín.

METASEDIMENTOS SILICEOS

Los metasedimentos silíceos del área están representados por metareniscas impuras, metaconglomerados arkósicos, metachert y metalimolitas feldespáticas.

La mayoría de las secciones delgadas procedentes de estas rocas resultan de poca utilidad para determinar el grado de metamorfismo.

Biotita y moscovita claramente prógradas son los minerales metamórficos más conspicuos en estas rocas, ellos se presentan como pequeñas láminas en la matriz del metaconglomerado o esparcidas en las metareniscas y metalimolitas.

Pirofilita, es el otro mineral metamórfico presente en estos metasedimentos. Este mineral no fue observado con el microscopio, pero apareció varias veces en los patrones de difracción de rayos—X.

CAMBIOS METASOMATICOS

Cambios metasomáticos muy conspicuos se observan en los mármoles cerca al contacto con la cuarzodiorita y granodiorita.

En el lado occidental del stock, aflora un skarn magnético con un espesor de 10 metros. El skarn separa los mármoles de la roca ígnea y se compone principalmente de magnetita, andradita (índice de refracción cercano a 1.82) y diópsido.

El mejor afloramiento de esta roca se encuentra en la quebrada Riofrío.

En general, a lo largo de todo el contacto las rocas calcáreas están separadas de la roca ígnea por una angosta faja, de 2 a 5 metros de anchura, formada por una roca de color carmelito claro o rosado—oscuro que se compone casi exclusivamente de andradita y diópsido, siendo el primero el más abundante.

En varios sitios esta roca contiene manchas de azurita y malaquita. Sin duda esto representa la introducción de grandes cantidades de Fe, Mg, Si y algo de Cu, procedentes de las masas intrusivas.

FACIES DE METAMORFISMO TERMICO

La abundancia de sedimentos calcáreos hace esta área especialmente útil para el estudio de la variación del grado de metamorfismo. Sin embargo, un muestreo más denso en la zona metamórfica no fue posible debido a la cubierta vegetal.

Dos facies metamórficas, hornblenda—cornubianita y albita—epidota—cornubianita, están presentes en el área.

La paragénesis mineral, típica de estas facies, junto con las

isógradas se muestran en la plancha 1.

FACIES HORNBLENDA—CORNUBIANITA

La facies hornblenda—cornubianita está restringida a una angosta zona de ambos lados del stock. Las paragénesis mineral más características de esta facies se indican en la tabla 9.

Paragénesis Mineral	Roca Original
Calcita—wollastonita—diópsido	Caliza silícea
Biotita—feldespato—K—moscovita	Shale potásico
Diópsido—tremolita—cuarzo	Caliza silícea
Forsterita—tremolita—talco	Caliza silícea dolomítica
Calcita—diópsido—cuarzo	Caliza silícea
Wollastonita—diópsido—cuarzo	Caliza silícea

TABLA 9.— Paragénesis Mineral de la facies hornblenda—cornubianita en el área de Payandé.

FACIES ALBITA—EPIDOTA—CORNUBIANITA

Esta facies está ampliamente distribuída hacia el Oeste del stock. Hacia el Este de la intrusión la facies, ocupa un área mucho más restringida. Las asociaciones minerales características de esta facies se presentan en la tabla 10.

Paragénesis Mineral	Roca Original
Calcita—epidota—tremolita	Caliza margosa
Calcita—tremolita—cuarzo	Caliza silícea dolomita
Calcita—tremolita	Caliza dolomítica
Plagioclasa—biotita—cuarzo	Shale potásico
Epidota—pirofilita—cuarzo	Shale alumínico
Calcita—epidota—cuarzo	Caliza margosa
Epidota—tremolita—clorita	Marga
Albita—epidota—cuarzo	Shale potásico

Tabla 10.— Paragénesis Mineral característica de la facies Albita—epidota—cornubianita en el área de Payandé.

CONDICIONES DEL METAMORFISMO TERMICO

Algunos de los factores que controlan el metamorfismo térmico en el área de Payandé pueden interpretarse en base a minerales

individuales o asociaciones minerales presentes en las rocas metamórficas.

La presión litostática que prevaleció durante el metamorfismo puede ser estimada en base al espesor de la secuencia estratigráfica que durante la intrusión sobreyacía la formación Payandé.

Teniendo en cuenta que los sedimentos del Aptiano no están afectados por la intrusión y que en la quebrada el Cobre estas rocas descansan en discordancia angular sobre sedimentos del Triásico y el Jurásico, es posible asumir un espesor máximo de sedimentos no mayor de 6.000 metros, los cuales ejercían una presión aproximada de 1.500 bars. Este estimativo podría ser unos 500 bars mayor o menor, pero en ningún caso una presión mayor a los 2.000 bars (7.000 u 8.000 metros de sedimentos) parece haber sido alcanzada.

Tomando una presión total de 1.500 bars se pueden hacer algunas especulaciones acerca del papel desempeñado por la presión de la fase fluída.

La mayoría de las rocas que han sufrido metamorfismo en el área estudiada son rocas ricas en carbonatos. Por lo tanto, la presión de la fase fluída consiste de la suma de las presiones parciales de H_2O y CO_2 .

Para estudiar los efectos producidos por la variación de P_f (presión fluída) debemos considerar la presencia, en gran cantidad, de wollastonita alrededor del stock. Si aceptamos una presión de 1.500 bars, para poder tener wollastonita sería necesario una fracción molar de CO_2 igual o mayor de 0.75 ($X_{CO_2} \geq 0.75$), lo cual implica una temperatura aproximada de $650^\circ C$. (Winkler 1967, p. 35). Teóricamente, con estas condiciones tendríamos alrededor del stock, bien desarrollada, la facies feldespato—K —Cordierita—cornubianita (Winkler 1967, p. 83). Sin embargo, alrededor del stock de Payandé no se encuentran facies más altas que hornblenda—cornubianita. La razón de este fenómeno se encuentra en evidencias de campo, las cuales indican que la intrusión del stock fue acompañada por intenso fracturamiento de la roca encajante. Como consecuencia, la fase fluída fue enriquecida en H_2O proveniente del magma. La adición de H_2O hace decrecer grandemente la fracción molar de CO_2 en la fase fluída (Greenwood, 1967). Además el fracturamiento permite el escape de la fase fluída y por lo tanto el descenso de P_f (presión fluída).

Los dos factores antes mencionados permitieron la formación de wollastonita, en el área de Payandé, a una temperatura anómalamente baja. Probablemente, en la base de la facies hornblenda—cornubianita. La presencia, muy común en el área, de la rara asociación mineral wollastonita—diópsido—cuarzo y wollastonita—diópsido—calcita de la facies hornblenda—cornubianita debe explicarse en la misma forma.

La temperatura durante el metamorfismo térmico en el área de Payandé, parece no haber sido mayor que la propia de la base de la facies hornblenda—cornubianita. Como se vió anteriormente, wollastonita no puede ser usada, en este caso, como un indicador de temperatura. Por otra parte, cordierita no se encuentra ni siquiera a unos pocos centímetros del contacto a pesar de que las rocas muestran una composición química favorable para su formación.

Varias secciones delgadas de muestras procedentes de un sitio distante no más de 5 metros del contacto, mostraron asociaciones minerales en desequilibrio y reacciones incompletas entre los minerales. Este fenómeno se puede constatar con la presencia de núcleos de tremolita en diópsido o por la presencia de concentraciones de tremolita, calcita y cuarzo en las cuales se observa incipiente formación de cristales de diópsido.

En conclusión, la temperatura que prevaleció durante el metamorfismo térmico del área fue igual o cercanamente igual, a temperatura necesaria para producir diópsido, teniendo una presión de 1.000 bars, a partir de la siguiente reacción: $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2 + 3\text{CaCO}_3 + 2\text{SiO}_2 \rightleftharpoons 5\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 + 3\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

RELACION ENTRE LA DISTRIBUCION DE LAS ISOGRADAS Y LA FORMA TRIDIMENSIONAL DEL STOCK

Las isógradas pueden dividirse en dos clases (Atherton, 1965, p. 172). Para el presente estudio se escogió la clase (B) de isógradas. O sea isógradas basadas en la desaparición de una fase previamente presente.

Con el propósito de dibujar las isógradas se tomaron las asociaciones minerales, encontradas en las diversas muestras y se colocaron sobre el mapa (pl. 1).

El autor intenta, en el presente estudio, usar la distribución general de las isógradas, como un método indirecto para determinar la forma tridimensional del stock, ya que, la profundidad de erosión en el área no permite observar en dos dimensiones la variación del contacto entre el stock y la roca encajante.

Como puede observarse fácilmente, la distribución de las isógradas no es simétrica alrededor del stock. En el lado Oeste la facies albita—epidota—cornubianita ocupa un área bastante grande, mientras al Este el área ocupada por esta facies es mucho menor. Este fenómeno sugiere que la masa intrusiva se extiende, a relativa poca profundidad, hacia el Oeste por una distancia que puede ir más allá de los límites del área cartografiada.

Como conclusión, podemos decir que el stock de Payandé fue intruído desde el Oeste y tiene la forma de una delgada placa inclinada hacia el lugar de procedencia.

REFERENCIAS CITADAS

- Atherton, M. P., 1965**, The Chemical Significance of Isograds. In Controls of Metamorphism: New York, John Wiley, 368 p.
- Chayes, F., 1955**. Potash Feldspar as a By-product of biotite chlorite transformation: Journ Geol, V.63, p. 75.
- Chayes, F., 1956**. Petrographic modal analysis: New York, John Wiley, 113 p.
- de Waard, D., 1965**. A proposed subdivision of the granulite facies: Am. Jour. Sci., V, 263, p. 455–461.
- Emmons, R. C., 1953**. Selected petrogenic relationships of plagioclase: Geol. Soc. America. Mem. 52, 142 p.
- Friedman, G. J., 1959**. Identification of carbonate minerals by staining methods: Jour. Sed. Petrol, V.29, p. 87–89.
- Greenwood, H. J., 1967** Wollastonite: Stability in H₂O–CO₂ mixtures and occurrence in a contact–metamorphic aureole near Salmo. British Columbia, Canada: Am. Mineralogist, V. 52, p. 1669
- Hubach, E., 1957**. Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia: Inf. 1212, Ser. Geol. Nal., Bogotá, Colombia.
- Nelson, H. W., 1957**. Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the sector between Ibagué and Cali: Leidse Geol. Meded., deel 22, pp. 1–76 Leiden.
- Taubeneck, W. H., 1967**. Petrology of Cornucopia Tonalite Unit, Cornucopia stock, Wallowa Mountains, Northeast Oregon: Geol. Soc. America, Spec Paper. 91, 56 p.
- Trumpy, D., 1943**. Precretaceous of Colombia: Geol. Soc. America, V.54, pp.1281–1304.
- Tschamz, C. M., et al, 1969**. Mapa Geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta. Colombia: Inst. Nal. Invest. Geológica–Mineras. Bogotá.
- Winkler, H. G. F., 1967**. Petrogenesis of Metamorphic rocks: Springer–Verlag, New York, Inc., 237 p.