

COMPOSICION QUIMICA Y ORIGEN PROBABLE DE LAS ROCAS DEL AREA DE GURI

A. QUESADA*
W. H. BLACKBURN**
W. H. DENNEN**
VICTOR M. LOPEZ*

INTRODUCCION

Localización Geográfica (Mapas 1 y 2)

Las muestras de las rocas, objeto de este estudio, provienen de la localidad conocida con el nombre de Salto Necuima, en el cauce del río Caroní, en las cercanías de lo que fue el pueblo de Guri. En este sitio, la Corporación de Guayana está construyendo la gran presa conocida con el nombre de "Presa de Guri".

Las coordenadas geográficas de esta localidad, son:

Latitud norte: 7° 45'.

Longitud oeste: 62° 50'.

Observaciones geológicas

En el área, en la inmediata vecindad del sitio, de la presa afloran gneisses, granulitas y cuarcitas ferruginosas intrusionadas por diques ígneos de composición básica. Estructuralmente estas rocas se encuentran plegadas en dirección aproximada de este-oeste. Las estructuras son amplias, de bajo relieve y de poca longitud. Los flancos de las estructuras se encuentran, en su mayoría, cubiertos por las cuarcitas ferruginosas. Las partes centrales de las estructuras de las cuarcitas han sido erosionadas.

Las rocas del área fueron originalmente descritas por Newhouse y Zuolaga (1929), quienes designaron a los miembros de la formación ricas en hierro como la Serie de Imataca. Chase (1965) y otros autores, recientemente extendieron y ampliaron este término y han denominado como Complejo de Imataca toda la secuencia de estas rocas, debido a las dificultades que ha presentado para su estudio en interpretación estructural, este grupo metamórfico de rocas. Según Kalliokoski (1965), este Complejo cubre gran parte del norte de la

* Universidad Central de Venezuela.

** University of Kentucky.

Guayana Venezolana, extendiéndose cerca de 200 km al este y oeste de Ciudad Bolívar. Estudios recientes de campo y petrográfico que se han llevado a cabo en diferentes localidades de este Complejo de Imataca, por Chase (1965), De Ratmiroff (1965) y Dougan (1966), sugieren unánimemente que este Complejo representa una serie altamente deformada de diferentes unidades de rocas que han llegado a la facies metamórfica de la granulita y que han sido inyectadas por rocas ígneas en diferentes ocasiones y localidades (poligenéticas). El tipo de roca dominante en el cuadrilátero Las Adjuntas-Pánamo, según Chase (1965), es el de granulitas máficas y félsicas, gneisses silimaníticos-cordieríticos-granatíferos, biotíticos, formaciones de hierro, granito, tronjenita y amfibolita. En el cuadrilátero de Upata, De Ratmiroff (1965) describe gneisses felsíticos (80% de la columna estratigráfica), rocas máficas (15%), granito, gneiss granatífero-silimanítico-cordierítico-biotítico, y formaciones de hierro. Dougan (1966) hace notar la alternancia cíclica de unidades espesas y unidades delgadas de gneiss félsico, con capas intercaladas de formación de hierro y de gneisses máficos, en el área de Los Indios-El Pilar.

Verdier (1962) describe los siguientes tipos de roca en la zona de Guri (Salto Necuima): gneisses muscovíticos, gneisses granitoides, gneisses granulíticos, charnockita, piroxenita hipersténica, piroxenita cálcica, amfibolitas y cuarcitas ferruginosas.

De Ratmiroff (1965) considera que las rocas del Complejo representan los productos metamórficos de grauwacas interstratificadas con mantos de basalto, algunas capas de lutitas

calcáreas, lutitas carbonáceas y formaciones de hierro, siendo este mismo punto de vista el que contempla A. Menéndez (comunicación personal). Un punto de vista diferente es el expresado por Dougan (1966), quien, después de un estudio crítico, dice: "La composición química y litológica sugieren que el Complejo es en esta área, de origen ígneo principalmente...".

Objeto del estudio

El presente estudio tiene por objeto la presentación e interpretación de la composición química obtenida por análisis espectrográficos de muestras, provenientes del área de la Presa de Guri. Se interpreta esta información en términos de la naturaleza probable que tenían estas rocas antes de ser metamorfozadas.

Se reconoce que el material estudiado proviene de un área muy pequeña y, por consiguiente, no es una representación estadística del Complejo de Imataca, pero el acuerdo general que existe entre varios autores sugiere que los diferentes tipos de rocas estudiados en Guri tengan una distribución regional y, por lo tanto, que la información obtenida y presentada pueda ser interpolada en ese Complejo.

Las muestras estudiadas provienen de testigos frescos de las perforaciones realizadas con coronas de diamantes, en taladros efectuados a lo largo del eje de la Presa de Guri; estas muestras fueron tomadas de los archivos de testigos existentes en Guri, por el doctor Víctor M. López (Mapa 2).

Los análisis de las rocas fueron efectuados usando el método de patrón mutuo para análisis espectro-

químicos, descritos por Dennen y Fowler (1955). El trabajo de espectrografía fue realizado en el Laboratorio Espectrográfico Cabot, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, y en el Laboratorio "Víctor M. López", de la Universidad Central de Venezuela.

En el método se utilizan todos los óxidos de los elementos principales que constituyen la roca, tales como: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , hierro total, como Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O . Todos estos óxidos fueron determinados

simultáneamente en base de agua libre. La rutina analítica fue la siguiente: las muestras fueron molidas hasta pasar por la malla —100 en un "pica-blender" y mezcladas en proporción de 1:2 con carbón; luego cargadas en un electrodo portamuestra, y excitadas en un arco de c.d. a 9 amperios hasta agotamiento total de la muestra, por un espacio de 260 segundos. El equipo analítico y las condiciones usadas se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1
PROCEDIMIENTO ANALITICO

Proceso utilizado:

Patrón mutuo para análisis completo de rocas (para: Si, Al, Mg, Mn, Fe, Ti, Na, K, Ca).

Instrumento utilizado:

Hilger.

Arreglo del Banco Óptico:

Fuente: Arco c. d.
Sector: 1:2, 16,32,64.

Foco: 2 + 3 en el colimador.

Excitación: 1.

Polaridad: Anodo.

Tiempo: 260" (tiempo requerido para consumir la muestra).

Amperaje: 9 Amp.

Región de la longitud de onda: RE 4250 Å.

Líneas utilizadas: Al 2652, Mg 2779, Mn 2795, Fe 2912, Si 2987, Ca 3006-3158, Ti 3088, Na 3300, K 4044, Fe 4045.

Electrodos

Muestra: 1/8 grafito.

Opuesto: 3/16 carbón.

Cráter: 6,0 mm X 1,5 mm.

Muestras

Preparación: las muestras fueron molidas y pasadas por una malla de —100; mezcladas con polvo de carbón 1:2 = muestra: carbón (relación volumétrica).

Patrones

Muestras patrones de rocas W—I, G—I, T—I.

Preparación: la misma utilizada para las muestras a estudiar.

Referencia

Dennen W. A., and Fowler W. C. (1955), "Spectrographic Analysis by use of the mutual standard method" *Bull. G.S.A.*, Vol. 66, pp. 655-662.

A diferencia de la mayoría de los métodos espectroquímicos, la precisión analítica de este procedimiento depende de la concentración. Sin embargo, los valores medios obtenidos para el coeficiente de variación (Cuadro 2) indican que la información obtenida puede ser utilizada sin perjuicio alguno en las generalizaciones de la interpretación geoquímica.

Cuadro 2

VALORES MEDIOS DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION (C)

Oxidos	C
SiO ₂	1.5
Al ₂ O ₃	4.1
Fe ₂ O ₃ (Fe total)	6.0
MgO	8.6
CaO	4.0
Na ₂ O	4.0
K ₂ O	10.0

Todas las muestras de rocas fueron analizadas tanto en espectrógrafo como en secciones finas en el microscopio. Los tipos de rocas encontrados (Cuadro 3) parecen coincidir con las descritas previamente por Chase (1965), De Ratmiroff (1965), Verdier,

y Dougan (1966). El trabajo petrográfico de estos autores es de carácter exhaustivo; por ello, se ha creído innecesario el de hacer más estudios petrográficos de las muestras.

En los análisis espectrográficos no se hace distinción entre el hierro férrico y el ferroso, pero es digno de mencionar que los trabajos de De Ratmiroff (1965) y Dougan (1966), señalan que en estas rocas el total de hierro está en estado férrico, y casi todo contenido en forma de magnetita.

La estimación del contenido de hierro en forma de FeO (ferroso) se calculó de la manera siguiente: se sustrajo el contenido de Fe de la magnetita del valor del total de Fe reportado en el análisis. Para llevar a cabo esta operación se tomó el porcentaje en volumen de la magnetita determinada mediante análisis y se multiplicó esta cifra por 1,9 para convertirlo en porcentaje en peso de magnetita; se tomó el 70 de este valor, que da el contenido de Fe en este mineral, y éste se sustrajo del Fe total encontrado en los análisis espectroquímicos; el remanente sería la cantidad de hierro en forma de FeO.

Cuadro 3
DESCRIPCION PETROGRAFICA DE LAS MUESTRAS DE GURI

Nº Pozo	Profundidad m	Descripción
P-2 E-162	3	Gneiss félsico biotítico. Grano medio a grueso. Abundante feldespato, microclina con antiperitita, cuarzo (escaso).
F-212	87	Gneiss félsico biotítico. Grano grueso. Feldespato, microclina, plagioclasa. Cuarzo, hornablenda, biotita, zircón, magnetita, esfeno. Las plagioclasas presentan burbujas antiperfíticas y lamelas de maclas rectas y continuas.
P-212	95	
P-288	21.8	
P-282	63	
P-414	35	
P-414	285	
P-422 P-424		Gneiss félsico biotítico de grano medio a fino. Cuarzo, microclina, biotita, hornablenda, plagioclasa, zircón, esfeno, apatito.
P-417	14	Gneiss félsico granulítico. Grano grueso. Cuarzo, plagioclasa, microclina, ortopiroxeno. Plagioclasas antiperfíticas y con textura mimética.
P-422	11	
P-288	13	
P-285		
P-326		
P-297		
P-409 P1414	287	Granulita básica de grano medio, plagioclasa maclada, ortopiroxenos, hornablenda, magnetita biotita, el cuarzo esporádico no mayor de 2%.
P-288	100	
P-273		
ROW		
P-403 YARD		
P-20 P-318		Anfibolitas de grano medio a fino. Plagioclasa, anfíbolos, biotita, magnetita.
P-438	17	
P-212	16	Formaciones de hierro, de grano fino a medio. Cuarzo, magnetita, óxidos de hierro.
P-212	87	
P-212	95	
P-269		
P-255		
P-417	14	Granito rosado de grano medio. Cuarzo, microclina perfitica, plagioclasa, biotita con alteración a clorita, magnetita y zircón.
P-270	31	
P-417	6	
P-304 P-270 E-17		Esquisto (Milonitas) de grano muy fino con cuarzo, biotita, granate. Clorita como producto de alteración.

RESULTADOS ANALITICOS

La información espectroquímica obtenida (Cuadro 4) indica que las rocas en el área de Guri tienen una amplia variación en su composición química.

Para poder observar esta variación

en una forma conveniente, todos los análisis han sido representados en diagramas tipo ACF (Figura 1), siguiendo los principios básicos discutidos por Eskola (1939). En este diagrama, los puntos A, C y F representan:

LEYENDA DE LA FIGURA 1

MUESTRAS DE GURI

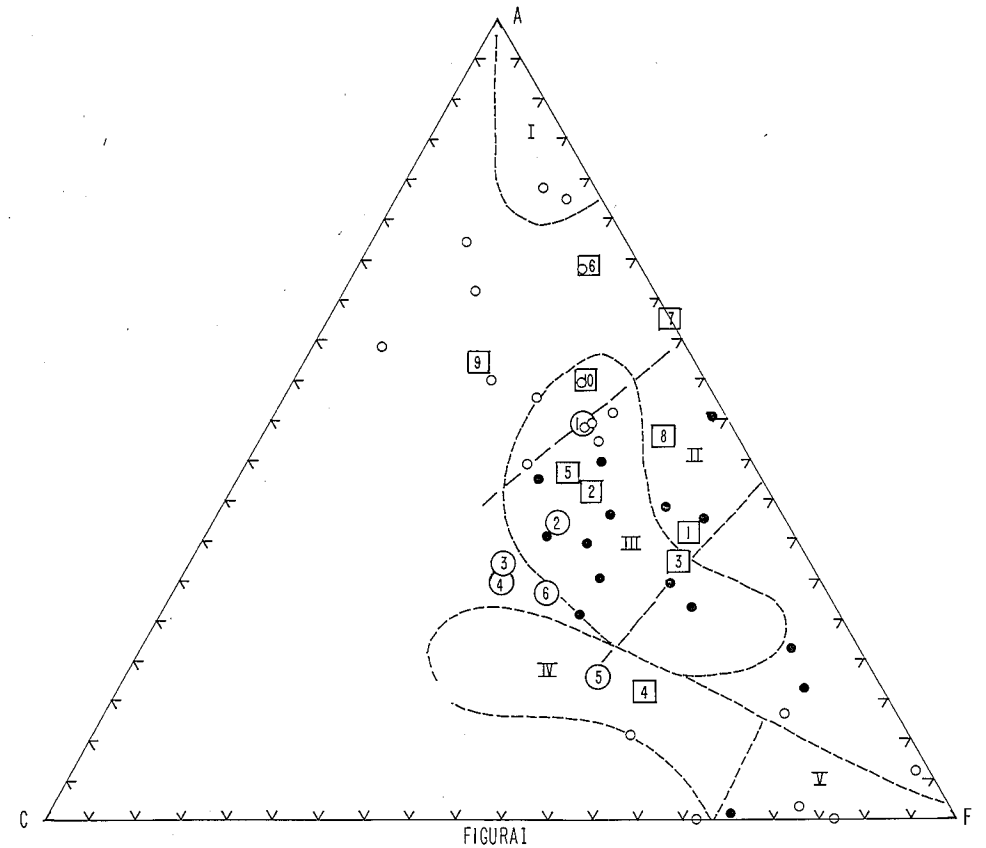
- CON CUARZO
- SIN CUARZO

ROCAS IGNEAS

- ① GRANITOS ALCALINOS S.R.NOCKOLDS. BULL. GEOL. SOC. AMERICA VOL. 66, 1954
- ② GRANITOS CALC-ALCALINOS S.R.NOCKOLDS. BULL. GEOL. SOC. AMERICA VOL. 66, 1954
- ③ GRANODIORITAS " " " " " " " "
- ④ TONALITAS " " " " " " " "
- ⑤ ROCAS BASALTICAS " " " " " " " "
- ⑥ ROCAS CRISTALINAS, ESCUDOS CONTINENTALES A.POLDEVAART GEOL. SOC. AMERICA SPECIAL PAPER 62 1955

ROCAS SEDIMENTARIAS

- ① SUBGRAUWACAS F.J. PETTIJOHN SEDIMENTARI ROCKS 1959
- ② ARCILLAS MARINAS A. B. RONOY & Z.V. KHLEBNIKOVA GEOCHEMISTRY N° 6 1957
- ③ GRAUWACA AVERAGE POLDEVAART
- ④ GRAUWACA PETTIJOHN
- ⑤ LUTITA AVERAGE " "
- ⑥ PROTOCUARCITA " "
- ⑦ LUTITA RICA EN K " "
- ⑧ LUTITA DE NONESUCH.(PRE-6) PETTIJOHN
- ⑨ CUARCITA AVERAGE (FINLAND) POLDEVAART
- ⑩ BARRO TERRIGENO AVERAGE " "



A= Proporción mol. de $(Al_2O_3) - (Na_2O + K_2O)$.
 C= Proporción mol. de (CaO) .
 F= Proporción mol. de $(FeO + MgO)$.

La información en el Cuadro 2 ha sido dividida en siete grupos de composiciones diferentes, basados en observaciones petrográficas y proporciones de ACF (Figura 1 y Cuadro 4).

Estos grupos y sus porcentajes del total son:

- Grupo I Sin cuarzo, aluminoso 2,5%
- Grupo II Sin cuarzo, rico en hierro 15,0%
- Grupo III Con cuarzo, aluminoso 15,0%
- Grupo IV Con cuarzo, campo de las grauwacas y granitos 40,0%
- Grupo V Con cuarzo, campo de las lutitas 7,5%
- Grupo VI Con cuarzo, máficos 7,5%
- Grupo VII Con cuarzo, formaciones de hierro 12,5%

Nótese que las rocas que han sido asignadas al Grupo IV representan el tipo de roca dominante, siendo mayor más de tres veces en porcentaje que el tipo de roca más próximo en abundancia en estos mismos grupos. Estas rocas pueden ser correlacionadas con los tipos de rocas más abundantes descritas por Chase (1965) como gra-

nulitas feldespáticas, por De Ratmiroff (1965) como granulitas félsicas. Obviamente, cualquier hipótesis concerniente al carácter de las rocas pre-metamórficas de Imataca debe interesar principalmente a la naturaleza de las rocas precursoras de estas granulitas félsicas.

Cuadro N° 4a

Grupo	I-1	II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6
Muestra	P414 ₂₈₇	P288 ₁₀₀	P273	ROW	P403	P409 ₃₄	YARD
SiO ₂	65.10	53.09	25.40	25.97	28.39	66.30	48.35
TiO ₂	0.13	0.95	1.07	0.51	6.03	1.60	1.65
Al ₂ O ₃	20.60	15.80	15.60	8.60	16.20	14.64	15.00
Fe ₂ O ₃ (Fe total)	0.41	9.48	17.75	61.92	9.43	2.70	14.70
MnO	0.001	0.16	0.37	0.09	0.23	0.03	0.24
MgO	0.04	11.37	21.42	0.08	9.43	9.30	5.50
CaO	0.14	4.42	9.18	0.85	10.22	1.40	9.00
Na ₂ O	4.12	3.63	7.96	0.70	9.43	3.26	5.30
K ₂ O	9.48	0.85	0.76	0.93	10.38	1.58	0.36
TOTAL	100.02	99.75	99.51	99.65	99.74	100.81	100.10
FeO Calc.	0.45	14.50	19.83	62.03	15.30	1.04	12.30

Cuadro N° 4b

Grupo	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5	III-6
Muestra	P297	P326	P2888 ₃₄	P422 ₁₁	P285	P417 ₁₁
SiO ₂	78.25	68.24	76.55	66.05	75.86	66.22
TiO ₂	1.24	1.63	0.12	0.12	0.42	0.31
Al ₂ O ₃	13.90	19.45	15.95	20.90	14.10	20.25
Fe ₂ O ₃ (Fe total)	1.19	1.57	0.86	1.85	0.90	3.53
MnO	0.023	0.020	0.006	0.025	0.010	0.016
MgO	0.49	0.34	0.22	0.43	0.04	0.78
CaO	0.18	1.72	0.41	1.41	1.41	2.58
Na ₂ O	3.50	3.67	3.90	4.39	2.82	4.35
K ₂ O	1.92	2.77	1.12	4.36	4.51	1.33
TOTAL	100.69	99.41	99.14	99.54	100.03	99.37
FeO Calc.	0.26	0.72	1.00	1.03	0.33	1.70

Cuadro N° 4c

Grupo	IV-1	IV-2	IV-3	IV-4	IV-5	IV-6	IV-7	IV-8
Muestra	P422	P417 ₆	P2-3	E1162	P417 ₁₄	P417 ₆	P212 ₉₅	E162
SiO ₂	65.43	66.34	77.43	73.76	66.18	66.33	82.80	81.53
TiO ₂	0.12	0.33	0.26	0.04	0.30	0.37	0.15	0.013
Al ₂ O ₃	20.90	20.00	12.75	15.35	20.30	20.60	10.40	10.60
Fe ₂ O ₃ (Fe total)	1.82	4.56	1.75	2.44	3.39	4.53	1.57	1.06
MnO	0.027	0.045	0.009	0.02	0.012	0.05	0.03	0.007
MgO	0.46	1.32	0.47	0.83	0.85	1.40	0.47	0.27
CaO	1.59	2.54	0.94	0.95	2.64	2.47	0.92	0.86
Na ₂ O	4.35	4.01	2.58	3.49	4.30	4.08	3.49	2.81
K ₂ O	5.45	1.43	3.88	3.54	1.91	1.42	2.02	2.86
TOTAL	100.15	100.58	100.07	100.42	99.88	101.42	101.85	100.01
FeO Calc.	2.03	3.00	1.80	1.40	3.79	5.00	0.11	1.02

Cuadro N° 4d

Grupo	IV-9	IV-10	IV-11	IV-12	IV-13	IV-14	IV-15	IV-16
Muestra	P270 ₃₁	P212 ₈₇	P414 ₂₈₅	P282 ₆₃	P424 ₂	P282 ₂₁₈	P424	P414 ₃₅
SiO ₂	69.93	90.36	66.65	77.2	52.57	69.61	57.9	69.62
TiO ₂	0.59	0.08	0.12	0.73	1.32	0.61	1.19	1.50
Al ₂ O ₃	16.30	3.40	18.25	12.10	18.50	14.95	16.1	17.78
Fe ₂ O ₃ (Fe total)	4.24	4.06	0.34	2.66	15.81	3.31	16.58	2.60
MnO	0.02	0.03	0.001	0.03	0.12	0.01	0.11	0.01
MgO	0.05	0.10	0.04	0.65	5.01	0.65	0.38	1.90
CaO	1.34	0.86	0.15	1.70	2.91	1.37	2.90	1.50
Na ₂ O	5.30	0.82	3.95	4.48	4.68	5.04	4.35	3.10
K ₂ O	2.45	0.13	10.41	0.75	0.19	3.55	0.16	1.81
TOTAL	100.22	99.71	99.51	100.30	101.11	99.10	99.67	99.82
FeO Calc.	3.81	1.34	0.30	2.97	10.50	1.74	12.64	1.00

Cuadro N° 4e

Grupo	V-1	V-2	V-3	VI-1	VI-2	VI-3
Muestra	P304	P270 ₂₁	E-17-0	20	P318	P438 ₁₇
SiO ₂	80.26	66.60	55.89	88.20	66.65	55.60
TiO ₂	1.28	0.24	0.66	0.008	3.96	1.67
Al ₂ O ₃	11.48	15.90	24.30	5.55	13.75	16.90
Fe ₂ O ₃ (Fe total)	1.63	12.52	7.17	1.04	2.01	10.31
MnO	0.05	0.005	0.06	0.024	0.01	1.69
MgO	0.85	0.13	3.16	0.39	0.84	5.24
CaO	0.09	1.34	2.67	0.25	0.07	1.69
Na ₂ O	2.20	3.65	4.86	2.12	3.18	6.18
K ₂ O	1.99	0.29	1.43	2.91	9.36	0.58
TOTAL	99.83	100.68	100.10	100.49	99.83	99.86
FeO Calc.	1.70	10.36	8.03	1.30	1.20	8.50

Cuadro N° 4f

Grupo	VII-1	VII-2	VII-3	VII-4	VII-5
Muestra	P212 ₇₃	P212 ₈₇	P212 ₉₅	P255	P269

ROCAS DE COMPOSICION CUARZO-MAGNETITA NO ANALIZADAS

INTERPRETACION DE LOS ANALISIS

Ciertas hipótesis son necesarias para interpretar la información química obtenida desde el punto de vista de la naturaleza probable de las rocas premetamórficas.

Obviamente, cualquier cambio de la composición de la porción principal de las rocas, como resultado de los procesos de metasomatismo, diferenciación metamórfica en gran escala, refusión, etc., puede invalidar este razonamiento.

En el caso presente, sin embargo, las descripciones de campo y petrográfico de las rocas del Complejo de Imataca implican, por el uso de términos como "estratificación", "meta-sedimentos" y "restos minerales", que no ha habido modificación química total. Además, la presencia común de formaciones de magnetita-cuarzo y meta-hierro, sugieren fuertemente que el metasomatismo no ha operado en escala regional. Dougan (1966), ha hecho un estudio cuidadoso de este punto y concluye que "...cualquier metasomatismo que haya ocurrido fue tan imperceptible, que las composiciones originales son aún fácilmente reconocidas". Finalmente, las rocas graníticas intrusivas son probablemente cuerpos palingenéticos generados por fusiones locales, donde las condiciones metamórficas requeridas fueron obtenidas y puede, por lo tanto, esperarse que retengan su composición química.

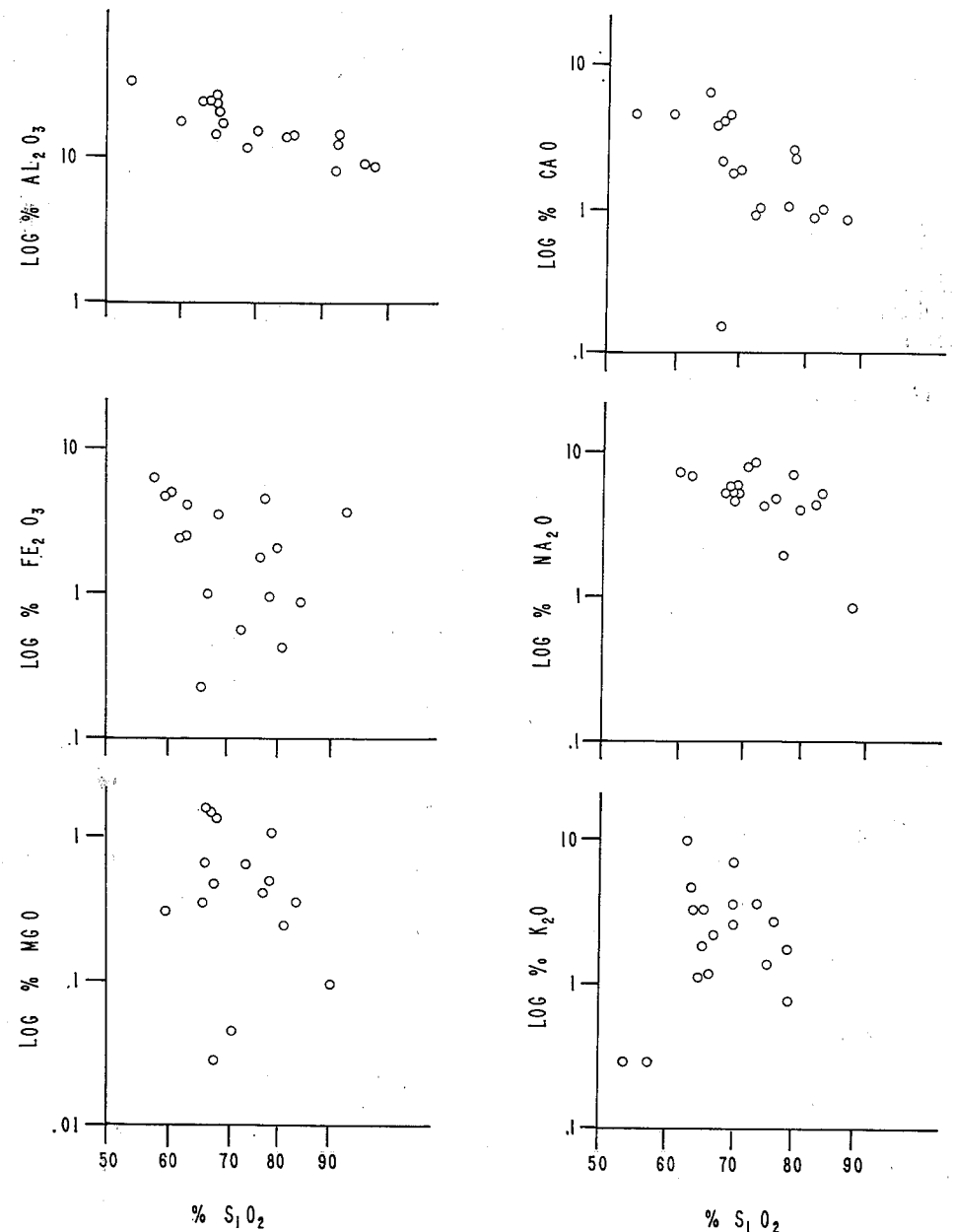
Las granulitas félsicas que predominan en el Complejo de Imataca han sido atribuidas al metamorfismo de rocas ígneas y sedimentarias, principalmente granitos y grauwacas o lutitas; ya que estas rocas ocupan campos coincidentes en el diagrama ACF, figura 1, su comparación directa por composición química no puede ser usada para distinguir una de la otra.

Sin embargo, es razonable asumir que en terrenos de rocas ígneas premetamórficas que tengan consanguinidad, un diagrama de variación de sílice puede ser utilizado con provecho.

Dicho diagrama mostraría una variación suave, entre el contenido de los diferentes óxidos y los de sílice de rocas ígneas, con las cuales están genéticamente relacionadas. Una aplicación de este análisis a las granulitas félsicas (Figura 2), muestra inmediatamente que no se obtienen curvas suaves, y la conclusión tentativa a que se llega es que las rocas precursoras no eran de carácter ígneo.

Otras distinciones químicas entre rocas ígneas y sedimentarias están indicadas en el trabajo de Richardson y Sneesby (1922), quienes calcularon la relación de frecuencia de los óxidos comunes que forman las rocas ígneas en base de la colección de 5.179 análisis de rocas frescas hechos por Washington. La información de ellos sugiere que es improbable encontrar rocas ígneas conte-

FIGURA 2
DIAGRAMA DE VARIACION DE SILICA
EN LAS GRANULITAS FELSICAS



niendo más de 75 por ciento de SiO_2 , 8 por ciento K_2O , 4,5 por ciento de Na_2O , y 15 por ciento hierro total como Fe_2O_3 . En adición, Mason (1966) dice que "los caracteres dominantes en la composición química de las rocas sedimentarias son el predominio de potasio sobre sodio, exceso de aluminio en la relación 1:1 a los alcalinos y calcio".

Cuando las muestras estudiadas en este trabajo son analizadas bajo este criterio, los resultados, como lo indica el Cuadro 5, sugieren fuertemente una afinidad sedimentaria. Esto es particularmente cierto, cuando se reconoce:

1º Que los campos químicos de

rocas ígneas y sedimentarias se recubren.

- 2º Que la información puede incluir la presencia de algunas rocas ígneas (Máficas).
- 3º Que las muestras de cuarzo-magnetita que no se incluyen en el análisis incuestionablemente se originaron como formaciones sedimentarias.

El alto contenido de alúmina, generalmente encontrado en una mayoría de las muestras, junto con la presencia de alta sílice y alto potasio en casi un tercio de las muestras, sugiere la composición química de las lutitas, subgrauwacas y protocuarcitas, como de rocas precursoras.

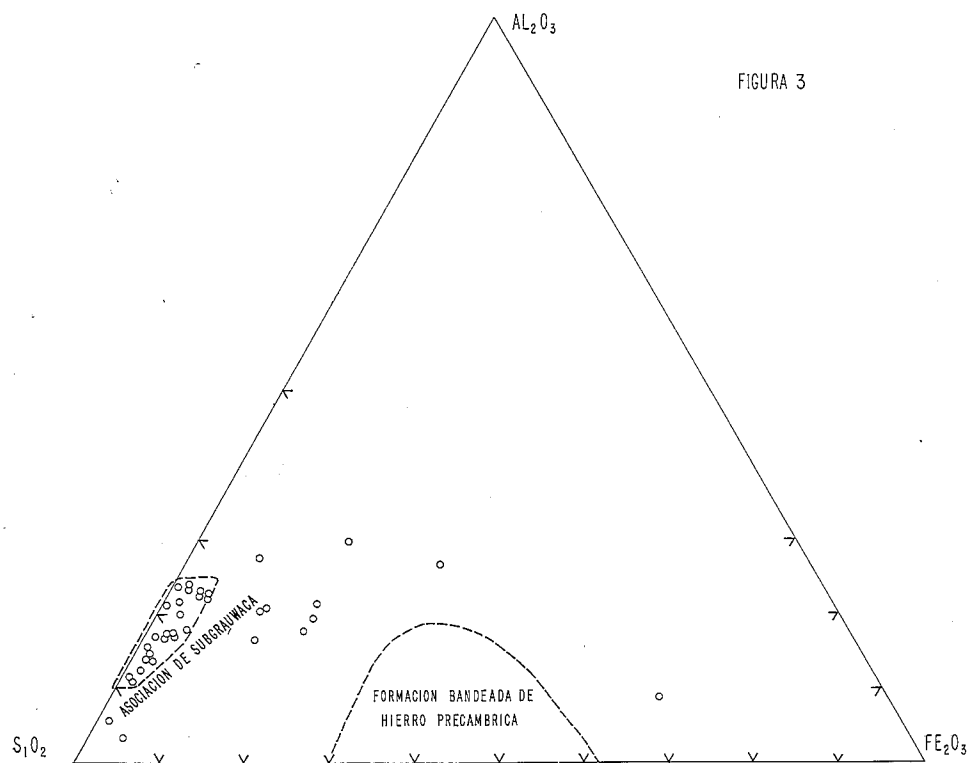


FIGURA 3

Cuadro 5
ANALISIS ESTADISTICOS DE VARIOS CRITERIOS QUIMICOS PARA ROCAS SEDIMENTARIAS

Criterio	% del total
$\text{SiO}_2 > 75\%$	25
$\text{K}_2\text{O} > 8\%$	10
$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 15\%$	10
$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Na}_2\text{O} > 4.5$	45
$\text{K}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O} > 1$	25
Prop. Mol. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} > 1$	85

Resumiendo: cuarenta muestras frescas de testigos de rocas metamórficas de la facies de la granulita del área de Guri, han sido examinadas en el presente estudio. Estas muestras pueden ser divididas en siete grupos distintos.

La Figura 1 y el Cuadro 4 se basan en la naturaleza química y petrológica de las muestras, aceptando siempre el principio ya establecido de que estas rocas han permanecido esencialmente sin cambio en su com-

posición original a través del episodio o los episodios metamórficos. Los análisis de criterio químico para la distinción de rocas ígneas o sedimentarias, favorece fuertemente la hipótesis de que las rocas de esta área fueron originalmente sedimentarias en su mayoría.

Utilizando la Figura 1, las rocas tipo precursoras u originales, y sus porcentajes del total, se consideran que han sido:

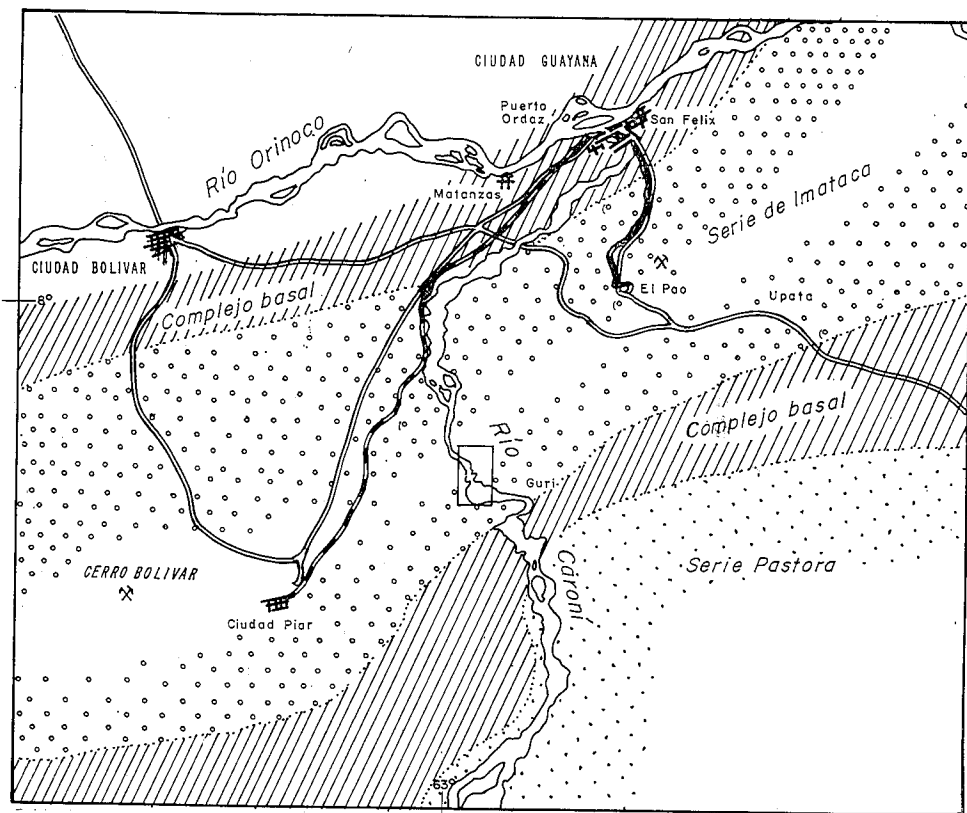
Grupo	Roca tipo	Porcentaje total
IV V	Lutitas y subgrauwacas	47,5
I III	Protocuarcitas, lutitas	17,5
VII	Formaciones de hierro	12,5
II VI	Rocas ígneas máficas y ultramáficas, incluyendo posiblemente alguna formación de hierro	22,5
		100.0

DISCUSION

Suponiendo que las rocas premetamórficas en Guri fueron predominantemente sedimentarias, los análisis de las muestras han sido indicados en un diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2\text{—Fe}_2\text{O}_3$ (Figura 3). La mayoría de los análisis de estas muestras caen cerca de la zona de composición de las areniscas, subgrauwacas, lutitas, barros terrestres (asociación subgrauwacas).

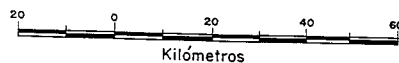
Es aparente, sin embargo, que muchas de las muestras (punteado en la figura) son deficientes en hierro cuando se comparan con rocas sedimentarias comunes. Esta deficiencia en hierro sugiere la remoción selectiva de este elemento en un terreno profundamente meteorizado y de su concentración en las zonas ferruginosas.

Un cálculo aproximado indica que una adición de cerca del 5 por ciento



ESQUEMA DE LA GEOLOGIA REGIONAL
ZONA DE GURI
EDO. BOLIVAR

ESCALA GRAFICA



de hierro en las formaciones de rocas cuyas composiciones se describen, las colocarían dentro del área de las rocas sedimentarias comunes. Sin em-

bargo, una cantidad mayor que la estimada, que fluctúa entre el 1 por ciento y 5 por ciento, fue hecha por Chase (1965) y De Ratmiroff (1965),

aceptándose dentro de las magnitudes como correctas. Con respecto a este punto, Govett (1966) nota que las pizarras que están por encima y por debajo de la formación de hierro Cuyuna Range (U.S.A.) son deficientes en hierro cuando se comparan con el promedio de rocas del Precámbrico.

La presencia de cantidades significantes de hierro dentro del Complejo de Imataca sugiere ciertas condiciones especiales que debieron existir en esta área, cuando rocas sedimentarias fueron depositadas en otras localidades.

Govett (1966) ha hecho una revisión y estudio exhaustivo de las varias teorías que han sido propuestas para el origen de las formaciones de hierro, y concluye que "de los conocimientos actuales del proceso geoquímico del hierro, y su probable paleoquímica que... las formaciones Precámbricas bandeadas de hierro... se han formado en ambientes lacustrinos o en cuencas cerradas". Además sostiene, que la diferencia entre el Precámbrico Medio y la formación posterior de depósitos puede atribuirse a diferencias en la corteza y y atmósfera terrestre, y al desarrollo de los procesos bióticos.

Las formaciones de hierro generalmente representan precipitados químicos *in situ*, y que son una expresión de la meteorización química debida a las condiciones climáticas similares a aquellas de las zonas de lateritas en los presentes días.

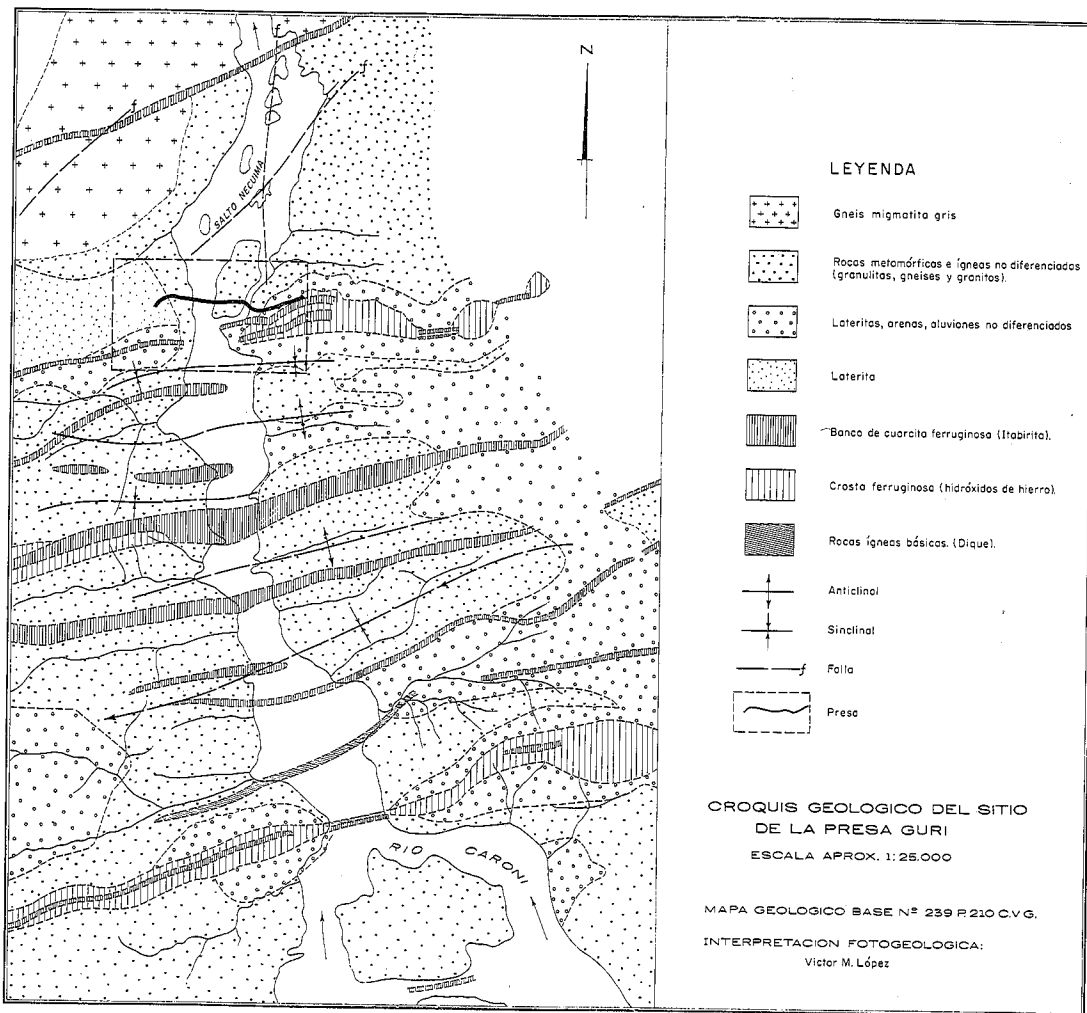
Tal proceso de meteorización química extensiva requiere un largo período de condiciones estables, y Gastil (1960) identifica varios períodos largos de tranquilidad excepcional a principios del Precámbrico, uno de

los cuales finalizó hace 2.7×10^9 años. De acuerdo a Posadas (1966), el paragneiss de Imataca tiene una edad de 2.700 a 2.900 millones de años, y esencialmente se formó durante un período tranquilo coincidente con tiempo de formación del Nyanzian, en Kenya (Saggerson, 1956), y el de Swaziland (Nicolaysen, 1962).

CONCLUSIONES

Las condiciones de profunda meteorización bajo condiciones tranquilas no son inconsistentes con las acumulaciones de lutitas, subgrauwacas y protocuarzitas que han sido deducidas como probables precursores de los gneisses de Imataca. Por lo tanto, el ambiente y la sedimentación inferida son más parecidos a los asociados a las condiciones requeridas en la deposición de grauwaca (molasa) con formaciones de hierro.

La existencia de formaciones de hierro no solamente sugiere la meteorización química profunda, sino que también la presencia en la atmósfera de oxígeno suficiente para formar hematita insoluble. La atmósfera original de la tierra no contenía oxígeno libre. El contenido de oxígeno en la atmósfera fue aumentando paulatinamente desde principios del Precámbrico, de manera que era todavía bajo para la época en que se depositaron los sedimentos precursores. Fuentes de oxígeno libre eran el proceso de fotodisociación, el vapor de agua, y posiblemente pequeñas cantidades de fotosíntesis en plantas simples. Sin embargo, la cantidad absoluta de oxígeno obtenible para el proceso de oxidación no es importante si la oxidación es precedida por una rápida reacción química. En estas condiciones, la extracción de oxígeno de la atmósfera



por la formación de hematita podrá simplemente inclinar el equilibrio del mecanismo de formación de oxígeno para proveer más O_2 . Mientras el ion de hierro era obtenible, la producción de O_2 y la formación de óxido férrico fue un proceso continuo. Cloud (1965) sugiere que la aparición de organismos generadores de oxígeno era necesariamente preliminar a la deposición de las formaciones de hie-

rrero. Esto es cierto, ya que los primeros organismos con aparente vida aparecieron hace 2.7×10^9 a 2.9×10^9 de años.

Otros indicios de la naturaleza de la atmósfera del Precámbrico Temprano son indicados por la carencia general de rocas calcáreas en el grupo de Guri.

Por lo que se refiere a la Figura 1,

se puede observar que ninguna de éstas contiene más de 35 mol. por ciento de CaO , donde contenidos altos de calcio son comunes en muchos de los sedimentos postprecámbricos.

Holland (1962) considera que la atmósfera en este temprano período contenía grandes cantidades de N_2 con menores de CO_2 y H_2O .

El CO primario, para este tiempo, había sido oxidado a CO_2 , de manera que la reacción no fue completa con el hierro por el O_2 . La carencia de animales no permitió la producción de dióxido de carbono, y si las plantas estaban presentes, el oxígeno generado por la descomposición de organismos ha debido estar esencialmente en el balance requerido por la fotosíntesis.

Debido al bajo contenido de CO_2 en la atmósfera, las reacciones que podían producir carbonatos es de esperarse que fueran mínimas; el bajo contenido de CaO en las rocas de Guri comprueba esta hipótesis.

BIBLIOGRAFIA

- CHASE, R. L. 1965. "El Complejo de Imataca, la anfíbolita de Pánamo y la Tronjenita de Guri, rocas Precámbricas del cuadrilátero de Las Adjuntas-Pánamo, Estado Bolívar, Venezuela". *Bol. de Geol.*, V. 4, n° 9.
- CLOUD, P. E. 1965. "Significance of the Gunflint (Precambrian) Microflora". *Science*, V. 148.
- DENNEN, W. H., y FOWLER, W. G. 1955. "Spectrographic analysis by use of mutual standard method". *Bull. Geol. Soc. Am.*, V. 66.
- DE RATMIROFF, G., 1965. "Origen y metamorfismo del paragneiss principal del Complejo Precámbrico de Imataca. Cuadrilátero de Upata, Edo. Bolívar, Venezuela". *Bol. de Geol.*, V. 7, n° 13.

DOUGAN, T. 1966. "Origin and metamorphism of Imataca and Los Indios Gneisses, Precambrian rocks of the Los Indios, Pilar area, state of Bolívar, Venezuela". PhD thesis, Dept. of Geology, Princeton Univ.

ESKOLA, P. 1939. *Die Entstehirnder Gesteine*, Springer, Berlin.

GASTIL, G. 1960. "The distribution of mineral data in time and space". *Am. Jour. Sci.*, V. 258.

GOVETT, G. J. S. 1966. "Origin of banded iron formations". *Bull. Geol. Soc. Am.*, V. 77, n° 11.

HOLLAND, H. D. 1962. "Model for the evolution of the earth's atmosphere".

KALLIOKOSKI, J. 1965. "Geología de la parte norte-central del Escudo de Guayana, Venezuela". *Bol. de Geol.*, V. 7, n° 13.

MASON, B. 1966. *Principles of Geochemistry*. 3 Edition. John Wiley and sons, inc.

NEWHOUSE, W. H., y ZULOAGA, G. 1929. "Gold deposits of the Guayana Highlands, Venezuela". *Econ. Geol.*, V. 24, n° 8.

PETTIJOHN, F. J. 1957. *Sedimentary Rocks*. Harper and Brothers, N.Y.

NICOLAYSEN, L. O. 1962. "Stratigraphic interpretation of Rb/Sr measurements in South Africa" in: Petrologic studies. *Bull. Geol. Soc. America*, V. 73.

POLDERVAART, A. 1955. "Chemistry of the earth's crust" in "Crust of the earth"; *Geol. Soc. Am., Special Paper 62*.

POSADAS, V. C. I. de, 1966. "Rb/Sr whole rock age in the Imataca Complex, Venezuela". Ms, thesis Dept. Geol. & Geoph. MIT.

RICHARDSON y SEESBY, 1922. *Mineralogical Magazine*, V. 19.

SAGGERDSON, E. P. 1956. "The banded ironstones of the Nyanzian system, Kenya", *Comm. for tech. Cooperation in Africa South of the Sahara*, Ist. Mtg. East Central Regional Comm. Dar-es-Salaam.

ZULOAGA, G. y TELLO, M. 1939. "Exploración preliminar de la Sierra de Imataca". *Rev. de Fomento (Venezuela)*, V. 3, n° 19.