

Estudio mineralógico de los sedimentos del fondo del Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela

Donald Goddard¹

Resumen

Sedimentos obtenidos por dragado del fondo del golfo de Cariaco fueron analizados para conocer los minerales que constituyen la fracción arenosa y la fracción limo-arcillosa. Se utilizó el método de separación por bromoformo para obtener los minerales livianos y pesados, los cuales se identificaron con un microscopio petrográfico polarizante. Los minerales de arcilla en la fracción limo-arcillosa se identificaron por difracción de rayos - X.

Los minerales más abundantes en el fondo del golfo

son el cuarzo y los minerales opacos, con una cantidad menor de minerales pesados de origen metamórfico. Los minerales de arcilla en los sedimentos limo-arcillosos son la illita, la clorita y la caolinita. En este material fino también existen los minerales no arcillosos como el cuarzo, el yeso y la calcita.

La distribución de los minerales en el fondo del golfo se debe a varios factores de los cuales los más importantes son la proximidad de la fuente, la topografía submarina y las corrientes marinas.

Introducción

La mineralogía de los sedimentos recientes en algunos sitios de la costa y fondo de la plataforma continental venezolana, ha sido estudiada previamente con énfasis a los minerales pesados. En estudios regionales de la costa entre cabo Codera, Edo. Miranda y cabo San Román, Edo. Falcón (GODDARD & PICARD, 1972/1976; PICARD & GODDARD 1975) fue señalada la relación entre los minerales pesados y la petrografía de las rocas, fuentes de los minerales. Se menciona la influencia de las condiciones climatológicas y de los medios de transporte, tales como los ríos y corrientes litorales, sobre la distribución de los minerales. En los trabajos más locales en áreas de la plataforma continental en el Oriente del país (PEREZ NIETO, 1972; PICARD, 1974) se ha demostrado que la topografía submarina, las corrientes marinas y las condiciones meteorológicas, juegan un papel importante en el control de la distribución de minerales pesados.

El objetivo de esta investigación es presentar una descripción detallada de los minerales pesados encontrados en los sedimentos recientes de la costa y fondo del golfo de Cariaco; conocer los minerales que forman los sedimentos finos y observar la relación que tienen con las rocas metamórficas y sedimentarias que rodean el golfo de Cariaco. Otro propósito de la investigación es compilar un manual con métodos de trabajo, explicación de técnicas analíticas utilizadas, y descripción de los minerales más comunes del área, para mejorar los conocimientos de los estudiantes o investigadores que no estén familiarizados con este tipo de investigación.

Generalidades Geológicas y Fisiográficas

El golfo de Cariaco mide aproximadamente 62 km de largo en sentido este-oeste, delimitándose por Cumaná y punta Arena en la parte occidental, y el Muelle de Cariaco y la laguna de Campoma en la parte oriental (Fig. 1). La parte más ancha del Golfo mide aproximadamente 14,8 km con su borde al norte limitado por la península de Araya. Las aguas del golfo de Cariaco cubren un área aproximada de 575 km², con una profundidad de entre 80 m y 100 m en la parte central.

MORALES & OTTMAN (1961) describen el golfo de Cariaco como una fosa tectónica alargada. Se considera que el golfo es un graben entre los horst formados por el bloque Araya-Paria con las fallas de Cariaco y Laguna Grande al norte y la falla de El Pilar y el bloque de la serranía del Interior hacia el sur (SCHUBERT, 1972; CARABALLO, 1973; MACSOTAY & CARABALLO, 1976).

Estudios geológicos del bloque formado por la península de Araya (BALDA, 1960/63; VIGNALI, 1965; MACSOTAY, 1965; BERMUDEZ, 1966; SCHUBERT, 1972) señalan el predominio de rocas metamórficas de edad Mesozoica. Afloran rocas sedimentarias del Cenozoico Tardío y del Pleistoceno en el extremo occidental de la península y en la parte sureste cerca de Campoma (MACSOTAY & CARABALLO, 1976). Las metamórficas consisten principalmente de esquistos cuarzo-micáceos granatíferos, filitas cloríticas y una cantidad menor de mármol y cuarcita. Estas rocas exhiben el grado de meta-

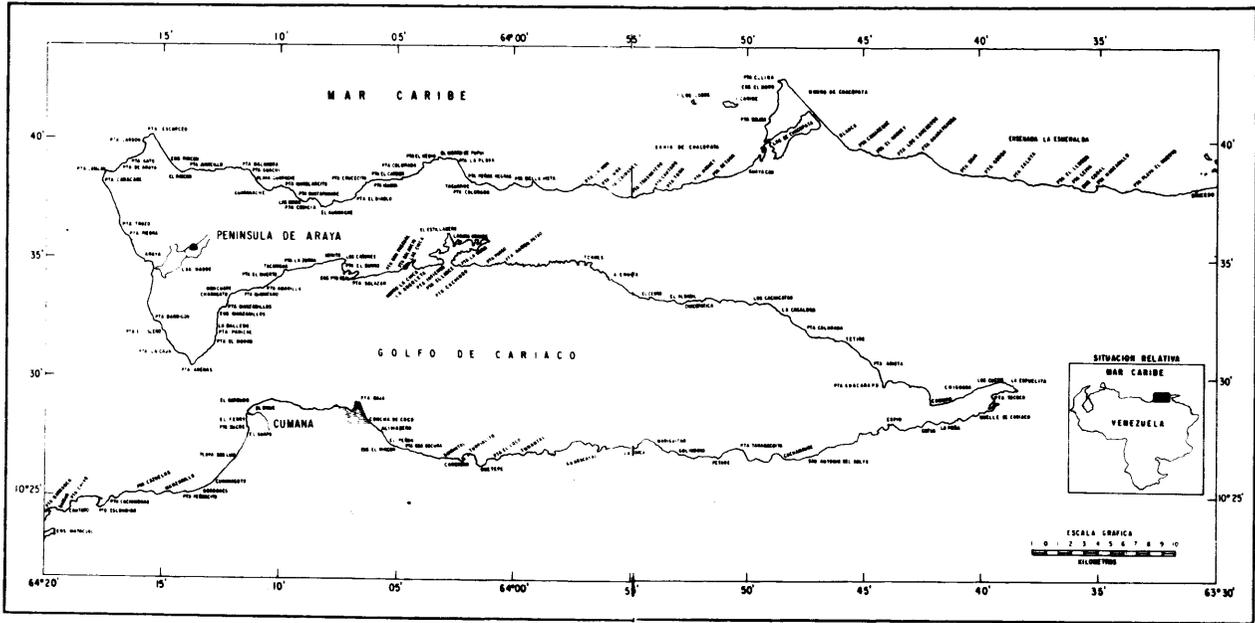


FIGURA 1. Mapa índice del Golfo de Cariaco.

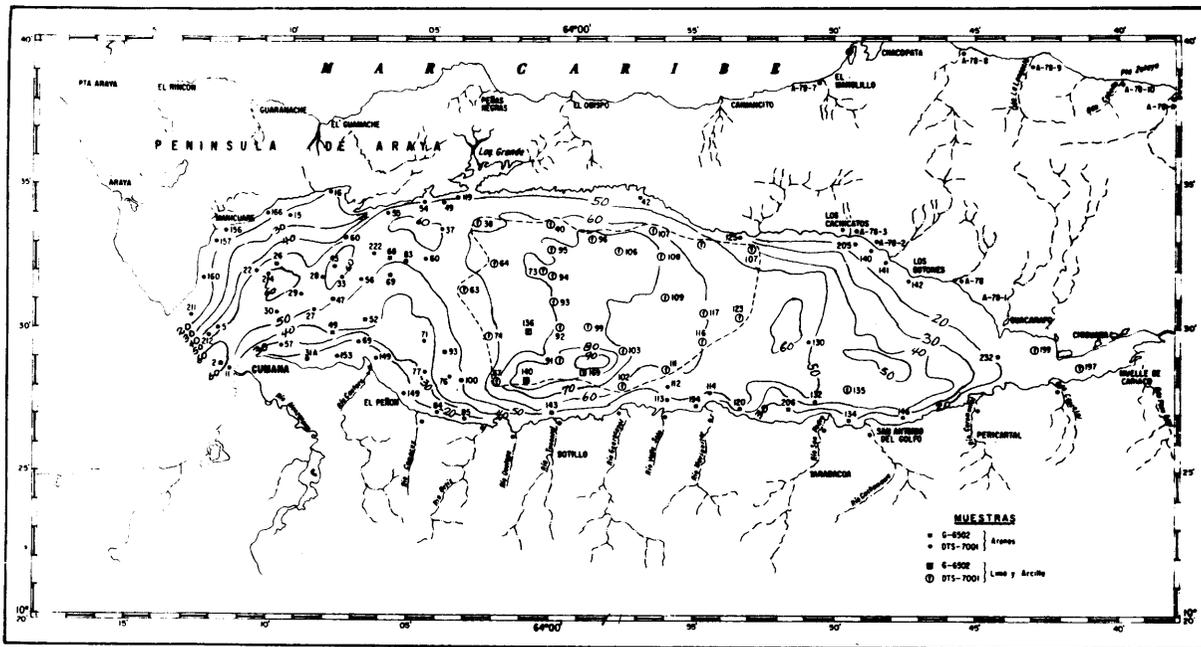


FIGURA 2. Mapa de ubicación de las muestras (Batimetría en metros, según Macsotay y Morelock, 1970).

morfismo regional de la facies del esquistos verde. Las rocas sedimentarias que se encuentran en el sector occidental de la península de Araya están compuestas de conglomerados con fragmentos metamórficos, areniscas ferruginosas, areniscas limolíticas calcáreas, y lutitas y limolitas calcáreas, muy fosilíferas. En la parte sureste en la región de Chiguana los sedimentos consisten de arcillas, arcillas arenosas y calizas.

El bloque situado al sur del golfo de Cariaco y formado por la Serranía del Interior, contiene rocas que pertenecen en su mayoría al grupo Sucre de Edad Cretácea (HEDBERG, 1950; Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1970). Todas las rocas que se encuentran en este Grupo son sedimentarias, siendo principalmente, calizas, areniscas y lutitas, las cuales pueden representar la etapa inicial de un ciclo sedimentario transgresivo. Una de las unidades inferiores del grupo, es la formación Taguarumo (GUILLAUME et al 1969; MACSOTAY, 1975) y cuyas rocas forman los afloramientos más abundantes al sur del golfo de Cariaco. Las areniscas, lutitas y limolitas de esta Formación constituyen una alternancia de sedimentos de ambiente marino sublitoral y de plataforma de aguas someras según la evidencia faunística (MACSOTAY, 1975).

Sedimentos cenozoicos y del Cuaternario que afloran en el borde sur del golfo de Cariaco, son localizados alrededor de Cumaná (ASCANTO & PEREZ NIETO, 1965; BERMUDEZ, 1966; ASCANIO, 1972; MACSOTAY, 1975). Los cerros de Caigüire están constituidos por rocas sedimentarias de edad Mio-Plioceno (ASCANIO, 1972) o del Pleistoceno (MACSOTAY, 1975) con litología que varía entre arcillas y gravas, calizas, coquina y margas. El material Cuaternario consiste de un delta formado por sedimentos depositados por el río Manzanares y sobre el cual fue construida la ciudad de Cumaná, y los cerros conglomeráticos llamados cerro Colorado, cerro del Medio y una parte del cerro Cascajal.

El clima de la región (datos del Centro Meteorológico de la U.D.O.; VILA, tomo I, 1960) es árida a subárida con una baja precipitación de promedios mensuales entre 1,4 mm y 82 mm. La temperatura fluctúa anualmente entre 23°C y 30°C y los vientos soplan del este, noreste y este-noreste con un promedio de 4,2 mts/seg. La vegetación asociada con este clima es xerófila, y consiste de tunas, cardones y cujés, sobre todo en la península de Araya. El mangle abunda alrededor del golfo formando fajas estrechas en partes de la costa y en los estuarios.

Estos rasgos climatológicos y la poca vegetación inciden en la topografía de la región. Las rocas son altamente meteorizadas y luego erosionadas con facilidad por las fuertes lluvias ocasionales. El material erosionado

es llevado por las quebradas una corta distancia hasta el golfo de Cariaco, acumulándose en el fondo del mismo los minerales provenientes de las rocas metamórficas y sedimentarias que lo bordean.

Métodos de trabajo y técnicas analíticas

Las muestras utilizadas para este estudio fueron de la serie G-6502 y DTS-7001 obtenidas por dragado con el buque Guaiquerí I en 1965 y por la lancha Dios Te Salve en 1970. Estas muestras estaban archivadas en el depósito de muestras del Departamento de Oceanografía Física y Geológica del Instituto Oceanográfico de la UDO. Se escogió una cantidad total de 82 muestras representativas, 62 muestras arenosas y 20 muestras de limo y arcillas. (Figura 2).

Generalmente se utilizan dos métodos en la separación con bromoformo. Una se logra con tubos de ensayo con cuello y centrífuga, y la otra con embudos de separación. Finalmente para su estudio bajo el microscopio petrográfico se montan los minerales pesados en una lámina de vidrio (porta objeto) en bálsamo de Canadá (CAEDAX) y se protegen con un cubre objeto de vidrio.

El estudio mineralógico del material arcilloso se efectuó con el método de difracción de rayos X. Las muestras fueron secadas en una estufa por 24 horas a 110°C. Se utiliza aproximadamente 1,0 gramo de muestra seca, la cual se tritura en un mortero añadiendo acetona hasta obtener una pasta; al secarse la acetona queda un polvo fino, que se pone sobre una gota de pega encima de una lámina de vidrio de tamaño 4,5 x 1,5 cm; se añaden unas gotas de acetona y se extiende el material sobre la lámina con una espátula hasta formar una superficie uniforme. Al secarse la muestra, la lámina se enumera y está lista para ser analizada por difracción de rayos X. De esta manera se obtiene una muestra de partículas no orientadas y cuyo análisis señala los picos de la mayoría de los minerales presentes en la muestra.

Para obtener solamente los minerales de arcilla hay que utilizar el método de flotación, en donde se mantiene en suspensión las arcillas y se hunden los demás minerales. La muestra se dispersa en agua destilada con un agitador magnético, o utilizando un dispersante como una solución de calgón. Luego se deja asentar la muestra en el agua por varias horas. Después de 2 ó 3 horas, el agua superficial se extrae con una pipeta o un gotero (1 cm a 2 cm). Esta agua debe tener en suspensión los minerales de arcilla de tamaño entre 3 micras y 5 micras. De la pipeta, el líquido con arcillas en suspensión se coloca sobre una lámina de vidrio y se deja secar al aire. Al secarse la muestra sobre la lámina, está lista para el análisis por difracción de rayos X.

Mineralogía de los sedimentos arenosos

El mineral más abundante en las arenas del fondo del golfo de Cariaco es el cuarzo. Este mineral, en las muestras estudiadas es el cuarzo sedimentario, retrabajado y con extinción recta o ligeramente ondulatoria. Tiene abundantes inclusiones las cuales pueden ser un vacío u otro mineral. El cuarzo presenta forma subangular y subredondeada en la mayoría de las muestras, pero también abundan granos angulares. Se estima que el cuarzo representa más del 98% de la muestra resistente al ácido clorhídrico o residuo insoluble. El mineral proviene de las rocas metamórficas de la península de Araya, y de las rocas sedimentarias de la Serranía del Interior.

Los minerales opacos forman el grupo de minerales más abundantes después del cuarzo. Estos minerales pesados forman aproximadamente 1,0% a 1,5% de las arenas del fondo del golfo. En las muestras estudiadas, se identificaron principalmente magnetita y hematita, con cantidad menor de limonita. La ausencia de leucóxeno hace pensar que no han sido depositados, ni ilmenita, ni otros minerales titaníferos en las arenas del fondo del golfo, ya que éstos comúnmente son alterados hasta formar leucóxeno. También existen unas formas opacas, redondeadas, pisolíticas, que son, foraminíferos planktónicos, cuyos esqueletos calcáreos fueron reemplazados por hematita o limonita.

Las micas, los minerales ultra-estables, y los meta-estables, contribuyen menos del 1% de los minerales pesados.

De los minerales micáceos se identificaron la biotita y la clorita, en algunas de las muestras estudiadas. La poca cantidad de minerales micáceos identificados no es significativo de la cantidad real que pueda existir, ya que por su forma y comportamiento hidráulico, no se hunden con facilidad en el bromoformo (FOLK, 1961).

La mica ha sido utilizada para determinar regímenes deposicionados en la plataforma continental (DOYLE et al 1967) señalando la presencia de material fino con la cual se deposita el mineral.

Se puede decir que existe una correlación directa entre la cantidad de minerales micáceos presentes y el contenido arcilloso en los sedimentos de fondo. La correlación se presta bien para los sedimentos del fondo del golfo de Cariaco, ya que en las muestras limosas y arcillosas estudiadas abundan los minerales micáceos. La fuente principal de estos minerales son las rocas metamórficas de la península de Araya.

De los minerales ultra-estables se identificaron el Zircón y la turmalina. Estos minerales, debido a su dureza, pueden soportar la abrasión durante su transporte, y

cuando los sedimentos son retrabajados en el fondo (FOLK, 1961). Casi siempre aparece una cantidad mayor de zircón que de turmalina.

Los minerales pertenecientes al grupo de los meta-estables son los más abundantes. Los más diagnósticos de una fuente metamórfica y en orden de abundancia son estauroлита, cianita, cordierita, andalusita y silimanita. La presencia del mineral estauroлита significa que las rocas metamórficas de donde proviene eran originalmente sedimentarias (KERR, 1959).

Presentes en menores cantidades, y también indicativo de una fuente metamórfica, fueron identificados los minerales granate, zoisita y glaucofano. Estos tres minerales son el resultado de un metamorfismo regional de sedimentos pelíticos con almandita, como el granate típico de esquistos granatíferos y comúnmente acompañados por zoisita. El glaucofano tiene un paragénesis similar a la del granate y a la de la zoisita, con temperaturas y presiones iguales a los que forman los esquistos verdes (DEER et al 1966). Sin duda alguna, la fuente de estos minerales es las rocas metamórficas de la península de Araya.

A continuación se presenta una descripción de los minerales pesados identificados, con sus propiedades ópticas y físicas, en el orden de la abundancia.

Opacos

Hematita, Fe_2O_3 , Hexagonal, p.e. 5,26

Bajo luz reflejada tiene un color de negro a rojizo. Tiene la superficie áspera y ligeramente transparente en el margen, en algunos casos.

Limonita, $\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, amorfo, p.e. 3,6-4,0

De color marrón bajo luz reflejada, a veces nodular. Se encuentra reemplazando el esqueleto de los foraminíferos.

Magnetita, Fe_3O_4 , Isométrico (octaedro), p.e. 5,18.

De color negro con brillo metálico bajo luz reflejada.

Transparentes

Estauroлита, (B+), $2\text{Al}_2\text{SiO}_5\text{Fe}(\text{OH})_2$, ortorómbico, p.e. 3,70.

De color amarillo claro, pleocroico y con formas que varían entre alargadas, subangulares y subredondeadas. Tiene un alto relieve, birefringencia débil bajo nicoles cruzados (amarillo de primer orden) y la extinción es paralela.

Cianita, (B-), Al_2SiO_5 , triclinico, p.e. 3,55-3,66.

Sin color, no pleocroico en los cristales estudiados y con formas tabulares alargadas. Tiene un relieve alto, birefringencia moderada y un ángulo de extinción de 30°.

Cordierita, (B-), $Mg_2 Al_4 Si_4 O_{18}$, ortorómbico, p.e. 2,66. Sin color, no pleocroico, el hábito prismático corto y la forma pseudo-hexagonal se han perdido durante el transporte; los cristales tienen los bordes angulares a subangulares. Tiene abundantes inclusiones, relieve bajo, birefringencia débil muy parecida a la del cuarzo, y la extinción paralela. Se distingue del cuarzo solamente por la figura de interferencia que es biaxial negativo, en cuanto al cuarzo es uniaxial.

Andalusita, (B-), $Al_2 SiO_5$, ortorómbico, p.e. 3,16-3,20. De color marrón rojizo a rojizo, pleocroico. Algunos cristales son euhedrales o agregados columnares en formas rectangulares bien definidas. Tiene relieve alto, birefringencia débil y extinción paralela.

Zircón, (U+), $ZrSiO_4$, tetragonal, p.e. 4,68. Sin color, con forma de prisma corto pero redondeados en la mayoría de los casos. El relieve es extremadamente alto, tiene una birefringencia bastante fuerte y extinción paralela. Contiene abundante inclusiones.

Granate, (Almandita), $Fe_3 Al_2 (SiO_4)_3$, isométrico, p.e. 3,5-4,3. De colores claros a rojizos, a marrón, con formas subangulares a subredondeados. Bajo luz polarizada (nícoles cruzados) es isotrópico (no transmite luz) y tiene un relieve bastante alto.

Turmalina, (U-), $Na Fe_3 B_3 Al_3 (OH)_4 (Al_3 Si_6 O_{27})$, hexagonal, p.e. 3,0-3,25. De color marrón a oliva, pleocroico. Los cristales tienen formas prismáticas alargadas o columnares. Tiene un alto relieve, una birefringencia moderada a fuerte y extinción paralela.

Zoisita, (B+), $Ca_2 (Al, Fe)_3 (OH) (SiO_4)_3$, ortorómbico, p.e. 3,25-3,27. Sin color, algunas con formas columnares y otras subangulares a subredondeadas. Tiene un alto relieve, una birefringencia moderada a débil con un color azul bajo luz polarizada (nícoles cruzados) y extinción paralela.

Sillimanita, (B+) $Al_2 SiO_5$, ortorómbico, p.e. 3,55-3,66. Sin color y de cristales pequeños prismáticos y delgados. Tiene un alto relieve, birefringencia moderada con colores de interferencia hasta de azul de segundo orden, y extinción paralela. Este mineral no es muy común en el tamaño de grano estudiado (125 micras), pero sí es más

frecuente en materiales de grano más fino.

Biotita, (B-), $K_2 (Mg, Fe)_2 (OH)_2 (AlSi_3 O_{10})$, monoclinico, p.e. 2,8-3,2.

De color marrón y marrón rojizo, pleocroico con forma de agregados laminares y con inclusiones. Tiene un relieve no muy alto, birefringencia fuerte hasta rojo de segundo orden y extinción casi paralela en la mayoría de los casos.

Clorita, (B+), $Mg_5 (Al, Fe) (OH)_8 (AlSi)_4 O_{10}$, monoclinico, p.e. 2,6-2,9.

De color verde a verde oscuro, pleocroico de cristales laminares subredondeados. Tiene un relieve no muy alto, birefringencia débil y extinción casi paralela.

Glaucofano, (B-), $Na_2 Mg_3 Al_2 (OH)_2 (Si_4 O_{11})_2$, monoclinico, p.e. 3,4.

De color azul a violeta, pleocroico de cristales subredondeados y subangulares. Tiene un relieve bastante alto, birefringencia moderada, y extinción casi paralela (4° - 5°).

Mineralogía de los sedimentos limo-arcillosos

Debido a que no es posible determinar fácilmente la composición mineralógica de los sedimentos de limo-arcilla con el microscopio petrográfico, es necesario utilizar el método de difracción de rayos X, así se logró la determinación de los minerales de arcilla y los no arcillosos. Mediante una radiación de cobre (Cuka) con un filtro de nickel (Ni) para retener los rayos no requeridos; la velocidad del goniómetro fue de 1°/minuto, la intensidad de 2×10^2 c.p.s. y un tiempo constante (T.C.) de 2 segundos; la energía generada fue de 40 kilovatios (KV) y 20 miliamperios (MA); se comenzó con un ángulo de 3° (2θ) para todas las muestras y se llevó hasta 60° (2θ) en algunos casos.

Con estas especificaciones fue posible obtener los picos principales de los minerales presentes (Tabla 2), identificados en los difractogramas. Estos fueron similares para todas las muestras y un difractograma típico se puede observar en la Figura 3.

El cuarzo, la calcita y el yeso forman los componentes no arcillosos, y la illita, la caolinita y la clorita, los minerales de arcilla (Fig. 4). El cuarzo, igual que en los sedimentos arenosos, es común en todas las muestras finas del fondo del golfo de Cariaco, y se distingue por los picos principales de 4,26 Å y 3,33 Å. La calcita, que proviene principalmente de organismos calcáreos como moluscos y foraminíferos, se reconoce por su pico principal de 3,03 Å. Cristales de yeso se encuentran con fre-

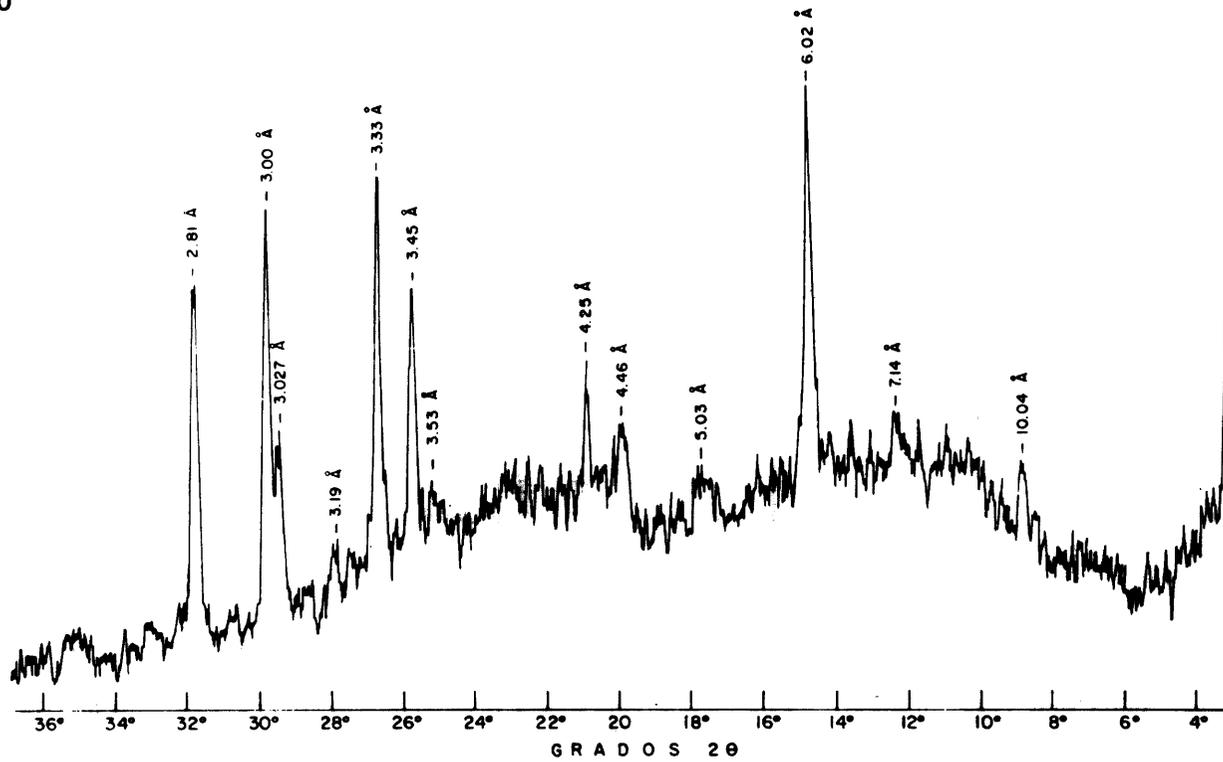


FIGURA 3. Difractograma típico de material limo-arcilla del fondo del golfo de Cariaco.

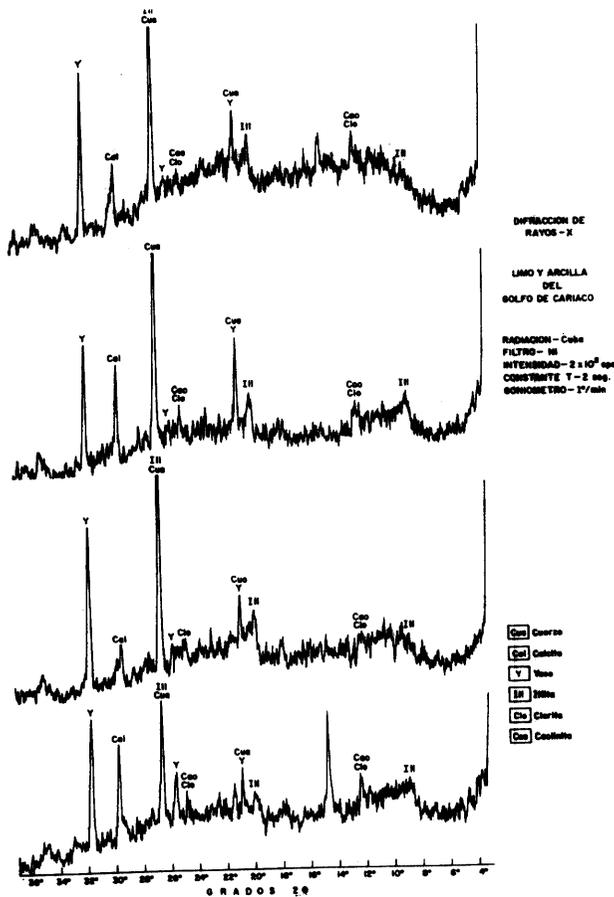


FIGURA 4. Los picos de los minerales principales en cuatro muestras del fondo del golfo de Cariaco.

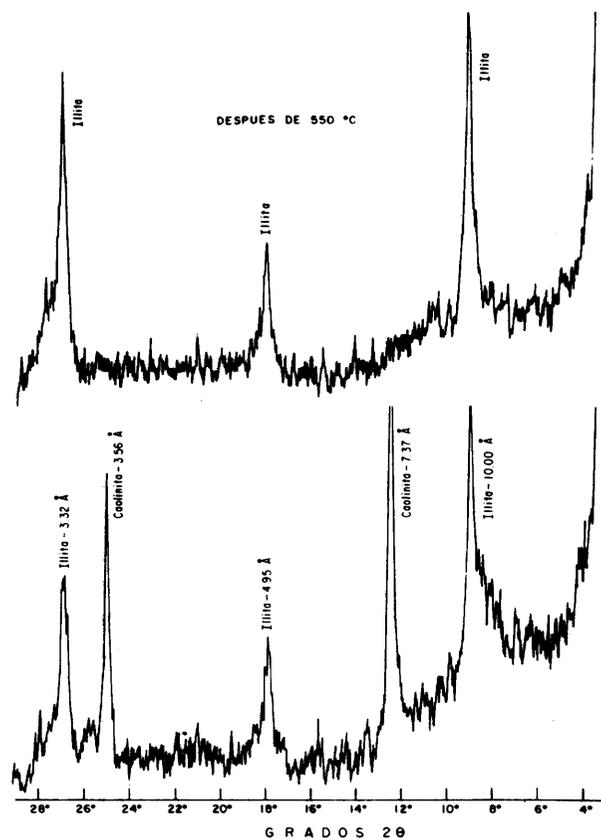


FIGURA 5. Los picos de la illita y la caolinita. Los de la caolinita desaparecen después de 550°C, en una muestra del fondo del golfo de Cariaco.

cuencia en la mayoría de los sedimentos finos, y sus picos principales de 4,25 Å y 2,81 Å aparecen en todos los difractogramas de las muestras analizadas. Hay dos posibilidades para el origen del yeso: 1.- Que las condiciones físico-químicas del fondo del golfo de Cariaco son aptas para la precipitación *in situ* de yeso del agua de mar, y 2.- que el yeso es traído por quebradas de los sedimentos yesíferos de la formación Chiguana (BALDA, 1960; MACSOTAY y CARABALLO, 1976) y depositados en el fondo del golfo de Cariaco.

El mineral de arcilla que predomina en los sedimentos finos del fondo del golfo de Cariaco es la illita, que se detecta en el difractograma por sus picos principales alrededor de los 10,0 Å, uno de 4,46 Å y otro de 3,33 Å como el del cuarzo. La clorita acompaña la illita en la fracción fina y sus picos diagnósticos son los de 7,14 Å y la de 3,53 Å. Otro pico característico, el de la clorita a 14,2 Å, no resaltó en los difractogramas. Este mineral también está presente en las muestras arenosas de fondo, y al igual que la illita, se produce a través de la desagregación y meteorización de rocas metamórficas tales como las filitas de la península de Araya.

Debido a la semejanza de los picos de la caolinita con los de la clorita, es difícil de identificar la caolinita cuando los dos minerales existen conjuntamente. En estudios similares (PEI-YUAN CHEN, 1978) de sedimentos de fondo se pudo comprobar la presencia de caolinita con un barrido muy lento entre los ángulos 24,8° y 24,9° 2θ para obtener un buen pico de 3,57 Å, que caracteriza a la caolinita. En este sentido, se comprobó la existencia de caolinita en unas muestras de arcilla tomadas en la costa norte del golfo de Cariaco, cerca de Chiguana. Las muestras se analizaron para compararlas con los sedimentos finos de fondo. En la preparación no-orientada (*smear mount*) de la muestra de la costa, los resultados son casi idénticos a los sedimentos de fondo por la presencia de los picos principales de los minerales illita, caolinita o clorita, yeso y calcita. Con una preparación orientada por métodos de flotación para obtener solamente minerales de arcilla, aparecen los picos de illita y clorita-caolinita (Fig. 5). Después de calentar la muestra por una hora a una temperatura de 550°C, desaparecen todos los picos menos de illita.

La desaparición de los picos de 7,13 Å y 3,56 Å significa que el mineral presente era la caolinita, cuya estructura es destruida sobre los 500°C. Si el mineral presente hubiera sido la clorita, su pico principal de 14,3 Å hubiera resaltado.

En los sedimentos limo-arcillosos del fondo del golfo de Cariaco persiste, en casi todas las muestras analizadas, un mineral con un pico principal alrededor de los 6,0 Å entre 14° y 15° 2θ (Fig. 15). No fue posible iden-

tificar el mineral con este pico "misterioso". Existen muy pocos minerales con un pico principal entre 6,0 Å y 6,1 Å y de éstos se presentan tres minerales no comunes que pueden corresponder al mineral no identificado, a saber:

1) FROLOVITA $\text{Ca B}_2\text{O}_4 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$

dÅ - 6,08 3,86 3,47

I/I - 100 90 80

(Un hidrato de calcio y boro.

2) NASINITA $\text{Na}_4\text{B}_{10}\text{O}_{17} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

dÅ - 5,27 5,99 2,90

I/I - 100 95 70

(Un hidrato de sodio y boro.

3) HIDROMOLISITA $\text{Fe Cl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

dÅ - 6,00 3,14 2,76

I/I - 100 75 550

(Un hidrato de cloruro de hierro.

Distribución de los minerales

La península de Araya y la Serranía del Interior contribuyen con la mayor parte de los sedimentos de fondo del golfo de Cariaco. Además de las fuentes, las variaciones en la topografía submarina, y por lo tanto, el tipo de sedimento (arena, limo, arcilla) juegan un papel importante en la distribución de los minerales.

El cuarzo persiste a través de todo el fondo del golfo. Los minerales pesados se encuentran en las zonas someras del borde norte alrededor del golfo y en la parte occidental del mismo (Fig. 6). La parte central más profunda contiene sedimentos limo-arcillosos con los minerales de arcilla, illita, clorita y caolinita, y los no arcillosos, cuarzo, calcita y yeso. El fondo del sector oriental consiste en su mayor parte de sedimentos finos, cuya mineralogía es casi idéntica que la de la parte central.

El fondo arenoso somero del borde sur del golfo de Cariaco consiste principalmente de cuarzo y los opacos, magnetita y hematita. Los minerales metamórficos (estauroлита, cordierita, andalusita, glaucofano y otros) fueron traídos por corrientes marinas, de las cuales se tiene poca información, y posiblemente por los vientos alisios del norte y noreste. Ello se fundamenta en que las quebradas del borde septentrional del golfo entre Cumaná y el Muelle de Cariaco, que transportan sedimentos de la Serranía del Interior hasta el golfo, carecen de estos minerales u otros pesados transparentes y solamente contienen cuarzo y opacos, lo cual es de esperar debido a la geología de la Serranía del Interior.

Las muestras estudiadas han demostrado una escasez de minerales pesados. Por lo tanto, es bastante difícil dividir el área en provincias mineralógicas. Sin embargo,

un grupo variado de minerales si existe aunque en pocas cantidades y con una proliferación de minerales de origen metamórfico. De éstos, la estaurólita es el mineral más abundante y con la mayor distribución después de la mica (biotita). La cianita y la andalusita son menos frecuentes y la silimanita es rara, en el tamaño de grano estudiado, si bien se encuentran con más frecuencia en tamaños más finos. El zircón y la turmalina tienen una distribución amplia, pero en pequeñas cantidades; el granate es más escaso. La cordierita, aunque tiene un peso específico de 2,6, se encontró con bastante frecuencia en las muestras estudiadas, casi siempre acompañando a la estaurólita. La zoisita se encuentra en muy pequeñas cantidades en el fondo somero cerca de la costa norte del golfo de Cariaco. En algunas muestras se identificó glaucofano.

Al tratar de interpretar la distribución de los minerales, uno se da cuenta que existe un cierto patrón para los minerales estaurólita, cianita y glaucofano (Fig. 7); la estaurólita se concentra principalmente en el extremo occidental del golfo. La cianita por el contrario, se encuentra hacia la parte oriental, y el glaucofano entre esas dos áreas. Por falta de información sobre las corrientes marinas, solamente se puede postular que la batimetría y la cercanía de estos minerales a sus fuentes juegan los papeles más importantes en esta distribución.

En la figura 6 se presenta la distribución de los minerales pesados. En las muestras donde solamente se encontraron cuarzo y opacos, se colocó una c y una o en el sitio del muestreo. En los demás sitios se colocó la lista de los minerales pesados identificados en orden de abundancia, sin tomar en cuenta al cuarzo y los opacos. Se puede observar que en los sedimentos arenosos del golfo de Cariaco se puede dividir los minerales pesados en cuatro grupos (suites) siendo éstos: estaurólita-cianita-andalusita, zircón-turmalina, granate-zoisita-glaucofano, y biotita-clorita.

Conclusión

El mineral liviano más abundante en el fondo del golfo de Cariaco es el cuarzo, cuyas fuentes principales son la península de Araya y la Serranía del Interior. Los minerales opacos que siempre lo acompañan en diferentes cantidades son la magnetita, hematita y limonita. No se identificaron opacos como la ilmenita o el leucóxeno, lo cual podría indicar que no se están depositando minerales titaníferos en el fondo del golfo. Los minerales pesados más abundantes son minerales de origen metamórfico, cuya fuente son las rocas metamórficas de la península de Araya. El mineral resaltante es la estaurólita,

acompañada en menor cantidad por cianita, cordierita y andalusita. Minerales más escasos son zircón, turmalina, granate, zoisita y glaucofano. Las micas biotita y clorita, tienen una distribución amplia; su abundancia es mayor de lo que se observó bajo el microscopio, pues estos minerales no se hunden en el bromoformo por sus características hidráulicas.

Los sedimentos limo-arcillosos que cubren la parte central más profunda del golfo son bastante homogéneos, mineralógicamente. Inclusive, los sedimentos limo-arcillosos de fondo somero en el sector más oriental, tienen una mineralogía parecida a la de la parte central profunda. Los minerales no arcillosos identificados por difracción de rayos X son cuarzo, calcita y yeso. Los minerales de arcilla son illita, caolinita y clorita.

La presencia de la calcita en sedimentos del fondo marino es común, por estar presente en los esqueletos calcáreos de los moluscos, corales, erizos, foraminíferos bentónicos y foraminíferos planktónicos que mueren y caen al fondo. La presencia de yeso, sin embargo, no es tan fácil de explicar; este mineral se deposita en lagunas de aguas hipersalinas someras y saturadas de CaSO_4 en donde existe un alto grado de evaporación del agua; las condiciones para la precipitación de yeso existen en la laguna de Gran Roque, archipiélago Los Roques (SONNENFELD, 1976) y en la salina de Cayo Sal, Chichiriviche (WEISS, GODDARD & PICARD, 1978), donde se acumulan sal, yeso y dolomita. Las condiciones físico-químicas existentes en estas lagunas someras y salinas, no se encuentran en el fondo del golfo de Cariaco, por lo tanto, el mineral de yeso no se está precipitando del agua de mar y proviene de los sedimentos yesíferos situados en el extremo nor-oriental de la península de Araya.

Se considera que las muestras estudiadas fueron pobres en cantidad de minerales pesados. No se encontró una cantidad suficiente de los minerales para justificar un conteo que pudiera tener algún significado real. Igualmente fue difícil dividir el golfo de Cariaco en provincias mineralógicas (PEREZ NIETO, 1972), según la distribución de los minerales pesados. Sin embargo, la distribución de esos minerales está asociada con su proximidad a las rocas metamórficas en la península de Araya (Fig. 6). También influye la topografía submarina (Fig. 2), las corrientes marinas y el tipo de sedimentos (arena, limo, arcilla) que se están acumulando.

Las condiciones climatológicas juegan un papel importante en la meteorización y en la alteración de los componentes de las rocas para formar minerales de arcilla antes de llegar al golfo. También la condición físico-química del agua es responsable en gran parte por la presencia y distribución de los minerales arcillosos como illita, clorita y caolinita, cuya presencia se debe a

veces a la meteorización submarina de otras arcillas y la adquisición de elementos como el potasio (K) del agua de mar (FOLK, 1961).

Agradecimientos

La ayuda de los señores Carlos J. Correa, Manuel Gil y Rafael J. Villalobos, personal del laboratorio, fue indispensable tanto en la recolección de algunas muestras como en la preparación, separación y montaje de los minerales pesados. Les agradezco a los Dres. Franco Urbani y Enrique Navarro de la Escuela de Geología de la U.C.V. haberme permitido el uso de sus laboratorios y equipos de difracción de rayos X; y al Dr. Luis F. Caraballo, Jefe del Depto. de Oceanografía Física y Geológica, por su apoyo durante el trabajo y por la lectura crítica del manuscrito. El señor Rómulo I Velásquez dibujó los gráficos y los mapas, los cuales fueron reducidos fotográficamente por el señor A. Pernía.

Referencias

- ASCANIO, G. (1972) *Geología de los cerros de Caigüire Cumaná, Edo. Sucre*. Mem. IV Cong. Geol. Venezolano, Caracas, T. III, 1279-1288.
- ASCANIO, G. y H. PEREZ NIETO (1965) *Geología de los cerros de Caigüire, Cumaná, Edo. Sucre*. (Resumen), *Asoc. Venezolana Avance de la Ciencia*, Conv. Anual, 28).
- BALDA, F.A. (1960) *Estructura geológica de Chiguaña, península de Araya, Edo. Sucre*. Memoria III, Cong. Geol. Venezolano, Caracas, T. II, 928-934.
- BALDA, F.A., (1963) *Geología de los islotes Caribe y Los Lobos y descripción de tres nuevas formaciones en el Oriente de Venezuela*. Cuad. Oceanog., Inst. Oceanogr., Univ. Oriente, N° 2, 43 pp.
- BERMUDEZ, P.J. (1966) *Consideraciones sobre los sedimentos del Mioceno Medio al Reciente de las costas Central y Oriental de Venezuela*. Bol. Geol., Caracas, Vol. 7. N° 14, 333-412.
- CARABALLO, L.F. (1973) *Estudio fisiográfico-sedimentológico y geología histórica de la Ensenada Grande del Obispo, Edo. Sucre, Venezuela*. Bol., Inst. Oceanogr., Univ. Oriente, Vol. 12, N° 2, 29-77.
- DOYLE, L., W.J. CLEARY y O.H. PILKEY (1967) *Mica: its use in determining shelf depositional regimes*. Marine Geol., Vol. 6, 381-389.
- FOLK, R.L. (1961) *Petrology of sedimentary rocks*. The Univ. of Texas, Hemphills, Austin.
- GODDARD D. y X. PICARD, (1972) *Los Médanos de Coro. Composición, granulometría y migración de las arenas*. Bol., Soc. Venezolana Geol., Vol. VIII, N° 3, 215-230.
- GODDARD D. y X. PICARD, (1966) *Geomorfología y sedimentación en la costa del Edo. Falcón, Cabo San Román a Chichiriviche*. Mem. II Cong. Latinoamericano, Geol., Caracas, Tomo II, 1157-1172.
- GUILLAUME, H.A., H.M. BOLLI y J.P. BECKMAN, (1969) *Estratigrafía del Cretáceo Inferior en la Serranía del Interior, Oriente de Venezuela*. Mem. IV. Cong. Geol. Venezolano, Caracas. T. III, 1619-1659.
- HEDBERG, H.D., (1950). *Geology of the eastern Venezuela basin (Anzoátegui-Monagas-Sucre-eastern Guárico portion)*, Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 61, N° 11, 1173-1216.
- KERR, P.F. (1959) *Optical Mineralogy*, McGraw Hill, N.Y., Toronto, London, 442 pp.
- Léxico Estratigráfico de Venezuela (2da. edición), 1970. Bol. Geol., Publ. Esp. N° 4, 756 pp.
- MACSOTAY, O. (1965) *Carta faunal de macrofósiles correspondientes a las formaciones cenozoicas de la península de Araya, Edo. Sucre*. Geos. N° 13, 37-49.
- MACSOTAY, O. y L.F. CARABALLO, (1976) *Geología y Bioestratigrafía Cenozoica de la parte Oriental del Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela*. Bol., Inst. Oceanogr., Univ. Oriente, Vol. 15, N° 1, 25-56.
- MORALES, P.R. y F. OTTMAN, (1961) *Primer estudio topográfico y geológico del Golfo de Cariaco*. Bol., Inst. Oceanogr., Univ. Oriente, Vol. 1, N° 1, 5-20.
- PEI-YUAN C. (1978). *Minerals in bottom sediments of the South China Sea*. Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 89, N° 2, 211-222.
- PEREZ NIETO, H. (1972) *Golfo de Cariaco: Estructura profunda y dinámica sedimentaria*. (Resumen). Mem., IV Congr. Geol. Venezolano, Caracas, T. IV, 2303-2304.

PICARD, X. (1974) *Consideraciones sedimentológicas. Archipiélago de Los Testigos*. Bol. Inf. Asoc. Venezolana Geol. Min. y Petro., Vol. 17, N° 1-2-3, 11-34.

PICARD, X. y D. GODDARD (1975) *Geomorfología y Sedimentación en la costa entre Cabo Codera y Pto. Cabello (Litoral Central)* Bol. Inf., Asoc. Venezolana Geol. Min. y Petro. Vol. 18, N° 1, 39-106.

SCHUBERT, C. (1972) *Geología de la Península de Araya, Edo. Sucre*. Mem. IV Congr. Geol. Venezolano, Caracas. T. III, 1823-1886.

SONNENFELD, P. (1976) *Recent lagoonal carbonates in*

the Venezuela Antilles. Mem., II Congr. Latinoamericano de Geol., Caracas, T. II, 1325-1331.

VILA, P. (1960) *Geografía de Venezuela I. El territorio nacional y su ambiente físico*. Min. Educación, Caracas. 454 pp.

WEISS, M.P. (1978) *A saline lagoon on Cayo Sal, western Venezuela*. Atoll Res. Bull., en prensa.

WEISS, M.P., D. GODDARD y X. PICARD, (1978) *Marine Geology of Reefs and Inner Shelf, Chichiriviche, Edo. Falcón, Venezuela*. Marine Geol., Vol. 28, 211-244.

Aprobado para su publicación el 10-03-87

TABLA 1

Muestra N°	Minerales Livianos (98%)	Minerales pesados Opacos (1,0-1,5%)	Transparentes (1,0%)			
				69	cuarzo	escasos, magnetita
				68	cuarzo	pobre andalusita, silimanita
				83	cuarzo	pobre hematita
2	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	estauroлита, cianita, granate, biotita	85	cuarzo	pobre hematita
26	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	estauroлита, andalusita, zircón, biotita	93	cuarzo	hematita, limonita, estauroлита, zoisita, turmalina
31A	cuarzo, cordierita	pobre		100	cuarzo, cordierita	hematita, magnetita, zircón, turmalina, biotita
45	cuarzo			119	cuarzo	abund. hematita
47	cuarzo	pobre magnetita		143	cuarzo, cordierita	escasos, hematita, biotita, turmalina, zircón
49	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	estauroлита, andalusita, turmalina, granate	194	cuarzo	pobre
				232	cuarzo	pobre
52	cuarzo	pobre magnetita		1	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita, limonita
56	cuarzo	magnetita, hematita	estauroлита, turmalina, biotita	5	cuarzo	pobre magnetita, estauroлита
60	cuarzo, cordierita	hematita, magnetita	estauroлита, andalusita, turmalina, zircón, glaucofano	15	cuarzo, cordierita	hematita, limonita, magnetita, estauroлита

16	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	biotita, estauroлита, granate, turmalina	76	cuarzo, cordierita	hematita, limonita	zircón, turmalina, granate, zoisita, glaucofano
19	cuarzo	pobre magnetita	granate, estauroлита	77	cuarzo	hematita, limonita	estauroлита, turmalina
22	cuarzo	pobre magnetita	estauroлита, granate, biotita	84	cuarzo	pobre hematita	
27	cuarzo	pobre		85	cuarzo	magnetita, hematita	biotita, glaucofano
28	cuarzo, cordierita	magnetita, limonita	estauroлита, granate, turmalina	112	cuarzo	pobre	estauroлита
29	cuarzo	magnetita	estauroлита, andalusita, granate, turmalina, cianita	113	cuarzo	pobre, hematita	
30	cuarzo	pobre	estauroлита, andalusita, granate, turmalina, cianita	114	cuarzo		zoisita, cianita, turmalina
33	cuarzo	pobre hematita	estauroлита, andalusita, granate, turmalina, cianita	120	cuarzo	abund. hematita, magnetita	biotita, estauroлита, zircón
42	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	zoisita, granate	125	cuarzo, cordierita	pobre, magnetita	zircón, turmalina, granate
49	cuarzo	hematita, limonita		130	cuarzo	abund. magnetita, hematita	cianita, biotita
54	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	granate, estauroлита, cianita, zoisita	132	cuarzo	abund. magnetita, hematita	
55	cuarzo, cordierita	magnetita	estauroлита, zircón andalusita, silimanita, granate, zoisita	134	cuarzo	hematita magnetita	
57	cuarzo	abund. magnetita, hematita	zircón, turmalina	140	cuarzo	pobre hematita	zircón, zoisita
60	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	estauroлита, turmalina, biotita, glaucofano	141	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	zircón, turmalina, clorita, zoisita
69	cuarzo, cordierita	hematita, magnetita	granate	142	cuarzo	pobre	
71	cuarzo, cordierita	pobre hematita		146	cuarzo	hematita	clorita
				148	cuarzo, cordierita	hematita, limonita magnetita	zircón, turmalina
				149	cuarzo	pobre	zircón, turmalina
				153	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita, magnetita, hematita	estauroлита, biotita, turmalina, zircón

157	cuarzo, cordierita	magnetita	estauroлита, biotita, granate, turmalina	A-78-2 A-78-3 A-78-4	cuarzo cuarzo cuarzo	magnetita magnetita magnetita, hematita	granate, cianita granate estauroлита, cianita, turmalina, biotita, clorita
160	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	biotita, estauroлита, cianita, granate, andalusita, turmalina	A-78-5	cuarzo	magnetita, hematita	estauroлита, cianita, turmalina, biotita, clorita
205	cuarzo	magnetita, hematita	estauroлита, andalusita, zircón, granate, turmalina, clorita, zoisita, glaucofano estauroлита	A-78-6 A-78-7 A-78-10	cuarzo cuarzo cuarzo (pocos)	magnetita poca magnetita abund. hematita, magnetita	turmalina, biotita, clorita turmalina granate, zoisita
211	cuarzo, cordierita	pobre magnetita	estauroлита, cianita	A-78-11	cuarzo	magnetita, hematita	turmalina, glaucofano, zoisita
212	cuarzo	magnetita, hematita	estauroлита, cianita				
214	cuarzo, cordierita	magnetita, hematita	estauroлита, zoisita				
Quebradas Araya A-78-1	cuarzo	poca magnetita	zircón, turmalina				

Ríos - borde Sur: Camacuy, de Ortíz, Quetepe, Sotillo, Guaracayal, Valle solo, Mariguitar, Tarabacoa, Cachamaure, Pericantal, Cascajal, Pozo Azul.

Mineral liviano: cuarzo

Minerales pesados: magnetita, hematita, limonita.

TABLA 2

Picos principales de los minerales más abundantes en los sedimentos limo-arcillosos de fondo del golfo de Cariaco.

Cuarzo		Calcita		Yeso		(Trioctahedral) Illita		Clorita		Caolinita	
dA	I/I	dA	I/I	dA	I/I	dA	I/I	dA	I/I	dA	I/I
4,26	35	3,86	12	7,61	45	10,0	100	14,3	70	7,15-7,18	100
3,343	100	3,035	100	4,74	4	4,95	20	7,12	100	4,48	80B
2,458	12	2,845	3	4,28	90	4,48	90	4,63	705	3,58	100
2,282	12	2,495	14	3,80	8	3,69	20B	3,56	80	2,565	80
2,237	6	2,285	18	3,17	4	3,33	90	2,834	40	2,562	80
2,128	9	2,095	18	3,07	30	3,17	5	2,648	10	2,386	80
1,980	6	1,927	5	2,871	100	2,87	10	2,548	80	2,341	90
1,817	17	1,913	17	2,788	20	2,61	60	2,435	70		
				2,684	50	2,51	10	2,379	50		
				2,595	2	2,42	40	2,255	50		
				2,486	20	2,16	10	2,000	70		