

PETROGRAFIA DE LAS ARENISCAS DE LA SECCION ESTRATIGRAFICA DE BOGOTA

K. R. AALTO¹

RESUMEN

Las principales areniscas de la sección estratigráfica de Bogotá y alrededores son en gran parte ortocuarcitas. Los tipos de cuarzo incluyen el cuarzo ondulado, el semi-compuesto, el compuesto y el dilatado. Las areniscas han sufrido diferentes cambios diagenéticos que reflejan una historia de alteraciones complejas. Los cambios syndiagenéticos evidentes incluyen la formación de sobrecrecimientos de granos de cuarzo entre areniscas limpias y la precipitación de cemento de carbonato. Los cambios anadiagenéticos comprenden: 1. Intercambio de iones entre minerales arcillosos, que dan caolinita vermicular, illita, sericita, muscovita y clorita. 2. La recristalización del cemento de carbonato o la matriz. 3. La formación continua de sobrecrecimientos o reemplazamiento del grano por minerales arcillosos, sericita o carbonato, según varias formas específicas de reemplazamiento, inclusive una alteración más rápida de los tipos policristalinos de cuarzo. 4. La formación de complejos contactos estilolitizados entre los granos, líneas de inclusiones, líneas de inclusiones en grupos de forma de peine, y fracturas que responden al aumento de los esfuerzos intergranulares. El cambio epidigenético se relaciona principalmente con la sustitución por óxidos de hierro de todas las matrices, los cementos y las zonas alteradas de los granos por dentro.

Un aumento de la cantidad de matriz detrítica inhibe la formación de sobrecrecimientos, de líneas de inclusiones, de líneas de inclusiones en grupos de forma de peine, y los contactos microestilolitizados entre granos. Tanto la policristalinidad del cuarzo como la presencia de illita-sericita intergranular incrementa la microestilolitización. Antes de formular interpretaciones y correlaciones a base del estudio de secciones delgadas, hay que considerar la historia diagenética de la arenisca.

¹ Departamento de Geología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Dirección Actual: Dept. Geol., McMaster Univ., Hamilton, Ontario, Canadá.

ABSTRACT

The sandstones of the Bogotá stratigraphic section are largely orthoquartzites. Quartz types include undulose quartz, semi-composite quartz, composite quartz and stretched quartz. Sandstones have undergone a variety of diagenetic alterations. Syn-diagenetic changes evident include the formation of quartz grain overgrowths among clean sandstones and the precipitation of carbonate cement. Anadiagenetic changes include: 1. Ion exchange among clay minerals yielding vermicular kaolinite, illite, sericite, muscovite and chlorite. 2. The recrystallization of carbonate cement or matrix. 3. Continued overgrowth formation or grain replacement by clay minerals, sericite or carbonate following several specific replacement patterns, including a more rapid alteration of polycrystalline quartz types. 4. Formation of complex microstylolitized grain contacts, inclusion trains, comb-like groups of inclusion trains, and fractures in response to increasing grain to grain stress. Epidiagenetic change chiefly involves the replacement of all matrices, cements and altered zones by iron oxides.

An increase in the amount of detrital matrix inhibits the formation of overgrowths, inclusion trains, comb-like groups of trains and the microstylolitization of grain contacts. Microstylolitization is enhanced by both quartz polycrystallinity and the presence of intergranular illite-sericite. Among poorly sorted sandstones larger grains take up most of the deformational stress.

INTRODUCCION

Este estudio es la primera descripción petrográfica y comparativa de todas las grandes unidades de arenisca de la sección estratigráfica de Bogotá y sus alrededores. Estas areniscas son una serie ortocuarcítica de composición notablemente uniforme que atestiguan la estabilidad de la región fuente de sedimentos y del medio deposicional, desde el Devónico hasta el Terciario. Sin embargo, contienen matriz y cemento de varias composiciones, y han sufrido deformaciones postdeposicionales diversas. Aunque la composición del grano es muy uniforme, las alteraciones postdeposicionales diagenéticas entre los granos, cementos y matrices de arcilla son bien complejas.

En trabajos recientes sobre la diagénesis de la ortocuarcita (CONOLLY, 1965; DAPPLES, 1959, 1967a, 1967b; WAUGH, 1970; WHISONANT, 1970) sus autores reconocieron un considerable efecto de la diagénesis sobre la textura y la composición de la arenisca, y la importancia de considerar dicho efecto cuando se interpreta el medio deposicional y se hacen correlaciones estratigráficas. Las ortocuarcitas de la región de Bogotá ofrecen un excelente material para estudiar tales efectos por la uniformidad de las composiciones de sus granos y la diversidad de las matrices, los cementos y las historias de deformación.

Se presentará una descripción petrográfica de estas areniscas y se intentará reconstruir sus historias diagenéticas aplicando el concepto de

fases diagenéticas de FAIRBRIDGE (1967). Al hacer esto, se relacionará la magnitud de la alteración con los problemas de clasificación, comparación e interpretación de las areniscas.

GEOLOGIA GENERAL

Situación

Las formaciones de que se tomaron muestras están expuestas en unidades rocosas plegadas y falladas, del Devónico al Terciario, de rumbo Nordeste, en la Cordillera Oriental, entre Bogotá, Choachí y Villavieja. Los sitios de muestreo y el medio geológico regional se ven en la Fig. 1. La serie estratigráfica se muestra en la Fig. 2.

Historia geológica

Se estima que la enorme cantidad de sedimentos clásticos presentes en la región de Bogotá se ha derivado de la erosión de la plataforma Precámbrica oriental (CAMPBELL y BÜRGL, 1965). La fuente original del sedimento bien puede haber sido un terreno holocristalino profundamente erosionado del bloque continental Precámbrico del Occidente africano y el Este de Suramérica, antes de la separación continental (ROD, 1962). Las arenas ortocuarcíticas pudieron haberse depositado primero como la Formación Roraima, manto Precámbrico de arenisca que cubre gran parte del Nordeste suramericano, y haber producido más tarde, por erosión, el sedimento de la región de Bogotá. (Boletín Informativo, 1963; GANSSER, 1954). CAMPBELL y BÜRGL (1965) describen todas las areniscas principales de la región de Bogotá anteriores al Paleoceno Superior como depósitos marinos geosinclinales marginales de poca profundidad, cada uno de los cuales representa una transgresión marina hacia el Este, que acompañó una suave epirogénesis de la Plataforma de la Guayana. Una regresión Paleocena inició la deposición continental de carbones, arcillas y areniscas fluviales, como la Arenisca de El Cacho y la Arenisca de La Regadera (HUBACH, 1958; JULIVERT, 1962b).

El tectonismo andino produjo clivaje y foliación en todas las formaciones muestreadas, excepto la Arenisca de La Regadera. La deformación es más pronunciada en las formaciones más antiguas, particularmente en la Arenisca de Gutiérrez-Quetame. En el Cuadro 1 se presenta una descripción general de campo y de laboratorio de las formaciones muestreadas.

TECNICA

Se tomaron muestras de las diferentes formaciones estudiadas en su mayor proximidad de campo, para eliminar las variaciones de composición debidas a la dispersión geográfica. Se tomaron diez muestras de

cada formación, en lo posible a intervalos regulares por toda la sección expuesta. De éstas se seleccionó un total de 48, que parecían las más apropiadas para la preparación y el estudio de secciones delgadas. Las secciones delgadas se tiñeron para el feldespato potásico.

El tamaño y la redondez medios del grano se determinaron a base de 50 observaciones, en dos recorridos al azar de lado a lado de cada sección delgada. Para determinar el verdadero diámetro lo más exactamente posible, se anotó el diámetro máximo de cada grano. Los datos se asignaron a grupos de un ϕ . La redondez se determinó por comparación con la escala de POWERS (1953). Se hizo un intento de usar únicamente la redondez prediagenética, determinada por la presencia de una margen visible del grano bajo los sobrecrecimientos de cuarzo; esto resultó difícil porque la margen no siempre estaba clara, especialmente en las muestras muy alteradas. El grado de clasificación se estimó mediante la distribución de grupos de ϕ , y la madurez se determinó de acuerdo con los métodos de FOLK (1965). En el Cuadro 1 se presentan las descripciones de textura.

La composición se determinó por medio de conteo de puntos, a razón de 500 puntos por sección delgada, sobre retículo ortogonal, usando platina mecánica. En lo posible se registró la composición prediagenética. Las variedades de cuarzo se escogieron por su aplicación práctica para el estudio, en gran parte según lo aconsejado por BLATT y CHRISTIE (1963) y algo modificado según FOLK (1965). Se agruparon los cuarzos no ondulosos y ondulosos, ya que el primero se observó muy raras veces, y porque casi todas las areniscas tienen una ondulosidad secundaria de formacional bien desarrollada.

Se usó retículo ortogonal de 500 puntos para contar los sobrecrecimientos, las líneas de inclusiones de líquido o de gas, las líneas de inclusiones de líquido en grupos de forma de peine en zonas de ondulosidad máxima, y para registrar los diversos tipos de contactos de los granos. Estos elementos sirvieron como índices del grado de deformación granular. Los datos aparecen en el Cuadro 4.

COMPOSICION

Introducción

Según la clasificación de areniscas de FOLK (1965), todas las areniscas estudiadas son ortocuarzitas o subgrauvacas o casi-ortocuarzíticas (Cuadro 2). Al nivel de 95% de confiabilidad la mayoría de ellas no muestra variaciones significativas de composición; sin embargo, las de la Arenisca de El Cacho y la Arenisca de La Regadera, que se

clasifican como subgrauvacas por su mayor contenido de cuarzo dilatado, también contienen mayores cantidades de pedernal y arcilla.

La composición general de todas las formaciones es muy uniforme.

Constituyentes de los granos detríticos

En el Cuadro 2 se indican los granos detríticos que forman más del uno por ciento de la mayoría de las muestras; los que generalmente aparecen como trazas (menos del uno por ciento), se indican en el Cuadro 3.

Los granos de cuarzo ondulado comúnmente están redondeados hasta una forma algo xenomórfica. El campo angular en que existe ondulosidad varía entre casi cero y 25 grados. Muchos granos tienen sobrecrecimientos de cuarzo ópticamente concordantes que forman caras cristalográficas si disponen de espacio para crecer hacia afuera (Lámina I). La presencia de polvo o de óxidos de hierro a lo largo del límite original del grano o varios grados de alteración de éste y su sobrecrecimiento original sugieren la presencia de sobrecrecimientos (Lámina I). La presencia de granos con forma de cristal pero sin tales pruebas de sobrecrecimientos sugiere que éstos no siempre son fáciles de encontrar (Lámina II). En las areniscas limpias los sobrecrecimientos son muy abundantes y en algunos casos sobrepasan el volumen del grano que los generó (Lámina III). Si dos granos muy próximos entre sí tienen la misma orientación cristalográfica, un sobrecrecimiento puede incluirlos a ambos.

La mayoría de los granos de cuarzo ondulado contienen inclusiones de gas o de líquido dispersos al azar. Con frecuencia las inclusiones de líquido y raras veces las de gas están dispuestas en líneas que se forman durante la deformación del grano (Lámina IV). En granos muy deformados, con fuerte extinción ondulosa, tales líneas de inclusión de líquido pueden estar muy próximas entre sí y parecerse a los dientes de un peine (Lámina V). Esas líneas de inclusiones en grupos de forma de peine existen dentro de la zona de máxima ondulosidad, con las líneas de inclusiones que los integran orientadas a unos 60 grados respecto a la zona de ondulosidad.

En todas las formaciones se encuentran fracturas intergranulares e intragranulares, pero su mayor abundancia está en las areniscas más antiguas y más deformadas. Las fracturas pueden estar soldadas, conteniendo cuarzo microcristalino, o pueden ser la ubicación de alteraciones secundarias (Lámina IV). Durante la formación de sobrecrecimientos la ondulosidad siempre se traslada genéticamente al sobrecrecimiento. Las líneas de inclusiones, las líneas de inclusiones en grupos de

forma de peine, y las fracturas soldadas pueden continuar o no en el sobrecrecimiento y los granos próximos, según el momento de su formación en relación con el del sobrecrecimiento (Lámina IV). Las líneas de grupos de forma de peine intergranulares sólo existen entre granos de idéntica orientación óptica. Un estudio cuidadoso de la posición de estos elementos en relación con el sobrecrecimiento puede revelar la historia deformacional de la arenisca. En las muestras de las formaciones más jóvenes la mayoría de las líneas de inclusiones y de las fracturas soldadas no penetra en el sobrecrecimiento, lo que sugiere su origen predestrítico. En areniscas más antiguas, particularmente en la Arenisca de Gutiérrez-Quetame, estos elementos deformacionales atraviesan tanto los sobrecrecimientos como otros granos, sugiriendo así una formación posterior a la deposición (Lámina VI). Igualmente, la extinción ondulosa corre a través de muchos granos, atestiguando una considerable deformación postdeposicional.

Dentro de los granos de cuarzo existen microlitas de diversos minerales (Cuadro 3). Estas pueden estar alineadas paralelamente a la estructura del cristal. Comúnmente muestran forma cristalina o de clivaje; sin embargo, se han observado inclusiones casi esféricas de micáceos y de circón. La abrasión de granos de cuarzo con inclusiones redondeadas de circón produciría circón detrítico con un grado de redondez que no indicaría una historia larga de abrasión.

El cuarzo semicompuesto comúnmente tiene dos miembros cristalinos de orientación óptica casi idéntica, con un límite lineal común (Lámina I). Los granos muestran extinción ondulosa y pueden tener sobrecrecimientos ópticamente concordantes con los miembros cristalinos separados. Los sobrecrecimientos y las características de deformación son menos comunes que en el cuarzo monocristalino, pero por lo demás son similares. Las fracturas, las líneas de inclusiones y las líneas de inclusiones en grupos de forma de peine pueden pasar de un miembro cristalino al otro.

El cuarzo compuesto consta de muchos miembros cristalinos de orientaciones ópticas desordenadas y de límites bastante parejos. Comúnmente la extinción ondulosa corre por todo el grano, afectando en diferentes medidas a los miembros cristalinos individuales. Los sobrecrecimientos son poco comunes y se desarrollan separadamente, en concordancia óptica con los diferentes miembros cristalinos del grano compuesto. En la mayoría de los casos, las muy poco comunes líneas de inclusiones y las líneas de inclusiones en grupos de forma de peine, están confinadas a miembros cristalinos particulares, en los cuales están orientadas en ángulos desordenados. Entre los miembros del cristal

puede haber láminas de muscovita que dan al grano el aspecto del cuarzo esquistoso metamórfico de FOLK (1965).

El cuarzo dilatado contiene muchos miembros cristalinos subparalelos, alargados, con una distribución de tamaños amplia, frecuentemente bimodal. Los límites entre miembros están intensamente dentados, suturados, o granulados (Lámina VII). Comúnmente una fuerte ondulidad se extiende por todo el grano. Son poco comunes los sobrecrecimientos, las líneas de inclusiones y las líneas de inclusiones en grupos de forma de peine. Si existen, están confinadas únicamente a cristales individuales miembros del grano. Los tipos de cuarzo policristalino son más comunes entre las areniscas de grano más grueso, lo que sugiere que los granos monocristalinos pueden derivarse de la desintegración de granos compuestos durante la abrasión del grano (Fig. 3).

El pedernal puede ser uniformemente microcristalino, recristalizado, o puede contener trazas de microfósiles, calcedonia o vetas lineales de un cuarzo cristalino un poco más grueso. La glauconita y los fragmentos de rocas arcillosas y conchas comúnmente están deformados y alterados. Los minerales presentes en trazas por lo común están subredondeados, pero pueden mostrar clivaje o forma cristalina. Los granos de albita-oligocasa y microclina aparecen como fragmentos de clivaje un poco sericitizados. El circón puede estar muy corroído o tener sobrecrecimientos secundarios.

Proveniencia

Es probable que los granos detríticos se hayan derivado directamente de areniscas Precámbricas policíclicas, como las de la Formación Roraima, y originalmente de rocas gneísicas y graníticas Precámbricas. Esta derivación explicaría la mayoría de las composiciones presentes. Los fragmentos de pedernal y de rocas sedimentarias probablemente se derivaron por erosión esporádica de rocas sedimentarias ligeramente más antiguas expuestas marginalmente a la cuenca de deposición. Lógicamente, estos fragmentos son particularmente característicos de las formaciones Terciarias no marinas. La persistencia del suministro de arena ortocuarcítica durante un período tan largo refleja la estabilidad de la región fuente del sedimento y tal vez resedimentación cíclica considerable.

Matriz y cemento

Las composiciones de las matrices y los cementos reflejan en gran medida los cambios diagenéticos que comentaremos más adelante. En todas las formaciones existe caolinita en cristales vermiculares intergranulares, excepto en las Areniscas de Cáqueza y Gutiérrez-Quetame (Cua-

dro 2). Con la caolinita están asociadas pequeñas cantidades de illita o sericita (que no se pueden diferenciar en sección delgada), particularmente a lo largo de las márgenes de los granos (Lámina II). La Arenisca de Cáqueza y la Arenisca de Gutiérrez-Quetame tienen una matriz rica en sericita, con algo de muscovita y clorita entremezcladas (Lámina VI). El limo de cuarzo es un constituyente universal de las matrices.

La microsparita se encuentra a parches dentro de la Arenisca La Guía, y es el único constituyente intergranular en partes de las Areniscas de Cáqueza, Labor y Tierna. El ópalo se encuentra como relleno intergranular y de cavidades en partes de la Arenisca de La Regadera.

Aunque la caolinita y el carbonato o el ópalo pueden coexistir dentro de la misma muestra, nunca están mezclados entre sí, y sólo guardan distancias de algunos micrones.

Como se comentará adelante, los óxidos de hierro pueden haber substituido en la mayoría de las muestras a cualquiera de los materiales de la matriz o del cemento, parcialmente; en ciertas partes de las Areniscas de El Cacho y de La Regadera constituyen un cemento penetrante.

DIAGENESIS

Introducción

Aplicando el concepto de las fases diagenéticas de FAIRBRIDGE (1967) se puede reconstruir la historia de la alteración postdeposicional de las areniscas estudiadas:

La sindiagénesis incluye los cambios que ocurren durante la fase inicial de sedimentación durante la cual las reacciones están regidas en gran medida por la química del agua de mar y los cambios que ocurren durante la primera parte del asentamiento. Estos últimos comprenden alteraciones debidas a reacciones de oxidación-reducción y fenómenos de solución-precipitación que se presentan en el sistema agua-grano de poro cerrado. La sindiagénesis persiste hasta el nivel más bajo de influencia orgánica.

La anadiagénesis es la fase de compactación-maduración de la alteración que acompaña al asentamiento tardío. En gran parte predominan fenómenos de solución-precipitación que incluyen la cementación, el reemplazamiento y el metasomatismo a bajas temperaturas y procesos de intercambio de iones asociados con los minerales arcillosos y micáceos.

La epidiagénesis es la fase emergente, pre-erosiva de la alteración que involucra aquellos cambios que ocurren cuando el agua meteórica vuelve a entrar en contacto con la roca.

En la alteración de las areniscas estudiadas no hay duda de que todas las fases de la diagénesis tuvieron importancia. Sin embargo, la evidencia directa de los cambios sindiagénéticos anteriores han sido obliterados en gran medida. Así, la composición original de la matriz es cuestión de especulación. Debido a la estabilidad de las arenas ortocuarcíticas, la descomposición del grano ha añadido poca matriz y la composición general del grano ha permanecido sin cambios.

Sindiagénesis

Los cambios que tuvieron lugar durante el primer período del asentamiento comprendieron la formación de sobrecrecimientos en los granos de cuarzo de todas las formaciones, la precipitación eventual de cemento de carbonato o la recristalización de la matriz de carbonato en las Areniscas de Cáqueza, Labor, Tierna y La Guía, y la recristalización de cualesquiera fragmentos de conchas que existieran. La formación temprana de sobrecrecimientos ocurrió en respuesta a la precipitación de sílice del agua de poro saturada de sílice, proceso importante en las arenas cuarzosas limpias (DAPPLES, 1959, 1967a). Las fuentes plausibles de esta sílice incluyen la solución de polvo de cuarzo de la Plataforma de la Guayana acarreado por el viento, de sílice co-floculado con arcillas y de las conchas opalinas metaestables de algunos organismos. La sílice de estas fuentes se disolvió más fácilmente que la del cuarzo detrítico. La deposición que dio lugar a la formación de sobrecrecimientos ocurrió junto con la conversión de cuarzo metaestable en estable, bajo la intercara de agua sedimentaria (SHARMA, 1965). Disponiendo del espacio de los poros, los sobrecrecimientos alcanzaron la forma cristalina (Lámina II). Donde había matriz, su crecimiento fue inhibido por la falta de espacio y de permeabilidad (SIEVER, 1959).

Partes de la Arenisca de Cáqueza posiblemente tuvieron una matriz detrítica micrítica que recristalizó parcialmente durante la parte inicial del asentamiento. Junto con el aumento continuo de temperatura y de pH, del asentamiento progresivo, el cemento de carbonato se precipitó en las Areniscas Tierna, de Labor y de La Guía.

Anadiagénesis

Alteraciones matriz-cemento: Las alteraciones de la matriz implicaron en gran medida reacciones de intercambio de iones y de reemplazamiento entre los minerales arcillosos. La caolinita vermicular se formó bien por recristalización de arcilla caolinítica más fina, o por alteración de la illita. La illita que se encuentra ahora o fue detrítica o se formó por alteración de otros minerales arcillosos (MULLER, 1967). La degradación

de la illita y la formación de sericita y eventualmente de muscovita ocurrieron en mayor grado a lo largo de las márgenes de los granos y entre areniscas más antiguas y más deformadas (Lámina VI). En la Arenisca de Gutiérrez-Quetame la sericita se reorganizó en cristales oscuros más grandes de muscovita (Lámina VI). En algunas partes de la matriz hubo cloritización. Ocurrió así una alteración progresiva de los minerales arcillosos a muscovita y clorita, con las mayores alteraciones entre las areniscas más antiguas y más profundamente asentadas.

La matriz micrítica de la Arenisca de Cáqueza y los cementos de carbonato en otras partes, recrystalizaron gradualmente para convertirse en cristalinos más gruesos. En la Arenisca de Labor algunos cristales esparíticos crecieron hasta englobar varios granos de cuarzo.

Alteraciones grano-matriz-cemento: El pedernal recrystalizó gradualmente y sufrió la obliteración de microcaracterísticas. En areniscas antiguas con matrices de arcilla los granos de pedernal fueron parcialmente reemplazados por sericita. Hay granos de pedernal en la Arenisca de Gutiérrez-Quetame que fueron tan reemplazados y deformados que ahora se confunden con la matriz. También hubo sericitización dentro de los fragmentos de rocas sedimentarias de areniscas cretáceas y más antiguas. La glauconita de las areniscas del Grupo del Guadalupe Inferior, la Arenisca Tierna y la Arenisca Dura, se cloritizó.

La alteración de los granos de cuarzo ha dependido de la cantidad y composición de las matrices y los cementos. Entre ortocuarcitas muy limpias, tales como partes de la Arenisca de Uñe, la Arenisca Dura, la Arenisca Tierna y la Arenisca de La Guía, los sobrecrecimientos siguieron formándose hasta llenar todos los espacios vacíos (Lámina II). El material de los sobrecrecimientos posiblemente se derivó de la solución de cualquier calcedonia que hubiera presente, solución a presión entre los granos con precipitación concomitante de sílice y migración hacia arriba de agua singenética cargada de calcio. Esa agua provino de ambientes de temperatura y pH más altos, en los cuales se estaba disolviendo cuarzo y en que se liberaba sílice junto con la conversión de minerales arcillosos en muscovita (VON ENGELHARDT, 1967). La precipitación del sobrecrecimiento ocurrió al descender el pH y la temperatura a menores profundidades.

Entre las areniscas con matriz arcillosa, particularmente las de la Arenisca de Gutiérrez-Quetame, hubo apreciable corrosión y solución de los granos. Esta fue probablemente una respuesta a la producción de carbonato potásico y al ambiente de elevado pH que acompañaron la degradación de la illita (THOMPSON, 1959). Las áreas disueltas fueron invadidas por mica sericítica (Lámina VI). El reemplazamiento del

cuarzo por carbonato ocurrió en aquellas areniscas que tienen cemento de carbonato, en respuesta a la continuada solución de cuarzo y deposición de calcita que acompañaron el aumento de la temperatura y del pH durante el avance del asentamiento (DAPPLES, 1959, 1967b; SHARMA, 1965).

Las diversas formas de solución de los granos de cuarzo y de reemplazamiento por carbonato o sericita incluyeron:

1. Corrosión de las superficies del grano, con posible penetración de sobrecrecimientos (Láminas I, IV, VI).

2. Reemplazamiento grande del grano, con manchas o parches irregularmente distribuidos, o cristales de calcita (Lámina I).

3. Reemplazamiento entre el grano y el sobrecrecimiento (Lámina IV).

4. Reemplazamiento a lo largo de los límites del grano (Láminas I, VII).

5. Reemplazamiento preferencial a lo largo de los planos de menor resistencia, cristalográficos o deformacionales (Lámina I).

6. Reemplazamiento entre miembros cristalinos o granos policristalinos (Lámina VII).

7. Reemplazamiento a lo largo de fracturas intergranulares e intragranulares (Lámina IV).

8. Completa obliteración del grano.

Las distintas variedades de cuarzo se alteraron con diferente rapidez. Comúnmente se presentó primero la alteración a lo largo de las márgenes del grano, a lo largo de las fracturas, y entre el grano y el sobrecrecimiento; la siguió la alteración entre los cristales constituyentes del cuarzo policristalino. La Fig. 4 muestra el orden de las principales alteraciones entre los diversos tipos de cuarzo. Las proporciones indicadas varían de una muestra a otra, pero el orden general está acorde con el que se observa en todas las secciones delgadas.

Alteraciones de grano a grano: Al aumentar la diagénesis, los contactos entre los granos detríticos se modificaron por las cambiantes condiciones de equilibrio químico y el aumento de los esfuerzos entre grano y grano. Los granos menos resistentes, como el pedernal, la glauconita, y los fragmentos de roca sedimentaria, sufrieron fuertes deformaciones y sus márgenes se hicieron muy irregulares. Los granos de cuarzo, más resistentes, tomaron límites variados y complejos.

Se hizo un esfuerzo por estudiar las inter-relaciones entre los parámetros texturales del grado de clasificación, el tamaño medio y la madu-

rez de los granos, la composición de la matriz y del cemento, y los indicios de deformación. Los últimos comprenden la abundancia de líneas de inclusiones, las líneas de inclusiones en grupos de forma de peine, y los tipos de contactos de los granos. Los contactos se clasificaron como:

1. Contactos lineales simples (Láminas II, III).
2. Contactos cóncavo-convexos (Láminas II, III).
3. Contactos de cara de cristal (Lámina II).
4. Contactos de penetración irregular simple (Lámina III).
5. Contactos microestilolitizados (Láminas VI, VII).

Su abundancia se determinó por conteo de puntos, anotando el tipo de contacto existente en la mayor parte del grano. También se registró el porcentaje de granos flotantes presentes y de pseudogranos intergranulares (Lámina III) formados por solución y redeposición intergranular de sílice. Los datos se encuentran en el Cuadro 4.

Los contactos de cara de cristal se producen en gran medida por la abundante formación de sobrecrecimientos hasta llegar al contacto recíproco de éstos, y son particularmente característicos de las ortocuarzitas limpias. Si no están perfectamente formados, pueden aparecer como contactos lineales simples (Lámina II). Los contactos de penetración irregular simple son contactos lineales con irregularidades pronunciadas cuyo aumento los hace pasar a la clase de las microestilolitas. Los contactos microestilolitizados incluyen los de forma de onda simple (Lámina VII), forma suturada (Lámina VI) y forma de pico agudo, estilolitas de PARK y SCHOT (1968), y contactos granulados poco comunes. Tanto los contactos de simple penetración irregular como los microestilolitizados reflejan la historia deformacional más intensa de una arenisca, acompañada por solución a presión entre los granos de cuarzo.

Muchos granos tienen varios tipos de contactos. Existen todas las combinaciones posibles de dos, y menos comúnmente de tres tipos, excepto la asociación de contactos de cara de cristal y microestilolitizado. Se observó un grano con cuatro variedades de contactos. Sin embargo, en la mayoría de los casos fue fácil elegir un tipo predominante.

En las Figs. 3b, 3c, 3d y 5 se ha tratado de relacionar entre sí los factores texturales, de composición y deformacionales arriba mencionados. Por lo general las correlaciones que existen son débiles, complicadas por una compleja deformación post-deposicional y por cambios epidiagenéticos. Sin embargo, la distribución de los datos en la Fig. 5 sugiere que las areniscas caracterizadas por un alto porcentaje de penetración irregular simple, contactos microestilolitizados y pseudogranos son por

lo común de grano más grueso y tienen más cuarzo policristalino, granos con líneas de inclusiones y granos con líneas de inclusiones en grupos de forma de peine. Tienen menos granos flotantes y sólo una matriz arcillosa o sericítica. En contraste, las areniscas con más contactos lineales simples y cóncavo-convexos tienden más a ser de grano fino y a tener menos cuarzo policristalino, menos granos con líneas de inclusiones y con líneas de inclusiones en grupos de forma de peine, más granos flotantes, y una mayor variedad de matrices y cementos. Lógicamente, como los contactos de cara de cristal son producto de la formación de sobrecrecimientos, las areniscas con muchos de tales contactos comúnmente tienen más sobrecrecimientos. La Fig. 3b demuestra que las areniscas con una mayor cantidad de matriz deposicional por lo común tienen menos sobrecrecimientos en los granos. Las Figs. 3c y 3d demuestran que las areniscas de grano más fino y las que tienen mayor cantidad de matriz deposicional comúnmente tienen menos granos con líneas de inclusiones y con líneas de inclusiones en grupos de forma de peine. Existen excepciones a todas las generalizaciones anteriores.

Estas observaciones reflejan una compleja interacción de varios factores. Más contactos irregulares y estilolitizados, pseudogranos, líneas de inclusiones y líneas de inclusiones en grupos de forma de peine, asociados con fuerte ondulosidad, reflejan todos los esfuerzos deformacionales mayores y el ambiente químico más intenso de una anadiagénesis que se acerca al metamorfismo. Están así lógicamente asociados y son los más característicos de la Arenisca Gutiérrez-Quetame. Esta asociación se complica un tanto por la presencia de granos con rasgos heredados de esfuerzos pre-deposicionales, particularmente en la Arenisca de El Cacho. La microestilolitización se efectúa por solución a presión entre los granos de cuarzo y por la formación de un ambiente químico local de elevado pH asociado con la degradación de la illita intergranular sometida a esfuerzos (Lámina VI; THOMPSON, 1959). Se espera así una asociación de contactos altamente irregulares y de matriz arcillosa o de sericita. Sin embargo, al aumentar la cantidad de matriz o de cemento (y por consiguiente la abundancia de granos flotantes), disminuye la transferencia de esfuerzos de grano a grano. Así es menos probable que se formen contactos microestilolitizados asociados con la solución a presión y con la degradación de la illita, los pseudogranos, las líneas de inclusiones y las líneas de inclusiones de grupos en forma de peine. La presencia de muchos granos flotantes con márgenes altamente corroídas entre rocas sedimentarias de grano más fino con cantidades mayores de matriz arcillosa sugiere que todavía se presenta la corrosión de los granos asociada con degradación de la illita. Esta corrosión en las areniscas ricas en matriz, la solución de los granos y el reemplazamiento de car-

bonato en las areniscas calcáreas, y la solución a presión en las areniscas muy deformadas, dificultan la formación de sobrecrecimientos.

La asociación de la microestilolitización y la policristalinidad se presenta debido a las reacciones separadas y cambiantes de los diversos miembros cristalinos de un grano sometido a esfuerzos, lo que probablemente se relaciona con las cambiantes resistencias de los miembros a la alteración, según su tamaño y su orientación cristalográfica. El contacto del grano resulta más irregular, puesto que es una combinación de los contactos de muchos miembros cristalinos individuales (Lámina VII). CONOLLY (1965) y WHISONAUT (1970) han observado una relación directa entre el grado de deformación y el tamaño del grano. El autor cree que esta asociación se relaciona con el contenido más elevado de matriz de las areniscas de grano más fino y no es, pues, una relación significativa. En la roca sedimentaria libre de matriz de la Arenisca Tierna ha ocurrido una considerable cantidad de deformación del grano y solución a presión. El efecto de la solución en los puntos de mayor esfuerzo y la precipitación de sílice en los de menor esfuerzo ha producido un alineamiento aparente subparalelo del grano. En las areniscas de clasificación mala los granos más grandes parecen soportar la mayor parte del esfuerzo deformacional. En sus "sombras de deformación" (strain shadows) los granos más pequeños han desarrollado menos rasgos deformacionales. Las "sombras de deformación" mismas son una región de considerable precipitación de sílice de sobrecrecimientos y de pseudogranos.

Epidiagénesis

Alteraciones matriz-cemento: En partes de todas las formaciones la introducción de agua meteórica en las masas de roca expuestas inició el reemplazamiento de todas las matrices y cementos que se habían formado antes, por óxidos de hierro. El mineral de reemplazamiento más abundante es la goetita, en forma de costras escamosas o de cristales prismáticos radiantes. Asociadas con la goetita hay costras de limonita y de hematita terrosa o metálica. En muchas secciones delgadas, la goetita intergranular está concentrada en parches subcirculares. Los rellenos de fracturas y las vetas intergranulares aumentan de espesor hacia esas zonas, tomando aspecto de vetas alimentadoras. En las zonas de concentración más densas aparecen manchas de hematita. Entre las Areniscas de Labor, Tierna y La Guía, estas manchas de óxidos de hierro concentrados alcanzan diámetros hasta de tres centímetros y en sección delgada parecen haberse formado por reemplazamiento de nódulos de carbona-

to con óxido de hierro. Ese reemplazamiento pudo haber ocurrido por solución del carbonato y deposición de los óxidos, o por oxidación de la siderita.

En la Arenisca Dura los óxidos de hierro están concentrados en laminaciones arcillosas. Algunas muestras de la Arenisca de El Cacho y concreciones elípticas grandes (hasta de 1 metro por 75 centímetros) ricas en hierro dentro de la Arenisca de La Regadera tienen cemento penetrante de goetita (Lámina I). Se piensa que en todas las formaciones los óxidos de hierro han reemplazado a los cementos en disolución y a los minerales arcillosos o micáceos en descomposición a medida que el agua meteórica oxigenada penetraba la masa de roca.

En algunas muestras de la Arenisca de La Regadera hay rellenos intergranulares de cemento de ópalo. La deposición se efectuó de aguas que contenían grandes cantidades de sílice disuelto, tal vez en asociación con actividad de fuentes termales.

Alteraciones grano-matriz-cemento: En todas las formaciones, particularmente en las Areniscas de El Cacho y de La Regadera, ricas en hierro, las zonas de alteración anadiagenéticas del grano por la sericita o el carbonato han sido invadidas por óxidos de hierro (Lámina IV). Entre el cuarzo y los óxidos de hierro no se presentan alteraciones mineralógicas (DAPPLES, 1967a), de modo que el emplazamiento de óxido de hierro fue por completo un reemplazamiento secundario que sigue las formas hereditarias de alteración descritas anteriormente. Como en sección delgada los óxidos de hierro son casi opacos, esta alteración estuvo acompañada por una pérdida visual de la silueta del grano y un aumento de su angularidad aparente. La solución en pequeña escala de cuarzo por circulación de las aguas terrestres y la deposición de los óxidos de hierro en las zonas disueltas, produjo la obliteración de los granos más pequeños. La secuencia de la alteración de los granos de cuarzo fue igual a la que describe la figura 4.

La glauconita y los fragmentos de roca sedimentaria fueron obliterados por la penetración del cemento de hierro, y mezclados a la matriz de las areniscas ricas en hierro. Los fragmentos de rocas sedimentarias pasaron a ser zonas de concentración de hematita. El pedernal sufrió una compleja secuencia de alteración. La goetita invadió hacia adentro, desde la superficie del grano y desde las fracturas. Más tarde todo el grano se salpicó de manchas, a excepción de los microfósiles y las vetas lineales de cuarzo recristalizado, que permanecieron sin alteración y en sección delgada se ven brillantes. Finalmente todo el grano fue reemplazado por goetita y pasó a ser una región de concentración de hematita, difícil de distinguir de la matriz.

- CAMPBELL, C. J. and BÜRGL, H. 1965. "Section through the Eastern Cordillera of Colombia": *Geol. Soc. America Bull.*, v. 76, p. 567-590, New York.
- CONOLLY, J. R. 1965. "The Occurance of Polycrystallinity and Undulatory Extinction in Quartz in Sandstones": *Jour. Sed. Petrology*, v. 35, p. 116-135, Tulsa.
- DAPPLES, E. C., 1959. "The Behavior of Silica in Diagenesis" in "Silica in Sediments". Ireland, H. A., ed. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Spec. Pub. N° 7*, p. 36-51.
- DAPPLES, E. C., 1967a. "Diagenesis of Sandstones" in "Diagenesis in Sediments", Larson, G. and Chilingar, G. V., ed.: *Developments in Sedimentology* v. 8, p. 91-126.
- DAPPLES, E. C., 1967b. "Silica as an Agent in Diagenesis" in "Diagenesis in Sediments", Larson, G. and Chilingar, G. V., ed.: *Developments in Sedimentology* v. 8, p. 323-342.
- FAIRBRIDGE, R. W., 1967. "Phases of Diagenesis and Authigenesis" in "Diagenesis in Sediments", Larson, G. and Chilingar, G. V., ed.: *Developments in Sedimentology* v. 8, p. 19-90.
- FOLK, R. L., 1965. "Petrology of Sedimentary Rocks": *Hemphill's Book Store*, 159 p. Austin.
- GANSSEER, A., 1954. "The Guiana Shield (South America)": *Eclogae Geol. Helvetiae*, v. 47, p. 77-112.
- HUBACH, E. 1958. "Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus Alrededores": *Boletín Geológico*, v. 5. p. 93-112. Bogotá.
- JULIVERT, M., 1962a. "La Estratigrafía de la Formación Guadalupe": *Boletín de Geología*, v. 11, p. 5-23, Bucaramanga.
- JULIVERT, M., 1962b. "Estudio Sedimentológico de la Parte Alta de la Formación Guadalupe al Este de Bogotá". *Boletín de Geología*, v. 10, p. 25-54, Bucaramanga.
- JULIVERT, M., 1963. "Estratigrafía y Sedimentología de la Parte Inferior de la Formación Guaduas al Sur de la Sabana de Bogotá (Cordillera Oriental)": *Boletín de Geología*, v. 12, p. 85-99, Bucaramanga.
- MÜLLER, G., 1967. "Diagenesis in Argillaceous Sediments" in "Diagenesis in Sediments", Larson, G. and Chilingar, G. V., ed.: *Developments in Sedimentology*, v. 8, p. 127-178.
- PARK, W. C. and SCHOT, E. H., 1968. "Stylolites: Their Nature and Origin": *Jour. Sed. Petrology*, v. 38, p. 175-191, Tulsa.
- POWERS, M. C., 1953. "A New Roundness Scale for Sedimentary Rock Particles": *Jour. Sed. Petrology*, v. 23, p. 117-119, Tulsa.
- ROD, E., 1962. "From where did the Sand of the Roraima Formation Come?": *Asoc. Venezolana Geol., Minería, Petróleo*, v. 5, p. 303-308, Caracas.
- RENZONI, G., 1965. "Geología del Cuadrángulo L-11, Villavicencio": *Servicio Geológico Nacional e Inventario Minero Nacional*, Bogotá.

- SHARMA, G. D., 1965. "Formation of Silica Cement and its Replacement by Carbonates": *Jour. Sed. Petrology*, v. 35, p. 733-745, Tulsa.
- SIEVER, R., 1959. "Petrology and Geochemistry of Silica Cementation in some Pennsylvanian Sandstones" in "Silica in Sediments", Ireland, H. A., ed.: *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Spec. Pub. N° 7*, p. 55-79.
- THOMSON, A., 1959. "Pressure Solution Porosity" in "Silica in Sediments", Ireland, H. A., ed.: *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Spec. Pub. N° 7*, p. 92-110.
- UJUETA, L., 1962. "Geología del Noreste de Bogotá": *Boletín Geológico*, v. 9, p. 23-46, Bogotá.
- VON ENGELHARDT, W., 1967. "Interstitial Solutions and Diagenesis in Sediments" in "Diagenesis in Sediments", Larsen, G. and Chilingar, G. V., ed.: *Developments in Sedimentology*, v. 8, p. 503-522.
- WAUGH, B., 1970. "Petrology, Provenance and Silica Diagenesis of the Penrith Sandstone (Lower Permian) of Northwest England": *Jour Sed. Petrology*, v. 40, p. 1226-1240, Tulsa.
- WHISONANT, R. C., 1970. "Influence of Texture upon Response of Detrital Quartz to Deformation Sandstones": *Jour. Sed. Petrology*, v. 40, p. 1018-1025, Tulsa.

CUADRO NUMERO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ARENISCAS MUESTREADAS

Las descripciones de la textura y la composición de las areniscas se basan en observaciones de campo y de laboratorio. Los espesores generales de las formaciones se han tomado de trabajos de HUBACH (1958), JULIVERT (1968) RENZONI (1965) y UJUETA (1962).

Formación	Espesor aproximado metros	Descripción General de la Arenisca
Arenisca de La Regadera	50	Subgrauvaca u ortocuarcita amarilla o carmelita, submadura, de regular o regularmente bien clasificada, subangular a angular, de grano mediano.
Arenisca de El Cacho	75	Subgrauvaca blanca, amarilla, roja, carmelita, inmadura, mal clasificada, angular, de grano fino, y subgrauvaca y ortocuarcita submaduras, de regular a regularmente bien clasificadas, subangulares a subredondeadas, de grano mediano a grueso.
Arenisca de La Guía	30	Limo grueso ortocuarcítico rosado, gris, inmaduro, muy angular, y ortocuarcita submadura, regularmente bien clasificada, subangular, de grano fino.
Arenisca Tierna	50	Limo grueso ortocuarcítico blanco, gris, canela, inmaduro a submaduro, mal clasificado, angular y ortocuarcita subangular, de grano fino a mediano.
Arenisca Labor	65	Ortocuarcita blanca, gris, canela, inmadura a submadura, de regular a regularmente bien clasificada, angular a subangular, de grano muy fino a mediano.
Arenisca Dura	300	Ortocuarcita canela, rosada, gris, inmadura, mal clasificado, angular a subangular, de grano muy fino a fino, y ortocuarcita submadura, regularmente clasificada, subredondeada, de grano medío.
Areniscas del Grupo de Guadalupe Inferior	150	Limo grueso ortocuarcítico blanco a gris, inmaduro, mal clasificado, muy angular a angular, y ortocuarcita de grano muy fino.
Arenisca de Une	450	Ortocuarcita blanca a gris, submadura a madura, de mal a regularmente bien clasificada, subangular a subredondeada, de grano mediano.
Arenisca de Cáqueza	250	Limo grueso ortocuarcítico rojo, blanco, gris, inmaduro, mal clasificado, muy angular a angular, y ortocuarcita de grano muy fino.
Arenisca Gutiérrez - Quetame	400	Ortocuarcita blanca a gris, inmadura, mal clasificada, angular, de grano mediano, y subgrauvaca regularmente clasificada, subangular, de grano grueso.

CUADRO NUMERO 2

COMPOSICION DE LA ARENISCA

Los porcentajes se han redondeado a la unidad más próxima. Los constituyentes en trazas (T) son los que se hallan en cantidades menores del uno por ciento, la mayoría de los cuales se indican en el Cuadro 3. Las areniscas de grano más fino también contienen cantidades de limo de cuarzo en la matriz. "CO₃" representa la matriz de carbonato o el cemento microespáriticos. La illita y la sericita son difíciles de distinguir entre sí, y la sericita se hace figurar para los especímenes en que hay presente muscovita autigénica.

Formación y número de muestra	%	Cuarzo Unduloso	Cuarzo se- micomposito	Cuarzo composito dilatado	Federal	Rocas arcillosas	Matriz o cemento	Descripción de matriz o cemento (orden de abundancia)
Arenisca de La Regadera ..	R 3—	42	1	9	6	3	32	Oxidos de Hierro, Caolinita
	R 6—	52	2	7	7	2	19	Oxidos de Hierro, Caolinita
	R 7—	52	4	9	7	2	15	Oxidos de Hierro, Opalo
	R 8—	48	4	10	7	T	24	Oxidos de Hierro
Arenisca de El Cacho . . .	C 1—	57	8	8	4	11	10	Illita, Oxidos de Hierro
	C 5—	53	13	12	2	1	18	Caolinita, Illita, Oxidos de Hierro
	C 7—	70	8	5	1	2	14	Caolinita, Illita
	C 8—	64	9	3	3	T	20	Oxidos de Hierro
	C 9—	70	6	6	4	1	11	Illita, Oxidos de Hierro
	C10—	39	1	3	1	5	5	Oxidos de Hierro
Arenisca de La Guía	G11—	86	5	3	0	T	5	Oxidos de Hierro, Caolinita, CO ₃
	G12—	38	3	2	0	0	57	Oxidos de Hierro, Illita
Arenisca Tierna	T 1—	91	4	3	0	T	0	(3% Glauconita)
	T 5—	72	5	4	1	T	18	Caolinita, Oxidos de Hierro
	T 7—	76	5	5	0	T	13	Caolinita, Oxidos de Hierro
	T 8—	79	6	6	2	T	7	Caolinita, Oxidos de Hierro
	T10—	82	4	4	1	T	9	Caolinita, Oxidos de Hierro
Arenisca Labor	L 1—	80	2	4	0	T	14	Caolinita, Nada, Oxidos de Hierro
	L 2—	83	5	1	0	0	11	Caolinita, CO ₃ , Oxidos de Hierro
	L 5—	69	1	1	0	T	29	CO ₃
	L 7—	77	5	1	1	T	16	Caolinita, Nada en poros
	L10—	84	3	2	T	T	1	Nada, Caolinita, Oxidos de Hierro

CUADRO NUMERO 2
(Conclusión)

Formación y número de muestra	%	Cuarzo Unduloso	Cuarzo se- micomposito	Cuarzo composito dilatado	Pederal	Rocas arcillosas	Matriz o cemento	Descripción de matriz o cemento (orden de abundancia)
Arenisca Dura	D 3—	84	6	4	1	T	4	Caolinita, Illita, Oxidos de Hierro
	D 7—	68	5	1	T	0	24	Caolinita, Illita
	D 8—	71	T	6	1	T	20	Caolinita, Illita
	D 9—	57	6	2	T	0	35	Caolinita, Illita
	D12—	85	8	3	1	0	3	Caolinita, Illita
Areniscas del Grupo de Gua- dalupe Inferior	PG 1—	67	4	T	0	T	28	Illita-sericita
	PG 3—	62	2	1	0	T	35	Illita-sericita, Oxidos de Hierro
	PG 5—	74	2	9	1	0	13	Caolinita, Illita-sericita
	PG 7—	59	5	1	0	0	35	Illita-sericita
	PG10—	50	5	2	T	0	42	Illita-sericita
Arenisca de Une	U 1—	79	3	13	1	0	4	Caolinita, Illita-sericita
	U 3—	88	6	7	1	0	3	Caolinita, Oxidos de Hierro
	U 4—	84	7	4	3	0	1	Caolinita, Illita-sericita
	U 7—	89	7	3	0	0	1	Caolinita, Illita-sericita
	U10—	89	2	5	2	0	2	Caolinita, Illita-sericita
Arenisca de Cáqueza	Z 1—	54	3	3	1	0	40	Oxidos de Hierro, Sericita, Clorita
	Z 4—	21	T	1	T	0	69	CO ₂ , 9% fósiles, Oxidos de Hierro
	Z 7—	37	3	2	T	2	56	Oxidos de Hierro, Sericita
	Z 9—	45	4	1	T	0	50	Oxidos de Hierro, Sericita
	Z10—	66	3	3	0	0	28	Oxidos de Hierro, Sericita, Clorita
Arenisca de Gutiérrez - Que- tame	Q 1—	68	4	7	4	T	17	Sericita
	Q 3—	54	10	13	12	T	11	Sericita, Oxidos de Hierro
	Q 7—	53	6	10	3	T	28	Sericita, Oxidos de Hierro
	Q 9—	54	10	20	3	1	12	Sericita, Oxidos de Hierro
	Q11—	46	6	17	13	2	16	Sericita
	Q12—	64	2	11	3	5	13	Sericita, Clorita, Oxidos de Hierro

CUADRO NUMERO 3

CONSTITUYENTES DETRITICOS EN TRAZAS

Los constituyentes que figuran se encuentran en cantidades de menos del uno por ciento en la mayoría de las secciones delgadas. "T" indica la presencia como granos detriticos, e "i" la indica como microlitas dentro de los granos de cuarzo.

Formación	Anatasa	Apatita	Barita	Biotita	Brookita	Calcedonia	Circón	Epidota	Esfena	Fragmentos de conchas	Glaucanitas	Limentita	Lecocoxena	Microclina	Muscovita	Oxidos de hierro	Plagioclasa	Rutilo	Turmalina
Arenisca de La Regadera	—	—	T	—	—	T	Ti	—	—	—	—	—	—	—	Ti	—	—	—	T
Arenisca de El Cacho	—	—	—	—	—	T	Ti	—	—	—	—	—	—	—	Ti	T	—	T	—
Arenisca de La Guía	T	T	—	T	T	—	Ti	T	—	—	T	—	T	T	Ti	T	T	T	T
Arenisca Tierna	T	—	T	i	T	—	Ti	T	T	—	T	T	T	T	Ti	T	—	T	T
Arenisca Labor	T	—	—	Ti	T	—	Ti	—	Ti	T	T	T	T	—	Ti	T	—	Ti	T
Arenisca Dura	T	—	T	T	T	—	Ti	T	i	—	T	—	T	—	Ti	T	T	Ti	T
Areniscas del Grupo de Guadalupe Inferior	T	—	—	T	T	—	Ti	T	—	—	T	—	T	—	Ti	T	—	T	i
Arenisca de Une	—	—	T	i	T	—	Ti	—	—	—	—	—	T	—	Ti	—	—	Ti	Ti
Arenisca de Cázquea	T	—	—	T	—	—	T	—	—	T	—	—	T	—	T	T	—	T	T
Arenisca de Gutiérrez - Que-tame	—	—	—	Ti	—	—	Ti	—	—	—	—	—	T	—	Ti	T	—	Ti	—

CUADRO NUMERO 4

PARAMETROS TEXTURALES, CONTACTOS DE GRANOS, SOBRECRECIMIENTOS Y RASGOS DE DEFORMACION

Abreviaturas: ms = contacto microestilolitizado; sp = penetración irregular simple; sr = pseudograno formado por solución a presión y redispersión intergranular; xf = contacto de cara de cristal; cc = contacto cóncavo-convexo; lb = contacto lineal simple; P = mal clasificado; M = regularmente clasificado; MW = de regular a bien clasificado; va = muy angular; a = angular; sa = subangular; sr = subredondeado.

Formación y número de muestra	%	Con líneas de inclusiones	Con estructura de peine	Con sobrecrecimientos	ms	sp	sr	xf	cc	lb	nada	Tamaño media	Grado de Clasific.	Redondez
Arenisca de La Regadera .	R 3—	22	1	1	0	8	0	0	4	1	77	1.8	M	a
	R 6—	46	0	9	0	28	0	0	12	28	32	1.6	M	sa
	R 7—	51	0	6	0	14	0	0	11	48	27	1.6	MW	sa
	R 8—	33	0	5	0	9	0	2	9	31	49	1.7	M	sa
Arenisca de El Cacho ..	C 1—	55	0	29	0	18	1	7	23	47	4	1.9	MW	sa
	C 5—	78	12	43	1	47	0	4	6	41	1	1.2	M	sa
	C 7—	68	15	41	1	44	0	4	8	41	2	0.9	M	sa
	C 8—	56	10	50	5	42	0	15	17	20	1	1.3	MW	sr
	C 9—	77	17	29	2	48	0	7	10	33	0	1.5	M	sa
	C10—	85	0	9	0	4	0	0	2	9	85	2.4	P	a
Arenisca de La Guña . . .	G11—	8	0	—	0	18	0	0	6	45	31	4.8	P	va
	G12—	10	0	11	0	21	2	27	9	41	0	2.0	MW	sa
Arenisca Tierna	T 1—	11	1	—	3	40	6	5	7	39	0	4.1	P	a
	T 5—	59	18	26	6	54	0	0	3	34	3	1.6	P	sa
	T 7—	20	24	24	9	50	0	0	2	37	2	2.0	P	sa
	T 8—	75	24	44	16	66	2	6	2	8	0	1.6	P	sa
	T10—	77	21	46	11	60	0	0	6	22	1	1.5	P	sa
Arenisca Labor	L 1—	7	0	—	0	9	1	0	19	48	23	3.2	P	a
	L 2—	9	0	—	0	21	0	1	23	47	8	3.6	M	a
	L 5—	6	0	7	0	18	0	1	20	50	11	2.6	MW	sa
	L 7—	62	16	28	17	55	1	1	5	16	5	2.0	MW	sa
	L10—	49	4	26	2	50	0	0	2	45	1	1.4	MW	sa

CUADRO NUMERO 4
(Conclusión)

Formación y número de muestra	%	Con líneas de inclusiones	Con estructu- ra de peñe	Con sobre- crecimientos	ms	sp	sr	xf	cc	lb	nada	Tamaño media	Grado de Clasific.	Redondez
Arenisca Dura	D 3--	53	3	22	4	72	0	7	3	14	0	1.9	M	ST
	D 7--	40	17	15	11	47	0	0	3	31	8	2.4	P	SA
	D 8--	14	5	--	4	34	4	0	8	28	22	3.4	P	a
	D 9--	35	5	--	21	34	6	0	3	22	14	3.1	P	a
	D 12--	46	6	36	26	52	2	0	3	10	0	2.6	P	SA
Areniscas del Grupo de Guadalupe Inferior	PG 1--	8	0	--	0	26	0	0	4	53	17	4.2	P	VA
	PG 3--	2	0	--	0	27	0	0	11	50	12	4.2	P	a
	PG 5--	6	0	--	3	40	2	0	9	41	5	4.3	P	a
	PG 7--	8	0	--	0	27	0	1	12	52	8	3.8	P	a
	PG 10--	9	0	--	0	19	0	0	7	51	23	4.2	P	a
Arenisca de Une	U 1--	76	0	42	4	74	20	1	1	20	0	1.5	P	SA
	U 3--	80	4	73	20	60	3	6	1	10	0	1.3	P	ST
	U 4--	44	0	74	9	67	2	8	1	13	0	1.2	M	SA
	U 7--	45	0	32	0	46	3	21	5	25	0	1.9	MW	SA
	U 10--	38	3	64	0	40	0	32	3	25	0	1.9	M	ST
Arenisca de Cáqueza	Z 1--	7	1	--	0	26	0	0	3	37	34	4.2	P	a
	Z 4--	7	0	--	0	1	0	0	1	9	90	3.7	P	a
	Z 7--	16	1	--	5	15	0	0	3	34	43	4.0	P	a
	Z 9--	32	2	--	4	17	0	0	2	45	32	3.3	P	a
	Z 10--	7	0	--	0	33	1	0	7	48	11	4.2	P	a
Arenisca de Gutiérrez-Que- tame	Q 1--	33	8	12	26	58	2	0	4	10	0	1.5	P	a
	Q 3--	67	22	4	38	48	0	0	2	10	2	0.4	M	SA
	Q 7--	49	8	8	17	54	0	0	2	17	10	1.5	P	a
	Q 9--	61	28	14	40	50	0	0	1	8	1	0.3	P	a
	Q 11--	43	28	4	58	36	2	0	0	3	1	0.9	P	SA
	Q 12--	39	4	17	22	62	0	1	2	13	0	0.9	M	SA

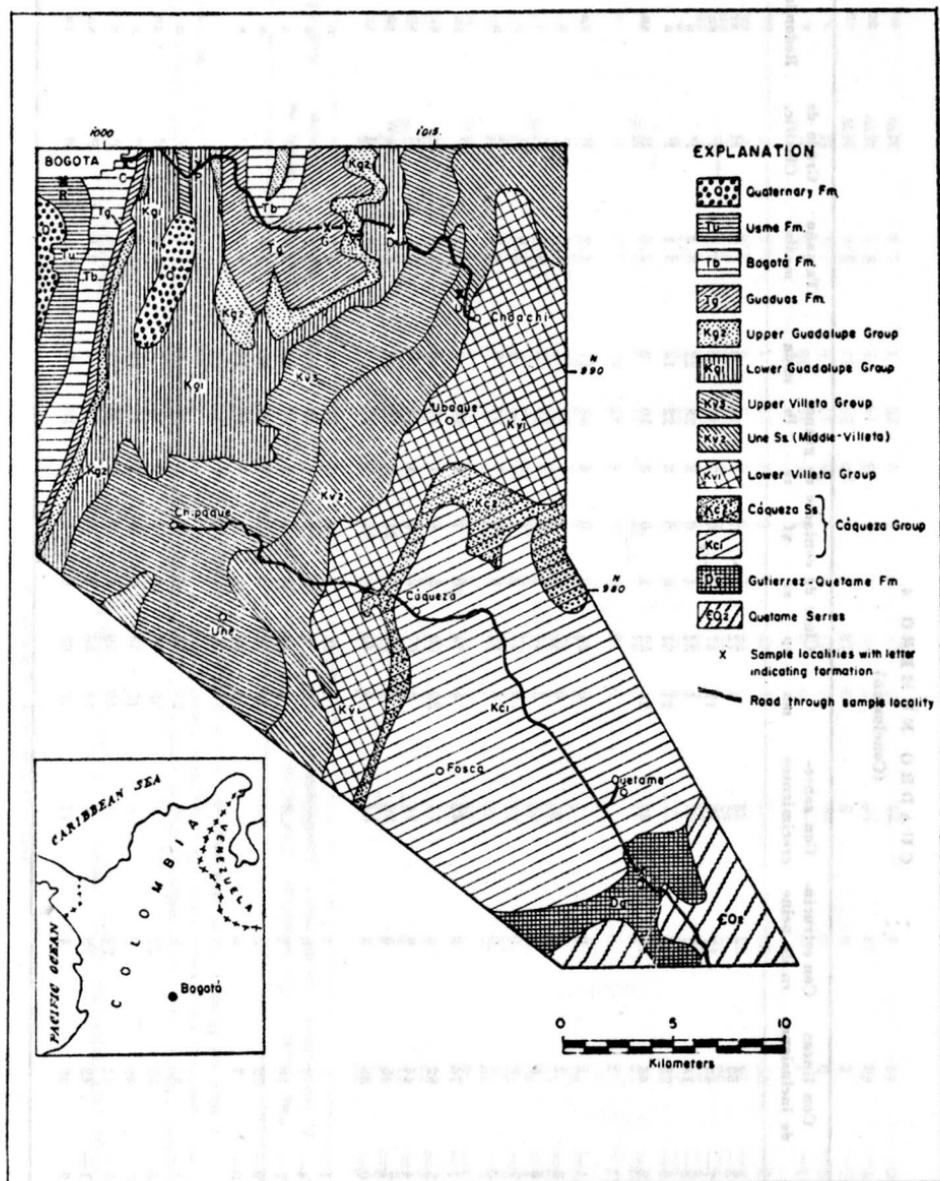


FIGURA 1: GEOLOGIA GENERAL Y UBICACION DE LAS MUESTRAS

La geología general se ha tomado del Cuadrángulo L-11: Villavicencio, de Giancarlo Renzoni y el Servicio Geológico Nacional e Inventario Minero Nacional (1965). La ubicación de las muestras está indicada con una "X" y una letra que representa una formación determinada: Q (Arenisca de Gutiérrez-Quetame), Z (Arenisca de Cáqueza), U (Arenisca de Une), P (Areniscas finas del Grupo Guadalupe Inferior), D (Arenisca Dura), L (Arenisca Labor), T (Arenisca Tierna), G (Arenisca de La Guía), C (Arenisca de El Cacho) y R (Arenisca de La Regadera).

SYSTEM	SERIES	LITHOLOG	MAJOR Ss. UNITS (Sampled)	STANDARD FORMATION Nomenclature
QUATERNARY	PLEISTOCENE TO RECENT			La Sabana Fm
	PLIOCENE-UPPER MIOCENE			Triata Fm
TERTIARY	OLIGOCENE			Usme Fm
	MIDDLE-UPPER EOCENE		La Repadura Ss	
	LOWER EOCENE			Bogotá Fm
	UPPER PALEOCENE		El Cacho Ss	
	LOWER PALEOCENE			Guaduas Fm.
CRETACEOUS	UPPER MAESTRICHtian		Tierra Ss Lobos Ss	Guadalupe Group
	LOWER MAESTRICHtian			
	CAMPANIAN		Duro Ss	
	SANTONIAN-CONIACIAN		Fine Sandstone	
	TUROMAN			Villeta Group
	CENOMANIAN		Una Ss	
	ALBIAN			
	APTIAN			Cáqueza Group
	BERREMIAN			
	HAUTERIVIAN		Cáqueza Ss	
VALANGINIAN				
	BERRIASIAN			
JURASSIC	TITHONIAN			
DEVONIAN	ONONDAGIAN-HAMILTONIAN		Gutierrez-Quetame Ss	Gutierrez-Quetame Fm
CAMBRO-ORDOVICIAN				Quetame Series

FIGURA 2: ESTRATIGRAFIA REGIONAL

Se indican las formaciones de arenisca muestreadas. La nomenclatura se basa en los trabajos de HUBACH (1958), JULIVERT (1962a, 1962b), y RENZONI (1965). Los términos se dan en inglés.

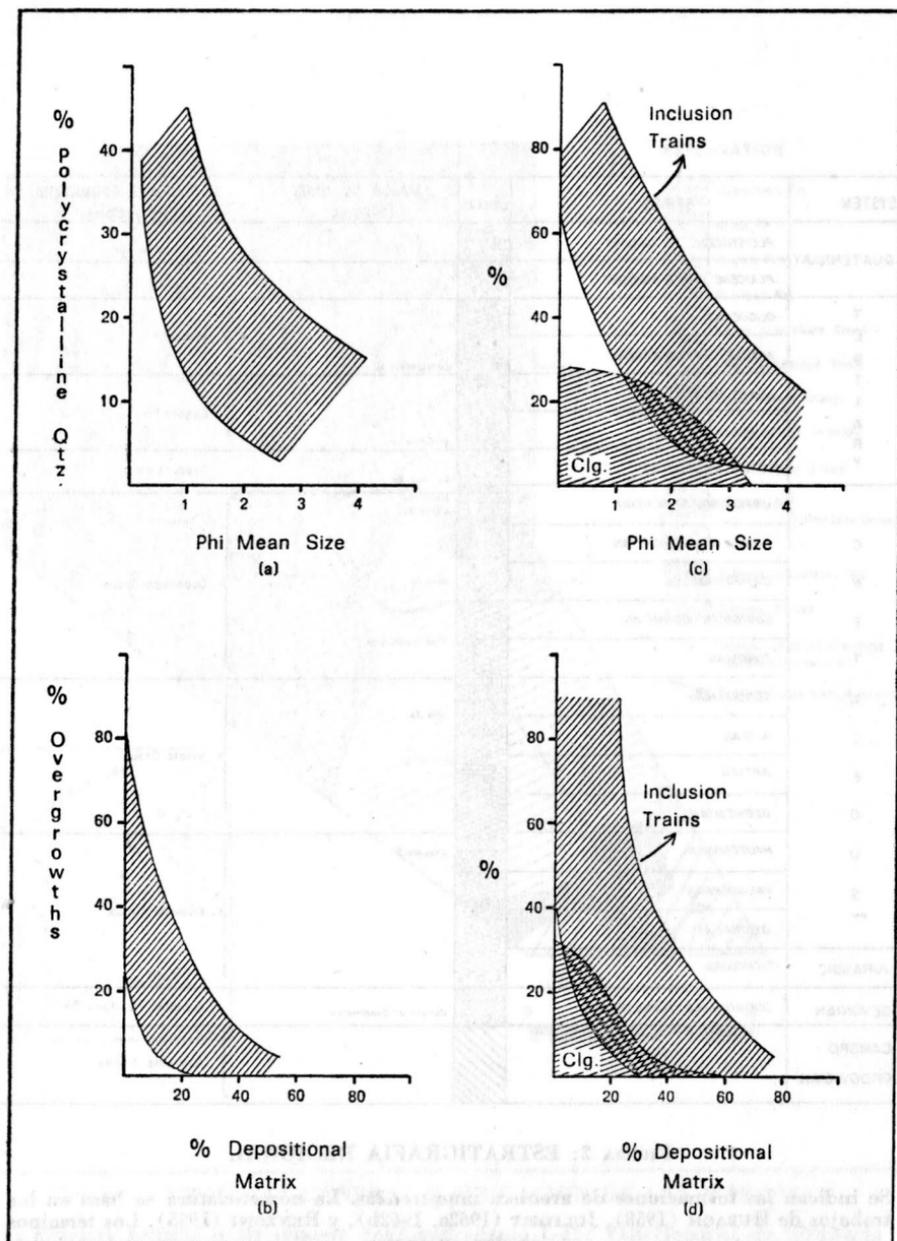


FIGURA 3: INTER-RELACIONES DE LOS PARAMETROS TEXTURALES Y DEFORMACIONALES

a) Porcentaje de granos de cuarzo policristalino presentes por tamaño medio en phi. b) Porcentaje de granos con sobrecrecimientos por porcentaje estimado de matriz deposicional. c) Porcentaje de granos con líneas de inclusiones y líneas de inclusiones en grupos de forma de peine (cgl.) por tamaño medio en phi. d) Porcentaje de granos con líneas de inclusiones y líneas de inclusiones en grupos de forma de peine (cgl.) por porcentaje estimado de matriz deposicional. Los términos se dan en inglés.

Alteración más temprana y rápida ————— más tardía y lenta

Clase de Cuarzo:	Cuarzo Esquistoso	Cuarzo Dilatado	Cuarzo Compósito	Cuarzo Semicompósito	Cuarzo Onduloso
% con alteración	6.0	1.3	1.2	0.6	0.3
% sin alteración	1	1	1	1	1

FIGURA 4: ORDEN DE ALTERACION DE LOS TIPOS DE GRANOS DE CUARZO

El orden va hacia la derecha y se refleja en las proporciones indicadas, de cuarzo alterado a cuarzo no alterado para cada tipo de cuarzo. Datos del conteo de puntos de 1.000 granos del espécimen R3.

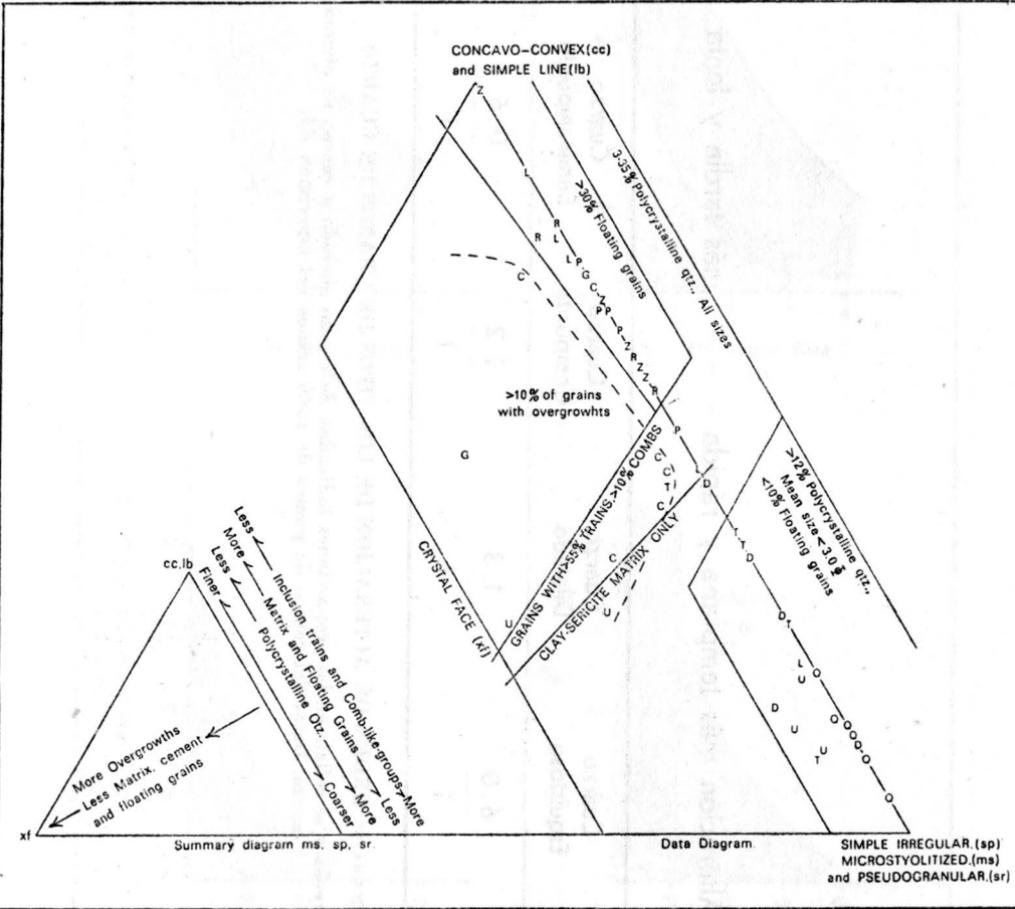


FIGURA 5: CONTACTOS DE GRANOS

Las letras del diagrama de datos representan las muestras estudiadas y corresponden a formaciones determinadas, como en la Figura 1. Los términos se dan en inglés.



LÁMINA I: Arenisca de El Cacho (Muestra C5, 100X, nicoles cruzados) con cemento goetítico. a) Cuarzo onduloso semicompuesto con un sobrecrecimiento en forma cristalina. Reemplazamiento grande del grano, con manchas irregularmente distribuidas, pero no del sobrecrecimiento. b) Cuarzo onduloso con fracturas. Las fracturas soldadas son claras y las no soldadas oscuras. c) Cuarzo onduloso con las líneas de inclusiones en un grupo de forma de peine, y con reemplazamiento secundario a lo largo de un plano de clivaje por óxidos de hierro. También ha ocurrido corrosión de las superficies de los granos y reemplazamiento a lo largo de los límites de los granos. La línea, abajo en la derecha, de todas las microfotografías tiene una longitud de 10 micrones.

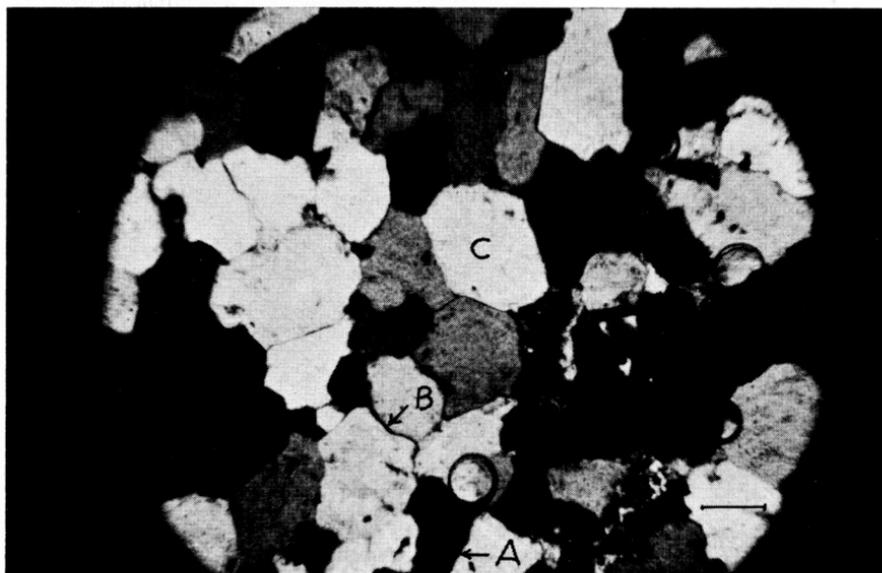


LÁMINA II: Arenisca de La Guía (Muestra G12, 100X, nicoles cruzados) con caolinita-illita intergranular en la derecha. Hay muchos granos con forma de cristal pero sin sobrecrecimientos marcados. a) Contacto lineal simple. b) Contacto cóncavo-convexo. c) Grano con contactos de cara de cristal. d) Grano con sobrecrecimientos bien marcados y contactos de cara de cristal mal formados.

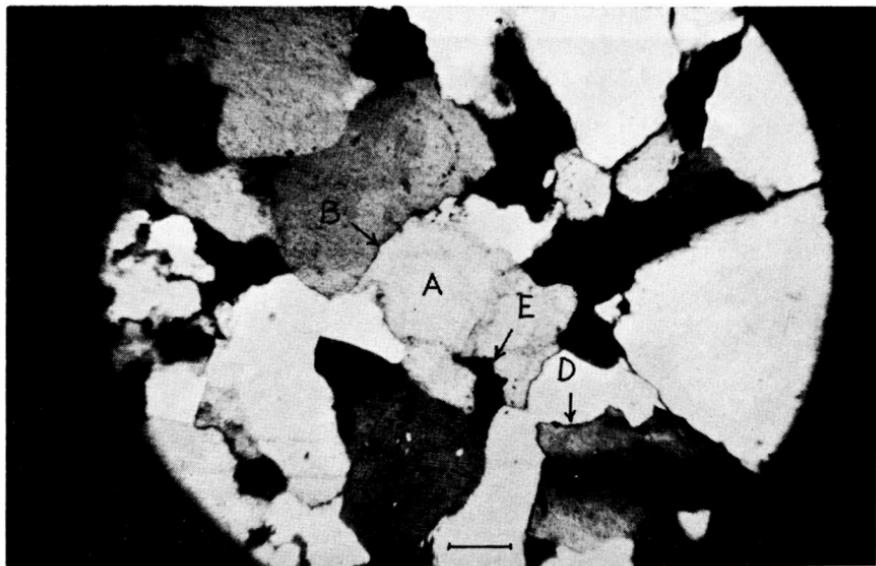


LÁMINA III: Arenisca de Une (Muestra U1, 100X, nicoles cruzados) sin matriz detrítica. a) Dos granos de cuarzo muy próximos con la misma orientación cristalográfica en un sobrecrecimiento continuo. Los márgenes detríticos se dibujan. b) Contacto lineal simple en un grano con sobrecrecimiento extensivo. c) Contacto cóncavo-convexo en un grano con microlitas. d) Contacto de penetración irregular simple. e) Posiblemente un seudograno en extinción.

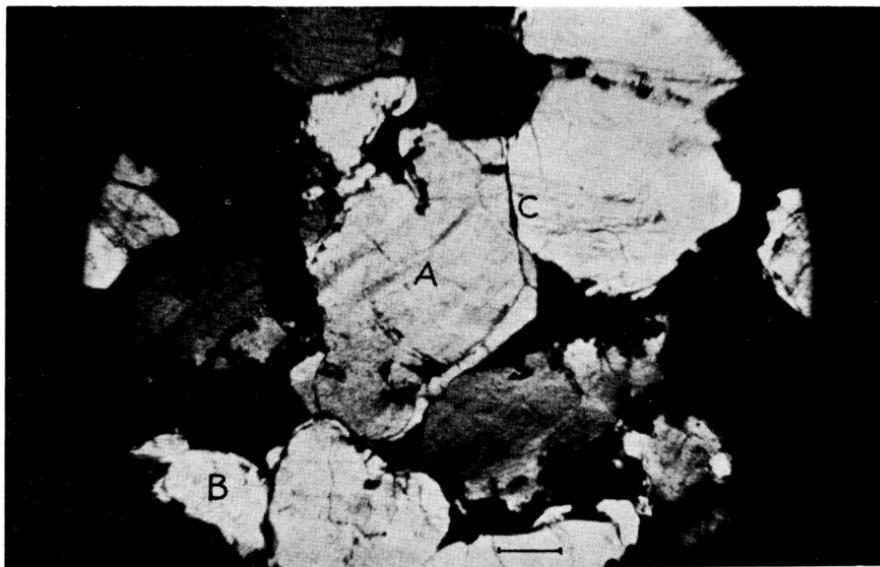


LÁMINA IV: Arenisca de El Cacho (Muestra C8, 100X, nicoles cruzados) con cemento goetítico. a) Cuarzo ondulado con líneas de inclusiones, fracturas y un sobrecrecimiento que se formó después de la deformación del cuarzo. Óxidos de hierro epidiagenéticos existen a lo largo de algunas fracturas, entre el grano y el sobrecrecimiento y como manchas en el grano. b) Cuarzo ondulado con las líneas de inclusiones en grupos de forma de peine y con un contacto lineal simple. c) Granos con líneas de inclusiones y contacto de cara de cristal. Hay mucha corrosión en las superficies de los granos y reemplazamiento a lo largo de fracturas.



LÁMINA V: Arenisca de El Cacho (Muestra C8, 100X, nicoles cruzados) con matriz illítica-goetítica. El grano de cuarzo en el centro tiene extinción ondulosa muy fuerte. Los extremos del grano están en extinción y la zona de ondulidad más fuerte es clara. En esta zona hay líneas de inclusiones en un grupo de forma de peine y varias fracturas soldadas.

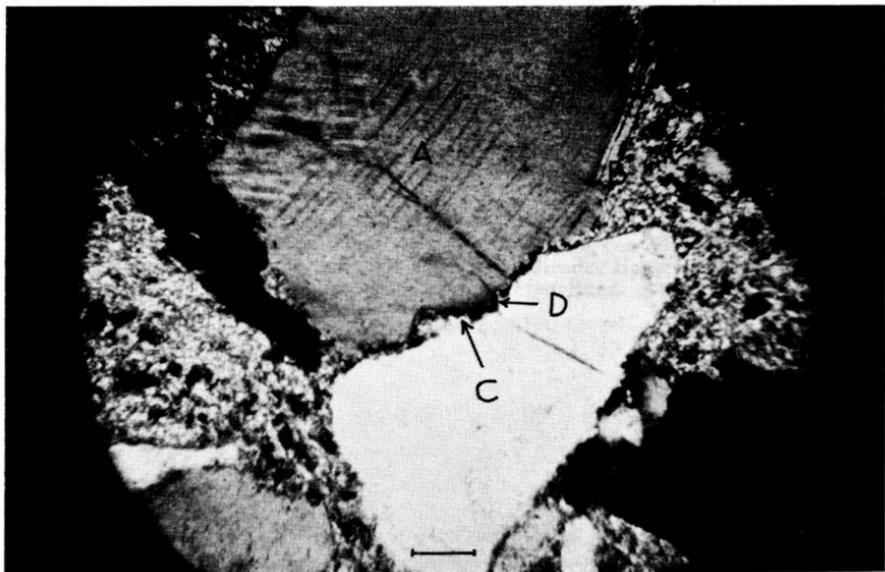


LÁMINA VI: Arenisca de Gutiérrez-Quetame (Muestra Q7, 100X, nicoles cruzados) con matriz de sericita. a) Cuarzo onduloso con las líneas de inclusiones en un grupo de forma de peine y una fractura. b) Muscovita diagenética. c) Contacto microestilolitizado con forma suturada. Hay una asociación de estilolitización y degradación de illita clara.

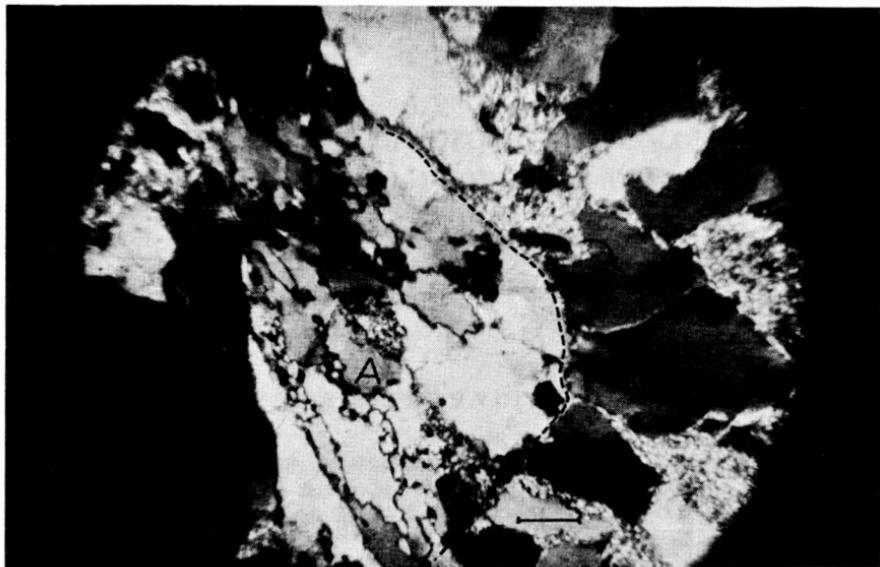


LÁMINA VII: Arenisca de Gutiérrez-Quetame (Muestra Q7, 100X, nicoles cruzados) con matriz de sericita. a) Cuarzo dilatado policristalino con un contacto microestilolitizado. El contacto aproximado del grano es indicado. Hay reemplazamiento por sericita entre miembros cristalinos.