

**gustavo feo-codecido**

Geólogo de la Mene Grande Oil Company; ahora con la Compañía Shell de Venezuela. Este artículo es principalmente una compilación del trabajo de investigadores anteriores, en particular C. W. Flagler, H. D. Hedberg, G. E. Manger, A. Pyre y L. C. Sass, a quienes se les expresa sincera gratitud; sin embargo, sólo el autor es responsable de los errores de interpretación y opiniones expresadas. En primer término se le agradece a la gerencia de la Mene Grande Oil Company y a H. J. Funkhouser, geólogo jefe, el haber permitido esta publicación, así como también las facilidades brindadas que la hicieron posible. Sinceras gracias se hacen extensivas también a los colegas del Laboratorio Estratigráfico, bajo la dirección de H. H. Renz, por sus valiosas sugerencias durante la preparación de este artículo. El manuscrito fue leído por H. D. Hedberg y L. C. Sass, Gulf Oil Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania. La Compañía Shell de Venezuela colaboró ampliamente en todo lo relacionado con la publicación de este informe en su versión castellana.

# geología

tecnic para el estudio de los  
minerales pesados y su aplicacion  
a la estratigrafia de venezuela

**gustavo feo-codecido**

Traducido por Nesín Benáim Chocrón (geólogo de la Compañía Shell de Venezuela) del original en inglés "Heavy-mineral techniques and their application to Venezuelan stratigraphy"; Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 40, N° 5 (May. 1956), pp.

## EXTRACTO

Este informe es un bosquejo de los métodos usados por el Laboratorio Estratigráfico de la Mene Grande Oil Company en Caracas, Venezuela, en la separación, identificación y clasificación de las asociaciones de minerales pesados; en él se discuten muy brevemente los asuntos de correlación de minerales, tipos de rocas de las cuales se derivaron los minerales y la mineralogía descriptiva, así como también se hace énfasis sobre la utilidad de estos estudios en las investigaciones estratigráficas.

## INTRODUCCION

El propósito de este informe es presentar una técnica para el estudio de los minerales pesados que ha sido desarrollada y empleada con éxito, en la solución de numerosos problemas de correlación estratigráfica durante las tres décadas pasadas, por geólogos de la Mene Grande Oil Company, una subsidiaria venezolana de la Gulf Oil Corporation. Cerca de 55.000 láminas de minerales pesados han sido examinadas durante el curso de los estudios sobre minerales pesados por la compañía en

Venezuela; de esta cantidad, unas 15.000 han sido estudiadas por el autor.

El estudio de los minerales pesados tiene un gran valor práctico en la identificación y correlación de unidades estratigráficas en Venezuela y ayuda a descifrar los eventos en la historia geológica de muchas regiones.

Las características geográficas y geológicas de la República de Venezuela, referidas en los párrafos siguientes, se indican en el mapa de Bucher (1950), escala 1:1.000.000, publicado por la Geological Society of America.

#### EXPOSICION GENERAL

Junto con otros métodos modernos de exploración petrolera, el estudio de los minerales pesados fue introducido en la industria petrolera poco después de la primera guerra mundial, en un esfuerzo por obtener datos estratigráficos más precisos en las investigaciones de superficie y del subsuelo (Kaufmann, 1950). Una gran cantidad de información se ha obtenido con el uso continuo de estas técnicas y en el presente los estudios mineralo-estratigráficos son una parte integral de los programas de exploración y desarrollo.

El término "minerales pesados" se aplica generalmente a los minerales accesorios menores de las rocas (Fig. 1) que tienen ordinariamente un peso específico mayor que 2,89 (Tabla I), que es el peso específico del bromoformo (el líquido pesado más utilizado en la separación de minerales). Como los minerales pesados se presentan comúnmente diseminados en un sedimento en cantidades muy pequeñas (generalmente menos

que 1%), su separación y concentración de los minerales livianos, siguiendo cualquiera de los varios métodos descritos en textos sobre petrografía sedimentaria (Krumbein y Pettijohn, 1938; Milner, 1940, Twenhöfel y Tyler, 1941), son necesarias para poder identificarlos.

**TABLA I  
DISCRIMINACION DE MINERALES  
SEGUN SU PESO ESPECIFICO**

Peso Especifico Promedio	Mineral	Fracción
2,30	Glauconita	} Liviana
2,32	Yeso	
2,60	Caolinita	
2,65	Cuarzo	
2,66	Feldespatos	
2,71	Calcita	
2,85	Dolomita	
2,89 (*)	.....	} Pesada
2,90	Moscovita	
3,07	Glaucofano	
3,10	Turmalina	
3,15	Hornablenda	
3,20	Andalucita	
3,24	Silimanita	
3,30	Zoisita	
3,37	Epidoto	
3,41	Cloritoide	
3,48	Titanita	
3,64	Cianita	
3,71	Estaurolita	
3,80	Granate	
3,84	Pleonasta	
3,88	Anatasa	
3,95	Bruquita	
4,00	Leucóxeno	
4,21	Rutilo	
4,70	Circón	
4,75	Ilmenita	
5,15	Monacita	
5,17	Magnetita	

(\*) Peso específico del bromoformo.

El tratamiento rutinario de las muestras en el Laboratorio Estratigráfico de la Mene Grande Oil Company se resume gráficamente en la Figura 2. Los minerales pesados se obtienen disgregando o triturando entre 10 y 50 gramos de la muestra en un mortero de acero. Las arenas petrolíferas pueden limpiarse con gasolina y luego lavarse con una solución de carbonato de sodio. Después de lavada con agua y decantada la arcilla y la fracción de limo muy fina (menor que aproximadamente 0,01 mm.), el material se hierve durante media hora en ácidos; los ácidos clorhídricos y nítrico diluidos remueven los carbonatos y la pirita, respectivamente, y el ácido sulfúrico concentrado disuelve a la barita, pero el tratamiento es muy fuerte y otros minerales pueden ser atacados. Luego, es necesario neutralizar con hidróxido de amonio y lavar la muestra con agua, después de usar cada ácido. El material se seca y se pasa por un tamiz de malla 80 (tamaño U. S. Standard) y sólo el residuo que pasa por este tamiz es usado para la separación de minerales pesados. Esta separación se lleva a cabo debidamente en un cápsula de porcelana llena parcialmente con bromoformo, en la cual se introducen los granos de minerales. Los minerales que flotan en la superficie del líquido se separan por decantación y la fracción de minerales pesados se recoge del fondo de la cápsula y se lava con alcohol (3). La magnetita se separa con un imán y el resto de los constituyentes pesados se monta permanentemente en bálsamo de Canadá sobre láminas de vidrio.

Muestras de afloramientos, como también rocas de núcleos y de pared provenientes de pozos, suministran generalmente datos mineralógicos dignos de confianza, mientras que las muestras de canal no son reco-

mendables para análisis mineral a causa de la contaminación por horizontes estratigráficos más altos. No obstante, para la correlación estratigráfica, aún las muestras de afloramientos y de núcleos deben ser valoradas cuidadosamente. Esto fue señalado por H. D. Hedberg (informe particular, 1945) quien declaró que a lo largo de discordancias, fallas u otros lugares donde la circulación de las aguas puede haber sido activa, conjuntos de minerales complejos pueden haber sido simplificados debido a solución. Igualmente, en los afloramientos, en comparación con muestras de pozos, los procesos de solución y alteración pueden haber creado diferencias en los conjuntos mineralógicos que fueron originalmente idénticos. La distribución de minerales varía notablemente con el tamaño de los granos en los sedimentos clásticos y por lo tanto para propósitos de comparación es indispensable usar muestras cuyos granos tengan el mismo tamaño. Por ejemplo, las limolitas y las areniscas de grano grueso no contienen generalmente las mismas asociaciones minerales que las areniscas de grano medio.

Según su origen, los minerales pesados en los sedimentos se pueden clasificar en alogénicos o autigénicos. Los alogénicos, o minerales detriticos, representan las acumulaciones derivadas de rocas madres y han sobrevivido a la destrucción por meteorización, abrasión y descomposición o por soluciones entre los estratos; por otra parte, los autigénicos, o minerales secundarios, se han formado en el lugar donde se les encuentra.

(1) Debido a la naturaleza escamosa de las micas y al hecho de que su peso específico (cerca de 2,9) es muy próximo al del bromoformo, las micas tienden a permanecer suspendidas en dicho líquido.

La experiencia ha demostrado que los minerales pesados son generalmente un complemento útil para la litología, paleontología y registros eléctricos en la identificación y correlación de formaciones sedimentarias. También pueden darnos información de valor acerca de la localización de la fuente de origen de un sedimento y sobre las condiciones existentes antes, durante y después de sus ciclos de sedimentación.

En algunos casos un conjunto de minerales pesados caracteriza a una sola unidad litoestratigráfica en una región considerable y los contactos de las formaciones coinciden con los cambios mineralógicos. En otros casos, sin embargo, conjuntos diferentes se pueden encontrar entre los límites de una formación o la misma asociación puede caracterizar a dos unidades litoestratigráficas diferentes. En relación con esto, se puede decir que el éxito de la interpretación de los datos mineralógicos depende no sólo de los diferentes conjuntos de minerales observados, sino también de las características particulares de sus minerales constituyentes.

Las diferencias en las asociaciones de minerales pueden ser debidas a la naturaleza litológica de la roca de origen, o al grado de estabilidad de los minerales que forman las rocas.

### IDENTIFICACION Y COMPUTACION DE LOS MINERALES

En la investigación microscópica de los minerales pesados se debe tomar en consideración propiedades que ayudan en la identificación, tales como: transparencia, translucidez u opacidad, isotropismo o anisotropismo, color, brillo, forma cristalina, cruceros o clivajes, fracturas, forma

del grano, relieve comparado con el medio en el cual están montados (generalmente fuerte en bálsamo de Canadá), birrefringencia, extinción, colores de interferencia, pleocroismo, signo de elongación, inclusiones y productos de alteración.

Cuando se usan líquidos de índice refractivo y las propiedades ópticas de los cristales son determinables, es posible identificar los minerales con exactitud en base a sus índices de refracción. Los minerales isotrópicos tienen un solo índice, los uniaxiales dos y los biaxiales tres. Las tablas determinativas, como aquellas preparadas por Larsen y Berman (1934), permiten la identificación rápida de un mineral en particular según sus constantes ópticas.

Aunque se pueden seguir varios métodos de examen cuantitativo para expresar la abundancia relativa de los minerales, resultados consistentes y rápidos se obtienen en el Laboratorio Estratigráfico por simple estimación ocular de la frecuencia relativa de los granos minerales presentes en varias partes de la lámina, bajo el microscopio, escogidas al azar. Sin embargo, como los mine-

**TABLA II**  
**ESCALA DE ABUNDANCIA MINERAL**

Número de Frecuencia (*)	Término Descriptivo
5	Muy abundante
4	Abundante
3	Común
2	Poco común
1	Raro
0	Muy raro

(\*) Pequeñas variaciones pueden ser indicadas con el uso de los signos + y - en estos números.

### PARTICULAS CONSTITUYENTES COMUNES DE SEDIMENTOS CLASTICOS

(Modificado ligeramente de Krumbein y Sloss, 1951)

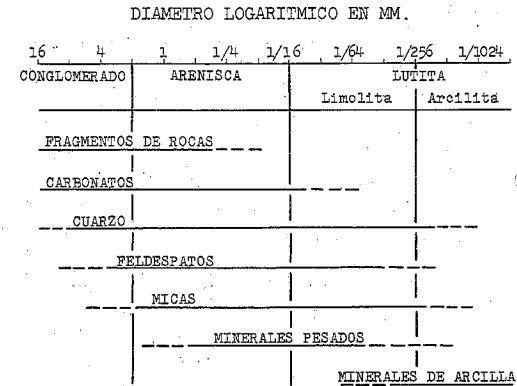


Fig. 1

### TRATAMIENTO RUTINARIO DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO ESTRATIGRAFICO

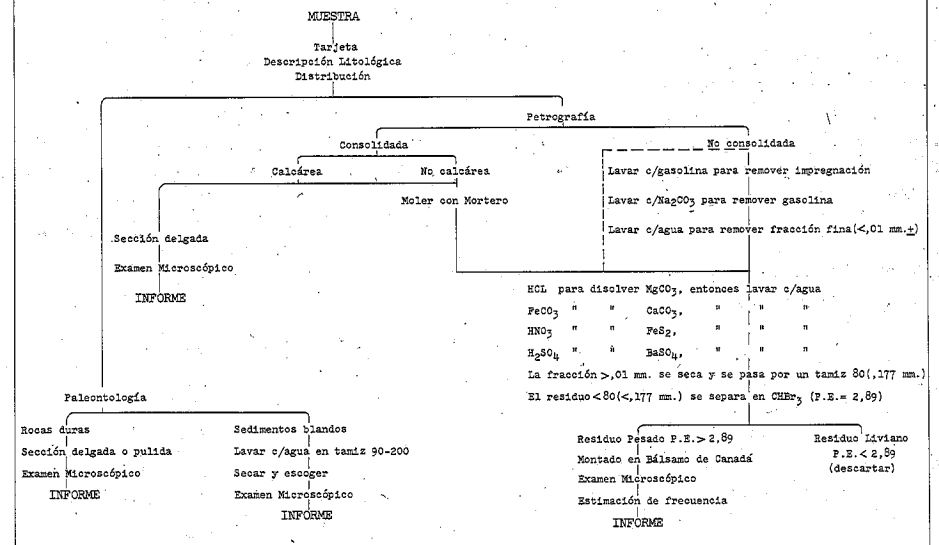


Fig. 2

TABLA III. EJEMPLO DE HOJA PARA LA DETERMINACION MINERAL

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA	6541 - 6552'	6552 - 6570'	6588 - 6606'	6606 - 6625'	6625 - 6957'	6957 - 7011'	7020 - 7038'	7038 - 7050'	7065 - 7085'	7085 - 7101'	7173 - 7191'	7230 - 7230'	7437 - 7456'	7492 - 7507'	7507 - 7527'	7615 - 7634'	7634 - 7655'	7655 - 7670'	7670 - 7688'	7688 - 7706'	7706 - 7724'	7735 - 7753'	7956 - 7975'	7975 - 7994'	7994 - 8004'	8053 - 8073'	8073 - 8093'	8113 - 8133'	8133 - 8155'	8155 - 8173'	
Opacos Negros (Magnetita)	2	2	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	3	2	1	0	0	0	2	0	0	0	1	
Leucoceno	3	5	4	3	3	4	4	4	3	3	3	4	3	5	4	3	3	3	4	3	5	3	1	4	4	4	3	3	2	3	
Circón	4	3	3	4	4	3	4	3	5	4	4	4	4	5	3	2	5	5	3	3	3	5	3	2	4	4	3	4	5	4	
(Circón zonado)																															
Turmalina	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	3	2	2	3	0	2	1	2	2	0	2	0	2	2	2	2	2	1	1		
Granate	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0															
(Granate corroído)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																
(Granate dodecaédrico)																															
Estaurolita																															
Silimanita																															
Sil. fibrolita																															
Cianita																															
Andalucita																															
Dumortierita																															
Glaucofano																															
Tremolita																															
Anfiboles indif.																															
Epidoto																															
Zoisita-Clinzoisita																															
Clorita						1							1-2			0	0	0													
Biotita																															
Moscovita																															
Rutilo	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1	3	2	1	2	2	2	1	4	2	3	0	0	0	0	0	2					
Anatasa	0																														
Bruquita				0																											
Cloritoide	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	2	2	3	1															
Otreilita																															
Titanita																															
Monacita																															
Corindón				0																											
Apatito																															
Plecnasta																															
Siderita													X		X	X	X						X	X	X						
Pirita				X				X	X									X	X												
Calcita				X				X	X															X		X					
Barita		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

ZONA DE CONJUNTO ROJO      ZONA DE CONJUNTO AZUL  
 Formación Oficina      Formación Periquito

NOTAS: Mineralogía según muestras de núcleos de un pozo en el Campo de Santa Ana.  
 Los valores de frecuencia se dan en la Tabla II.  
 X = Presente en cantidades indefinidas.

PARTE DE UN CUADRO DE DISTRIBUCION Y FRECUENCIA MINERALOGICAS PARA EL CAMPO DE SAN JOAQUIN, EDO. ANZOATEGUI

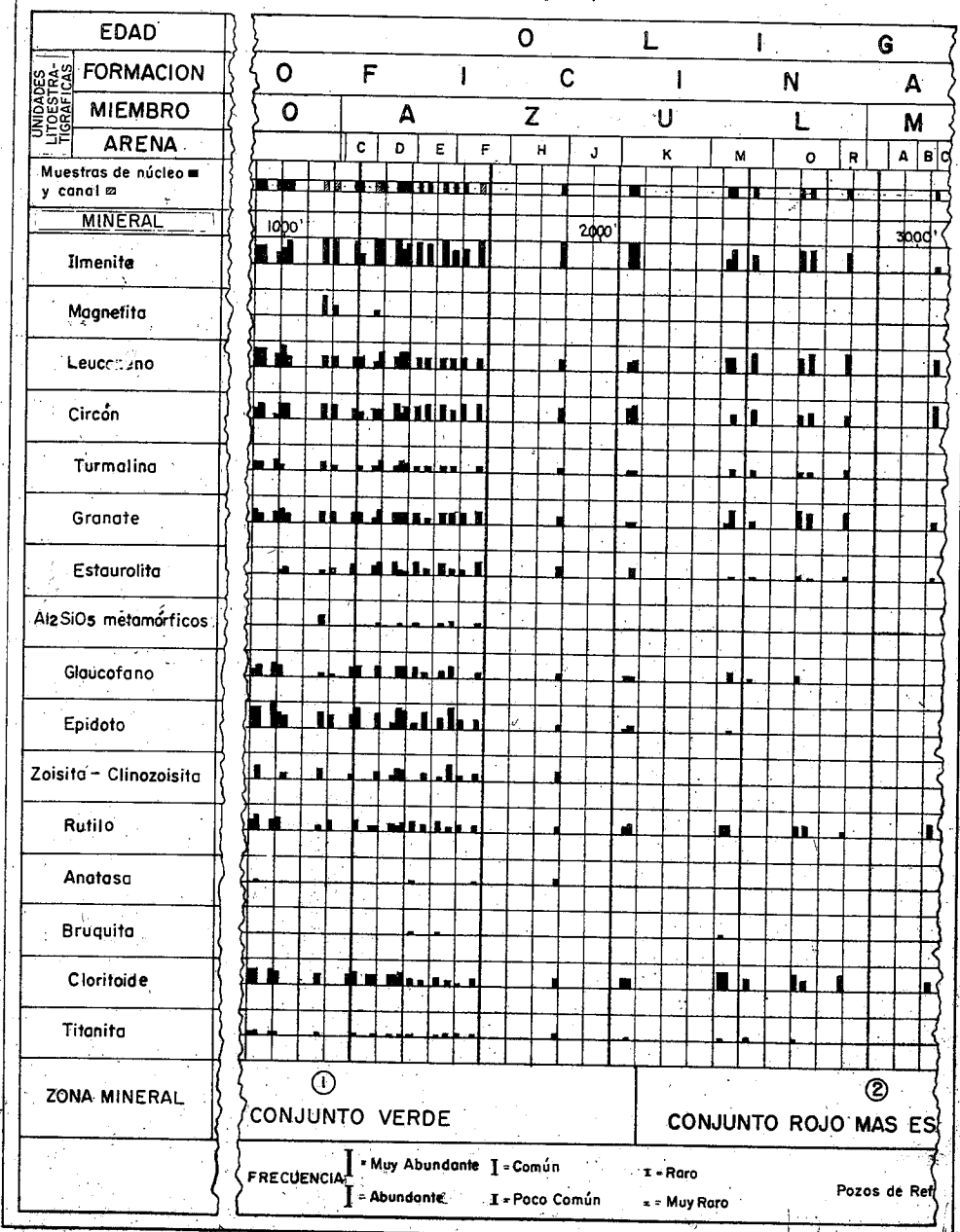


Fig.3

**CLASIFICACION DE CONJUNTOS DE MINERALES PESADOS  
PARA LA REGION SANTA BARBARA-MATURIN  
ESTADO MONAGAS**

(H. D. Hedberg, informe particular, 1945)

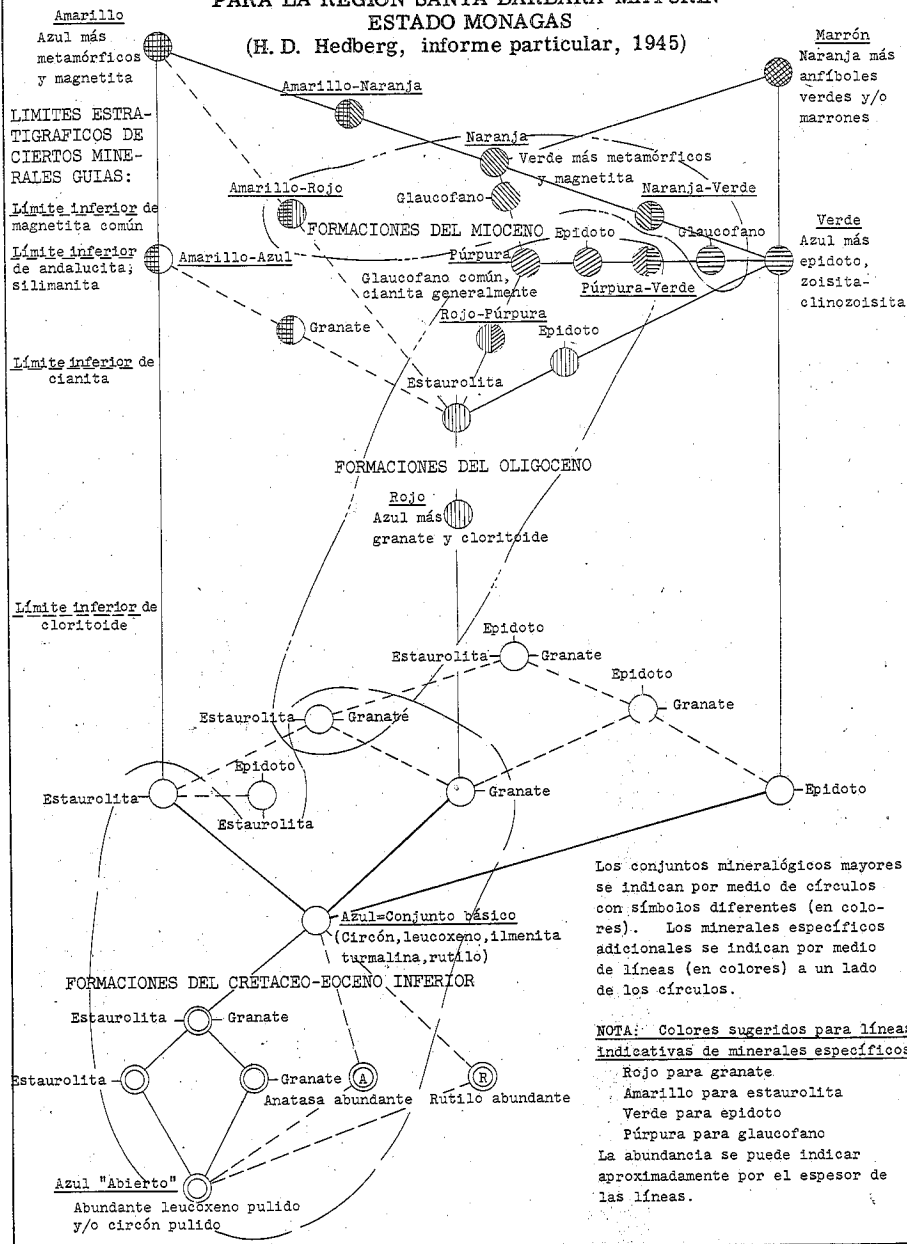


Fig. 4

rales característicos de algunas asociaciones son raros, la lámina entera debe ser observada. La estimación del contenido mineral se anota mediante números de frecuencia desde cero hasta cinco, el significado de los cuales se da en la Tabla II, y estos datos pueden ser tabulados en orden en una hoja para la determinación mineral (Tabla III). Estos números son solamente símbolos, ya que ellos no son números en el sentido matemático y no guardan una relación simple entre sí (Dryden, 1931).

**APLICACION DE LOS DATOS DE MINERALES PESADOS**

Una aplicación directa de los datos obtenidos de los minerales pesados a problemas de estratigrafía es posible siempre que las muestras estudiadas puedan ser arregladas fácilmente en orden estratigráfico. Un geólogo de campo que recoge muestras a lo largo de una sección, más o menos bien expuesta y no complicada estructuralmente, puede usualmente arreglar dichas muestras en orden estratigráfico y los datos de los minerales pesados que resultan de éstas son tabulados en ese orden en hojas para la determinación mineral. Estas hojas revelan rápidamente los detalles pertinentes al contenido de los minerales pesados de las rocas de acuerdo a su posición estratigráfica y los datos pueden entonces ser aplicados directamente a los problemas estratigráficos. Las muestras seleccionadas cuidadosamente de un pozo de perforación y ordenadas simplemente según la profundidad pueden también ser tabuladas sobre hojas similares. Un ejemplo de esta tabulación simple y directa se da en la Tabla III. Un método más detallado de presentar los resultados se

da en la Figura 3. Una vez que las sucesiones mineralo-estratigráficas han sido establecidas, llegan a ser guías útiles para revelar secciones litoestratigráficas e identificar las unidades litológicas en regiones de afloramientos pobres o en secciones de pozos fragmentarias y dispersas.

**CLASIFICACION DE LOS CONJUNTOS DE MINERALES PESADOS**

La experiencia con el trabajo de minerales pesados en cualquiera región conduce usualmente al reconocimiento de ciertas asociaciones de minerales que tienen distinta significación estratigráfica o correlativa. Tales agrupaciones de minerales pesados en conjuntos han sido desarrolladas, a través de los años para la Mene Grande Oil Company en Venezuela, por Bramlette, Flagler, Hedberg, Pyre, Sass y el autor y se les ha dado comunmente nombres de minerales o de colores, tales como conjunto de granate y cloritoide, conjunto azul, conjunto rojo.

Un sistema evolutivo de clasificación de los conjuntos minerales fue ideado por H. D. Hedberg (informe particular, 1945) para la región Santa Bárbara-Maturín del Este de Venezuela (Fig. 4). Comenzando con una asociación básica o fundamental (circón, leucóxeno, ilmenita, turmalina, rutilo), su propósito fue expresar (gráficamente por medio de símbolos, usando colores) el desarrollo a lo largo de diferentes líneas evolutivas de las asociaciones minerales de complejidad creciente debido a la adición de nuevos minerales a la asociación básica y mostrar (también gráficamente) la relación genética existente entre las varias asociaciones y las unidades estratigráficas de la región. G. A. Young y G. Feo-Codecido (informe particular, 1951)

aplicaron una variación de este método a la región Urdaneta-Perijá del Oeste de Venezuela (Fig. 5). Los diagramas mostrados en las Figuras 4 y 5 se pueden usar con pequeñas modificaciones en cualquier lugar del Este y Oeste de Venezuela, respectivamente. (Desafortunadamente, la claridad y el significado de los diagramas, como aquí se reproducen, se perjudican por el hecho de que ellos no fueron impresos en colores).

La asociación fundamental (citrón, leucóxeno, ilmenita, turmalina, rutilo) de las Figuras 4 y 5 se conoce como el Conjunto Azul y se representa gráficamente por un círculo azul. En estas figuras, se puede observar que el Conjunto Azul pasa a otros más complejos a lo largo de varias líneas; probablemente, este hecho depende mucho del desarrollo progresivo de la fuente de sedimentos, caracterizada por rocas con ciertos tipos de minerales. Así, en la Figura 4, la adición sucesiva al Conjunto Azul de estauroilita, silicatos de aluminio metamórficos y magnetita conduce al desarrollo del Conjunto Amarillo (círculo amarillo). A lo largo de una línea evolutiva diferente, la adición de granate y cloritoide al Conjunto Azul conduce al Conjunto Rojo (círculo rojo), y la adición de epidoto, zoisita y clinozoisita al Conjunto Azul conduce al Conjunto Verde (círculo verde). Aún otras asociaciones se presentan como desarrolladas a partir de los Conjuntos Amarillo, Rojo y Verde. Así, en la Figura 5, la adición de glaucofano al Conjunto Verde origina el Conjunto Púrpura (círculo púrpura) y una combinación de los Conjuntos Verde y Amarillo da por resultado el Conjunto Anaranjado (círculo anaranjado). Una simplificación de la asociación mineral, por pérdida de minerales en el Conjunto Azul fundamental, se muestra por la línea que conduce

hacia el Conjunto Azul "abierto", el cual consiste sólo en leucóxeno, ilmenita y citrón. Intergradación de asociaciones se indica por combinaciones de colores representativos de las asociaciones mayores. Así, el Conjunto Anaranjado-Verde, en el cual se colorea el círculo la mitad anaranjado y la mitad verde, indica una asociación mineral intermedia entre los Conjuntos Anaranjado y Verde. Para indicar la presencia de algún mineral específico en particular, como detalle adicional en la caracterización de las asociaciones, se traza una raya coloreada que se extiende fuera del borde del círculo.

Por medio de este sistema de símbolos coloreados, prácticamente cualquier asociación mineral puede ser representada gráficamente y el uso de estos símbolos no sólo permite una simple representación y acentuación de las características de minerales pesados más importantes en muestras individuales, sino que también facilita el reconocimiento rápido de las relaciones mineralógicas existentes entre las diferentes muestras. Colocando apropiadamente los símbolos coloreados sobre un mapa, en la posición de las muestras de afloramientos que ellos representan, se logran frecuentemente indicios sobre la estratigrafía local y estructuras no obtenibles por otros medios (Fig. 6). Del mismo modo, en registros de pozos y secciones la utilidad de los datos de minerales pesados se aguzará más por este método de representación gráfica.

Como se muestra en la Figura 4, algunas asociaciones de minerales pueden caracterizar a formaciones de cierta edad en una región determinada y ciertos minerales individuales pueden indicar más o menos la edad de los sedimentos de esa región. Así, en la región Santa Bárbara-Maturín, ciertas asociaciones minerales son in-

CLASIFICACION DE CONJUNTOS DE MINERALES PESADOS  
PARA LA REGION URDANETA-PERIJÁ,  
ESTADO ZULIA  
(G. A. Young y G. Feo-Codécido, informe particular, 1951)

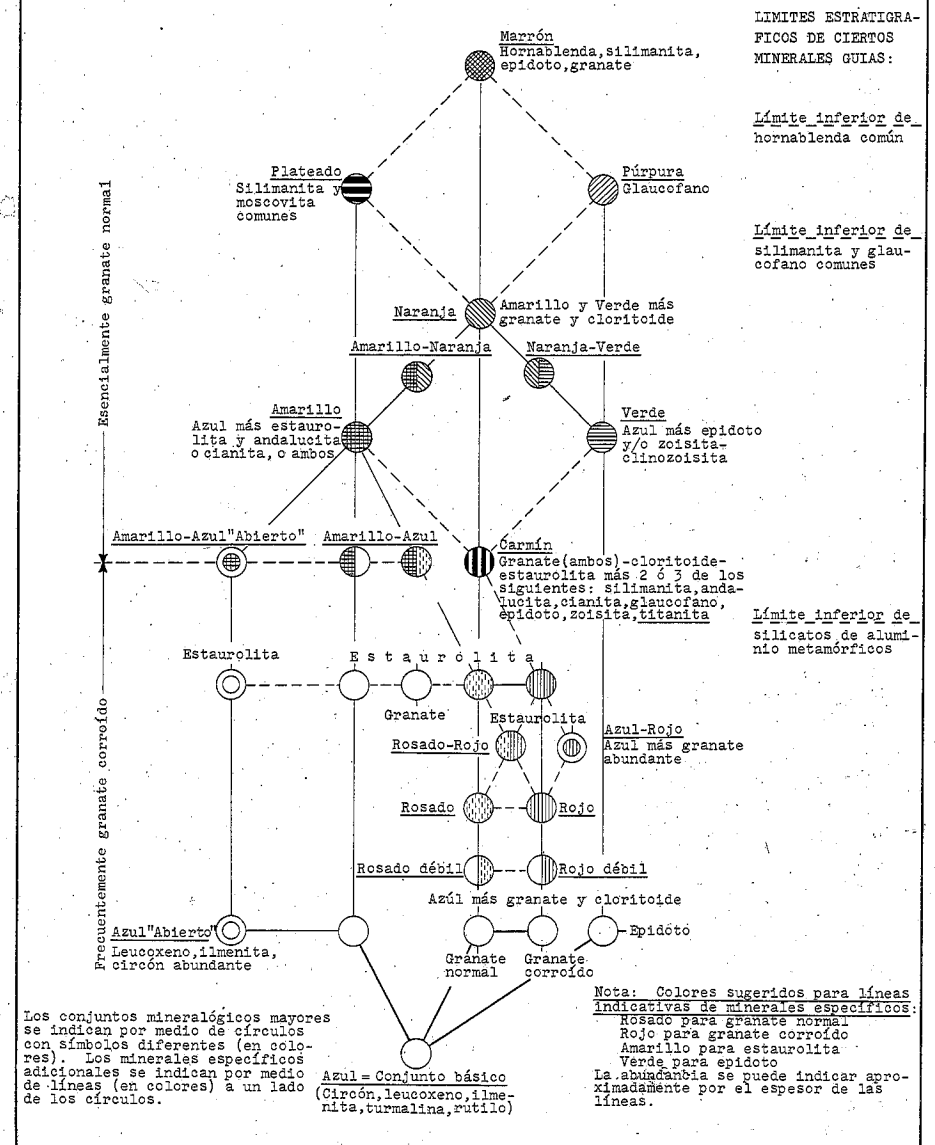


Fig. 5

**CROQUIS DE UNA SECCION DEL RIO OREGANO, ESTADO ANZOATEGUI, MOSTRANDO DISTRIBUCION DE CONJUNTOS DE MINERALES PESADOS EN RELACION A UNIDADES LITOLÓGICAS**

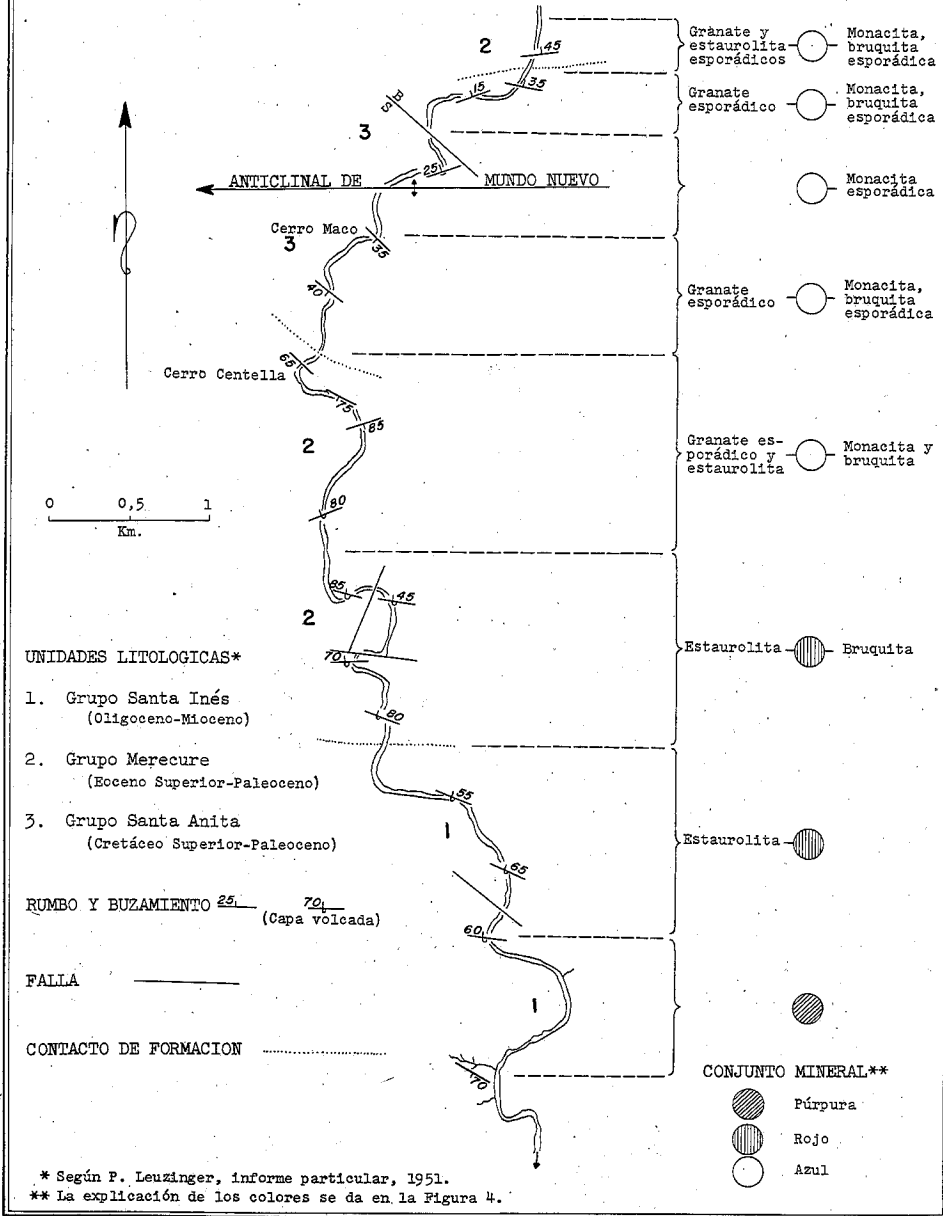


Fig. 6

\* Según P. Leuzinger, informe particular, 1951.

\*\* La explicación de los colores se da en la Figura 4.

dicativas respectivamente del Cretáceo-Eoceno Inferior, Oligoceno y Mioceno y los límites inferiores donde se presenta la magnetita como mineral común, la andalucita y silimanita, cianita y cloritoide representan horizontes estratigráficos más bajos sucesivamente. (Los límites de las formaciones pliocenas y pleistocenas han sido omitidos del gráfico, según se reproduce aquí, para mayor simplicidad). En forma general, las asociaciones se hacen más complejas desde la base del diagrama hacia arriba y es un hecho importante el que generalmente las formaciones más jóvenes se encuentran arriba o sea en la parte más compleja del diagrama mientras que las formaciones más viejas están restringidas a la parte inferior o más simple.

**CORRELACION MINERALO-ESTRATIGRAFICA**

La correlación mineralo-estratigráfica es la demostración de equivalencia de zonas minerales. Así, la presencia de una asociación mineral distintiva en toda la extensión de cualquier unidad estratigráfica es un criterio útil que permite identificar la unidad donde quiera que ella se encuentre. Este hecho ha sido confirmado en la práctica muchas veces y constituye la base para la correlación mineralo-estratigráfica. Sin embargo, la correcta interpretación de los datos de minerales pesados no está confinada solamente a la identificación de los conjuntos minerales, como se indicó anteriormente, sino que también requiere consideraciones sobre las proporciones relativas de los constituyentes, grado de redondez, efectos de las soluciones entre los estratos, alteraciones minerales post-deposicionales y otros hechos. Con relación a esto, Pettijohn (1941) dedicó un artículo al tema sobre la

persistencia mineral y ordenó los minerales pesados más comunes en los sedimentos en base a su estabilidad.

Aunque los límites de las zonas mineralógicas son comúnmente paralelos con los contactos de las formaciones o con los de las zonas paleontológicas, tal paralelismo no es persistente comúnmente a través de grandes distancias, especialmente cuando cambia la fuente de sedimentos o donde hay diferentes condiciones de meteorización, transporte y sedimentación.

**ROCAS MADRE DE LOS MINERALES**

Los minerales pesados alogénicos encontrados en los sedimentos pueden indicar si las rocas de origen son ígneas, metamórficas o sedimentarias.

Muchos minerales inestables y angulares pueden ser indicativos de un origen ígneo o metamórfico directo, mientras que granos de minerales estables bien redondeados sugieren haberse derivado de rocas sedimentarias pre-existentes. Sedimentos que contienen minerales metaestables, —es decir, moderadamente estables— suelen haberse derivado de una roca ígnea, metamórfica o sedimentaria. Por ejemplo, a lo largo del borde nororiental de la Cuenca Oriental de Venezuela la formación Mesa del Pleistoceno se caracteriza generalmente por conjuntos estables de leucoxeno y circón derivados obviamente de sedimentos cretáceos y eocenos de la Serranía del Interior en el Norte; sin embargo, a lo largo de la parte sur de la Cuenca la formación contiene minerales metaestables de silicatos de aluminio metamórficos, que sugieren un origen de rocas metamórficas pre-cámbricas del Escudo de Guayana en el Sur y de rocas similares de los Andes en el Oeste. Del mismo modo, formaciones del

Cretáceo Superior que afloran a lo largo de la parte norte de la región entre San Juan de los Morros y San Sebastián, Estados Guárico y Aragua, contienen generalmente asociaciones de epidoto y/o anfíboles, derivadas claramente de una serie vecina precretácea de esquistos verdes que aflora en el Norte; hacia el suroeste, sin embargo, depósitos correlativos dan conjuntos más estables y simples indicativos de una procedencia de sedimentos ligeramente metamorfizados y granitos pre-cretáceos del macizo de El Baúl más hacia el suroeste.

En base a diferentes características distintivas observadas en granos de turmalina en los sedimentos, Krynine (1946) reconoció cinco tipos principales de origen, a saber:

1. turmalina granítica,
2. turmalina pegmatítica,

3. turmalina de rocas metamórficas pegmatizadas,
4. turmalina autigénica sedimentaria, y
5. turmalina re-depositada de sedimentos más antiguos.

Una variación del método de Krynine fue aplicado por P. Otamendi (informe particular, 1949) en el pozo exploratorio Apure N° 3, con el objeto de investigar las posibles rocas de origen de los sedimentos penetrados. Si bien no fue posible determinar el origen como lo previó, fue capaz de diferenciar varias zonas mineralo-estratigráficas por medio del carácter pleocróico de las variedades de turmalina.

Otros ejemplos de asociaciones de minerales pesados alogénicos que caracterizan a ciertos tipos de rocas de origen se dan en la Tabla IV.

**T A B L A I V**  
**ASOCIACIONES DE MINERALES PESADOS Y PROCEDENCIA**

Asociación	Fuente
Apatito, biotita, bruquita, circón, hornablenda, monacita, moscovita, rutilo, titanita, turmalina (variedad rosada)	Rocas ígneas ácidas
Casiterita, dumortierita, fluorita, granate, monacita, moscovita, topacio, turmalina (variedad azul), wolframita, xenotima	Pegmatitas graníticas
Augita, cromita, diópsido, hipersteno, ilmenita, magnetita, olivino, picotita, pleonasta	Rocas ígneas básicas
Andalucita, condrodita, corindón, estauroлита, flogopita, granate, topacio, vesuvianita, wolastonita, zoisita	Rocas metamórficas de contacto
Andalucita, cianita, cloritoide, epidoto, estauroлита, glaucofano, granate, silimanita, titanita, zoisita-clinozoisita	Rocas metamórficas dinamotermales
Barita, circón (fragmentos redondeados), leucoceno, minerales de hierro, rutilo, turmalina (fragmentos redondeados)	Rocas sedimentarias

## MINERALOGIA DESCRIPTIVA

Las descripciones siguientes son breves comentarios acerca de algunos minerales pesados de valor estratigráfico en Venezuela. La información se tomó de la literatura publicada y de los archivos de la Mene Grande Oil Company, completada por las

observaciones del autor. Los minerales se describen en orden alfabético y, con el objeto de presentar una descripción más completa sobre el tema, en las Tablas V y VI se dan ejemplos de asociaciones de minerales pesados características de algunas formaciones de Venezuela.

**T A B L A V**  
**ASOCIACIONES DE MINERALES PESADOS DE CIERTAS FORMACIONES EN EL ESTE DE VENEZUELA**

Conjuntos (*)	Formación	Edad
MONAGAS MERIDIONAL		
Amarillo Anaranjado, Verde, Marrón	Mesa Las Piedras	Pleistoceno Plioceno - Mioceno Superior
AREA MAYOR DE OFICINA		
Verde, Anaranjado-Verde, Púrpura-Verde, Púrpura-Verde, Rojo-Púrpura, Rojo	Freites Oficina, parte superior	Mioceno Mioceno Inferior-Oligoceno Superior
CAMPO DE SAN JOAQUIN		
Rojo Entremezclados Rojo y Azul	Oficina, parte media Oficina, parte inferior	Oligoceno Superior y Medio Oligoceno Medio
AREA DE LAS OLLAS		
Azul, Rojo esporádico	Periquito	Oligoceno Inferior
SUROESTE DE ANZOATEGUI		
Azul	Temblador	Cretáceo

(\*) La explicación de los colores se da en la Figura 4.



**T A B L A V I**  
**ASOCIACIONES DE MINERALES PESADOS DE CIERTAS FORMACIONES EN EL OESTE DE VENEZUELA**

Conjuntos (*)	Formación	Edad
DISTRITO URDANETA		
Plateado, Amarillo Anaranjado	El Milagro	Pleistoceno
Marrón, Anaranjado, Verde	Onia	Plioceno
Azul, Amarillo-Azul, Amarillo	La Villa	Mioceno Superior
COSTA OESTE DEL LAGO DE MARACAIBO		
Amarillo - Anaranjado, Amarillo	Lagunillas	Mioceno Medio e Inferior
Anaranjado-Verde, Verde, Púrpura	La Rosa	Oligoceno Superior
Azul, Amarillo-Azul	Icotea	Oligoceno Medio
DISTRITO MARA		
Carmín, Rojo, Azul-Rojo	Orumo	Eoceno Superior
CAMPOS COSTANEROS DEL DISTRITO BOLIVAR		
Rojo, Azul-Rojo	El Mene	Eoceno Superior y Medio
Rojo débil, Azul Rosado, Azul	Misoa-Trujillo Guasare	Eoceno Medio e Inferior Paleoceno
Azul, Azul "Abierto"	Colón y más antiguas	Cretáceo

(\*) La explicación de los colores se da en la Figura 5.

**Anatasa.**—Este mineral se presenta principalmente como cristales tabulares de color amarillo, marrón o azul, de forma rectangular y estructura zonal; exhibe fuerte birrefringencia, aunque en secciones basales aparece isotrópico. Puede ser detrítico o autigénico. Se encuentra muy

esparcido en los sedimentos del Cretáceo y del Terciario Inferior de los Estados Anzoátegui y Guárico central.

**Andalucita.**—Se encuentra mayormente como granos redondeados a angulares de color rosado, rojo e incoloro, con fractura concoidea, birrefringencia débil y fuerte pleocroismo.

Es común particularmente en la formación Las Piedras del Mioceno Superior-Plioceno de Anzoátegui central (Funkhouser et al., 1948).

**Bruquita.**—Se presenta generalmente en forma tabular o irregular, de color marrón opaco a amarillo, birrefringencia muy fuerte y extinción incompleta. Algunas veces autigénico. En el Area Mayor de Oficina, se encuentra más comunmente en la formación Temblador del Cretáceo que en la formación Oficina suprayacenté del Oligoceno (Hedberg et al., 1947).

**Cianita.**—Se encuentra comunmente como fragmentos incoloros, tabulares a prismáticos, alargados en la dirección del eje cristalográfico principal y con las marcas de clivaje en ángulo recto; los granos muestran una birrefringencia moderada, elongación positiva y extinción inclinada ( $Z_{\Delta c} =$  aproximadamente  $30^\circ$ ). En Venezuela Oriental, este mineral tiene una distribución estratigráfica mayor que la de los otros silicatos de aluminio metamórficos, andalucita y silimanita. Es bastante común en sedimentos desde la parte media de la formación Oficina del Oligoceno hasta la formación Mesa del Pleistoceno, en el Area Mayor de Oficina.

**Circón.**—Aparece principalmente como cristales euhédricos alargados o redondeados prismáticos, incoloros, a amarillo pálido, caracterizados por una birrefringencia fuerte, elongación positiva y extinción paralela. Algunos granos muestran estructuras zonales. El circón pulido en abundancia es característico de la formación Icotea del Oligoceno en Venezuela Occidental.

**Cloritoide.**—Se observa usualmente como láminas anhédricas de color verde oscuro a gris verdoso, bi-

rrefringencia baja y pleocroismo característico; su hábito micáceo da una figura de interferencia biaxial positiva. Es de considerable importancia en Venezuela Oriental, donde su casi completa ausencia en la formación Temblador del Cretáceo es un medio útil para distinguirla de las arenas suprayacentes de la formación Oficina de edad predominantemente oligocena (Hedberg et al., 1947).

**Epidoto.**—Se le nota principalmente en forma de granos color amarillo verdoso a verde oscuro, redondeados a angulares, con birrefringencia fuerte y pleocroismo moderado. Puede ser detrítico o autigénico. En Monagas septentrional, es abundante en la formación Las Piedras del Mioceno Superior-Plioceno y en algunas facies de las formaciones Quiriquire del Plioceno, La Pica del Mioceno y Carapita del Oligoceno-Mioceno. También se presenta abundantemente en la parte superior de la formación Oficina del Oligoceno-Mioceno en los campos de Anaco.

**Estaurolita.**—Se nota principalmente como granos irregulares de color amarillo paja, de fractura subconcoidea a astillosa, birrefringencia baja y pleocroismo moderado. En los campos costaneros del Distrito Bolívar, el mineral se presenta en el miembro superior de la formación El Mene del Eoceno, mientras que falta esencialmente en el miembro inferior.

**Glaucofano.**—Se encuentra generalmente como granos prismáticos de color violeta azulado, con birrefringencia moderada y pleocroismo fuerte; estos granos tienden a ser alargados en la dirección del eje cristalográfico principal, la elongación es positiva y la extinción es oblicua ( $Z_{\Delta c} =$  cerca de  $5^\circ$ ). En Mo-

nagas septentrional, es un mineral característico de la formación Carapita del Oligoceno-Mioceno y se le encuentra en menor cantidad en las formaciones La Pica del Mioceno y Las Piedras del Mioceno Superior-Plioceno.

**Granate.**—Se encuentra mayormente como granos isotrópicos, incoloros o rosados y de forma irregular; la superficie muestra una apariencia botrioidal, corroída o dedecahédrica, o bien una forma normal sin estructura. Se cree que tales estructuras resultan de la acción disolvente, principalmente de álcalis cáusticos y ácidos minerales (Bramlette, 1929; Haas y Hubman, 1937). Las variedades son de gran valor estratigráfico en Venezuela Occidental; así, el granate dodecahédrico es característico de sedimentos del Eoceno, mientras que la variedad normal se limita frecuentemente a formaciones más jóvenes (Hedberg, 1928; Hedberg y Sass, 1937; Sutton, 1946). El mineral es escaso o falta comunmente en el grupo Misoa-Trujillo del Eoceno en los campos costaneros del Distrito Bolívar, Estado Zulia.

**Hornablenda.**—Se presenta mayormente como fragmentos alargados con clivajes, de color verde a marrón, birrefringencia más bien fuerte, pleocroismo moderado, elongación positiva y extinción inclinada ( $Z \wedge c = 15-25^\circ$ ). En el Sur de Anzoátegui y Monagas, caracteriza particularmente a la formación Las Piedras del Mioceno Superior-Plioceno. Se halla persistentemente en la formación Onia del Plioceno en Venezuela Occidental (Hedberg y Sass, 1937).

**Ilmenita.**—Se observa ordinariamente como granos irregulares, angulares a redondeados, opacos a la luz transmitida y con un brillo metá-

lico negro purpúreo a la luz reflejada. A veces muestra alteración local a leucoxeno y rutilo. Este mineral se encuentra abundantemente en muestras de la formación Oficina, predominantemente oligocena, del Sur de Anzoátegui y Monagas. Ordinariamente excede la frecuencia de leucoxeno en la formación Temblador del Cretáceo en el Area Mayor de Oficina (Hedberg et al., 1947).

**Leucoxeno.**—Se encuentra generalmente como granos redondeados, opacos a la luz transmitida y blancos amarillentos a la luz reflejada; el mineral también se observa en la superficie de los granos de ilmenita. Los bordes translúcidos son generalmente birrefringentes. Puesto que es uno de los minerales que junto con circón, ilmenita, turmalina y rutilo forman la mayor parte de las agrupaciones de minerales pesados en cualquier parte, sólo sus características particulares pueden ser de valor significativo en las investigaciones estratigráficas. Así, en la región Santa Bárbara-Maturín, el leucoxeno es característicamente blanco o pardusco y comunmente pulido en los sedimentos cretáceos, mientras que es generalmente amarillento y muestra intergradación con rutilo en la formación Mesa del Pleistoceno.

**Magnetita.**—Se presenta principalmente como granos irregulares, angulares a redondeados, opacos a la luz transmitida y con un brillo negro azulado a la luz reflejada. En el Area Mayor de Oficina, el mineral es común en las formaciones Mesa del Pleistoceno y Las Piedras del Mioceno Superior-Plioceno y sirve para distinguir a esta última unidad de la directamente infrayacente formación Freites del Mioceno donde es muy raro o esencialmente ausente. En las regiones de Tía Juana y Lagunillas, cam-

pós costaneros del Distrito Bolívar, el mineral es particularmente característico de la parte inferior de la formación Lagunillas del Mioceno (Manger, 1938).

**Monacita.**—Aparece corrientemente como granos bien redondeados con forma de huevo y de color marrón amarillento, el cual es generalmente el mismo bajo nícoles cruzados que en la luz ordinaria a causa de la birrefringencia muy alta. Es un mineral característico del miembro inferior de la formación Temblador del Cretáceo en el Area Mayor de Oficina (Hedberg et al., 1947).

**Moscovita.**—Se presenta generalmente en láminas basales incoloras, caracterizadas por tintes de interferencia de color gris claro, ausencia de clivaje y una buena figura biaxial. El relieve es bajo cuando el mineral está montado en bálsamo de Canadá. Los fragmentos longitudinales exhiben una birrefringencia fuerte y trazos de clivaje, pero son muy raros como constituyentes detríticos. El mineral se nota abundantemente en muestras de la formación El Milagro del Pleistoceno en Venezuela Occidental (Hedberg y Sass, 1937).

**Pleonasta.**—Se encuentra generalmente como granos verdes redondeados de fractura concoidea y carácter isotrópico. El hallazgo ocasional de este mineral caracteriza al miembro inferior de la formación Temblador del Cretáceo en el Area Mayor de Oficina (Hedberg et al., 1947).

**Rutilo.**—Aparece principalmente como granos alargados euhédricos o prismáticos redondeados, rojizos y amarillentos, con birrefringencia extrema, elongación positiva y extinción paralela. A veces es autigénico.

Es particularmente abundante en la formación Mesa del Pleistoceno en la región Santa Bárbara-Maturín.

**Silimanita.**—Se presenta comunmente en forma de fibras cortas o granos, planos, incoloros o ligeramente teñidos que muestran clivaje prismático, fracturas cruzadas pronunciadas, elongación positiva y extinción paralela. Es abundante en las formaciones el Milagro del Pleistoceno y Onia del Plioceno en Venezuela Occidental (Hedberg y Sass, 1937).

**Titanita.**—Se observa generalmente como granos anhédricos incoloros a amarillo pardusco, de birrefringencia muy fuerte y dispersión extrema de los ejes ópticos con ausencia de extinción total. Es autigénico ocasionalmente. Este mineral, asociado principalmente con granate de los tipos normal y corroído, silicatos de aluminio metamórficos y epidoto caracteriza al Conjunto Carmín típico de la formación Orumo del Eoceno en la región Urdaneta-Perijá.

**Turmalina.**—Se halla ordinariamente como granos subhédricos a redondeados prismáticos, que comunmente muestran una amplia gama de colores tales como rosado, verde, azul, marrón y negro; tiene una birrefringencia fuerte, pleocroismo intenso, elongación negativa y extinción paralela. Las inclusiones a veces son comunes. El mineral está presente en todas partes, aparentemente sin mayor significado estratigráfico; sin embargo, ha sido incluido en esta descripción a causa de su importancia como constituyente fundamental de todas las asociaciones de minerales pesados. Solamente las variaciones menores en sus propiedades ópticas parecen ser de valor para fines correlativos.

**Zoisita-clinozoisita.**—Estos dos minerales se describen juntos a causa de sus semejanzas en las propiedades ópticas. Ambos se encuentran principalmente como granos incoloros irregulares de birrefringencia moderada, aunque comunmente muestran colores anómalos "ultra-azules" de

interferencia debido a la fuerte dispersión de sus ejes ópticos. De una manera general, la distribución estratigráfica de zoisita-clinozoisita corre más o menos paralela con la del epidoto. Asociados con glaucofano, caracterizan a la parte inferior de la formación La Rosa del Oligoceno en el campo de La Rosa (Manger, 1938).

#### BIBLIOGRAFIA

- BRAMLETTE, M. N., 1929 "Natural Etching of Detrital Garnet", Amer. Mineral., Vol. 14. Nº 9, pp. 336-37.
- BUCHER, W. H., 1950. "Geologic-Tectonic Map of Venezuela", Geol. Soc. America.
- BUCHER, W. H., 1952. "Geologic Structure and Orogenic History of Venezuela", Geol. Soc. America Mem. 49.
- DRYDEN, A. L., 1931. "Accuracy in Percentage Representation of Heavy Mineral Frequencies", Proc. Nat. Acad. Sci., Vol. 17. pp. 233-38.
- FEO-CODECIDO, G., 1953-1954. "Notas Petro-lógicas Sobre Formaciones que Afloran en la Región de El Baúl (Estado Cojedes)", Bol. de Geol. (Caracas), Vol. III, Nº 8, pp. 109-21.
- FUNKHOUSER, H. J., SASS, L. C. y HEDBERG, H. D., 1948. "Santa Ana, San Joaquín, Guarío, and Santa Rosa Oil Fields (Anaco Fields), Central Anzoátegui, Venezuela", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 32, Nº 10, pp. 1851-1908.
- HAAS, M. W. y HUBMAN, R. G., 1937. "Notes on the Stratigraphy of the Bolívar Coastal Fields, Maracaibo Basin, Venezuela", Bol. de Geol. y Min. (Caracas), T. I, Nos. 2-4, pp. 115-55.
- HEDBERG, H. D., 1928. "Some Aspects of Sedimentary Petrography in Relation to Stratigraphy in the Bolívar Coast Fields of the Maracaibo Basin, Venezuela", Jour. Paleon., Vol. 2, Nº 1, pp. 32-42.
- HEDBERG, H. D., 1950. "Geology of the Eastern Venezuelan Basin (Anzoátegui-Monagas-Sucre-Eastern Guárico Portion)", Bull. Geol. Soc. America, Vol. 61, Nº 11, pp. 1173-1216.
- HEDBERG, H. D. y SASS, L. C., 1937. "Synopsis of the Geologic Formations of the Western Part of the Maracaibo Basin, Venezuela", Bol. de Geol. y Min. (Caracas), T. I, Nos. 2-4, pp. 73-112.
- HEDBERG, G. D., SASS, L. C., y FUNKHOUSER, H. J., 1947. "Oil Fields of Greater Oficina Area, Central Anzoátegui, Venezuela", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 31, Nº 12, pp. 2089-2169.
- KAUFMANN, G. F., 1950. "Modern Methods in Petroleum Exploration", Quart. Colorado School Mines, Vol. 45, Nº 1 B, pp. 39-69.
- KRUMBEIN, W. C. y PETTIJOHN, F. J., 1938. "Manual of Sedimentary Petrography. D. Appleton-Century Company, Inc., New York and London.
- KRUMBEIN, W. C. y SLOSS, L. L., 1951. "Stratigraphy and Sedimentation, W. H. Freeman and Company, San Francisco, California.
- KRYNINE, P. D., 1946. "The Tourmaline Group in Sediments", Jour. Geol., Vol. 54, Nº 2, pp. 65-87.
- LARSEN, E. S. y BERMAN, H., 1934. "The Microscopic Determination of the Nonopaque Minerals", 2d ed., U. S., Geol. Survey Bull. 848.
- LEROY, L. W., 1950. "Subsurface Geologic Methods", 2d ed., Colorado School Mines.
- LIDDLE, R. A., 1946. "The Geology of Venezuela and Trinidad", 2d ed., Paleon. Research Inst., Ithaca, New York.
- MANGER, G. E., 1938. "Notes on the Stratigraphy of the Younger Tertiary Formations of the Bolívar Coastal District, State of Zulia, Venezuela", Bol. de Geol. y Min. (Caracas), T. II, Nos. 2-4, pp. 56-79.
- MENCHER, E., FICHTER, H. J., RENZ, H. H., WALLIS, W. E., RENZ, H. H., PATTERSON, J. M. y ROBIE, R. H., 1953. "Geology of Venezuela and Its Oil Fields", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 37, Nº 4, pp. 690-777.
- MILNER, H. B., 1940. "Sedimentary Petrography", 3d ed. Thomas Murby and Company, London.
- PETTIJOHN, F. J., 1941. "Persistence of Heavy Minerals and Geologic Age", Jour. Geol., Vol. 49, Nº 6, pp. 610-25.
- PETTIJOHN, F. J., 1949. "Sedimentary Rocks. Harper and Brothers, New York.
- SUTTON, F. A., 1946. "Geology of Maracaibo Basin, Venezuela", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 30, Nº 10, pp. 1621-1741.
- TWENHOFEL, W. H., TYLER, S. A., 1941. "Methods of Study of Sediments, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London.

## micropaleontología

### definición, historia y estado actual

frances charlton de rivero

Capítulo introductorio del libro Micropaleontología, actualmente en preparación por los doctores F. Ch. de Rivero y P. J. Bermúdez.

La micropaleontología es una rama especializada de las ciencias geológicas que se ocupa del estudio de los restos de organismos diminutos que se encuentran conservados, frecuentemente en abundancia y variedad casi inconcebible, en las rocas sedimentarias de nuestro globo. Constituye por lo tanto una especialización dentro del campo de la paleontología general, y al igual de ésta, guarda estrechas relaciones por un lado con las ciencias geológicas, especialmente la estratigrafía y la sedimentología, por otro con las biológicas tales como la biología general, la zoología y la botánica sistemáticas, la oceanografía, la biogeografía, la genética, etc., apoyándose en todas estas ciencias a la vez que aporta datos valiosos para los adeptos de todas y cada una de ellas.

La separación de la micropaleontología como una especialización dentro de la paleontología general, y su enseñanza como materia distinta en los **pensa** de la carrera de Geología, obedece primariamente a motivos de índole práctica, ya que en cuanto a los principios que la rigen y las finalidades que persigue, es inseparable de la ciencia madre. Pero el estudio de los fósiles microscópicos exige técnicas especiales de recolección y preparación, así como también conocimientos de la estructura y clasificación sistemática de determinados grupos de plantas y animales, más detallados, de los que se pueden impartir en un curso de la paleontología general, motivo por que la paleontología de los vertebrados y la Paleobotánica también figuran como materias distintas. A di-