

## COMPOSICION, ESTABILIDAD MINERAL Y ACCION CLIMATICA EN SEDIMENTOS ARGENTINOS

Por MARIO E. TERUGGI y RENATO R. ANDREIS †

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es estudiar la estabilidad mineral, en base a la experiencia de los autores sobre la persistencia de minerales en sedimentos argentinos. Con ese fin, se han considerado los conceptos básicos, se han revisado las principales propuestas de diversos investigadores y se ofrece un orden presumible de estabilidad. El posterior estudio de las contribuciones sedimentológicas de la Argentina durante las últimas dos décadas permite comprobar la existencia de dos composiciones mineralógicas contrastadas: una, caracterizada por componentes estables (cuarzo, micas, feldespatos potásicos), y otra, reconocida por sus componentes inestables (plagioclasas intermedias a básicas, piroxenos y anfíboles). Esta última asociación, que deriva principalmente de vulcanitas básicas, es la que se analiza más detalladamente desde el punto de vista de su disponibilidad, la estabilidad, el transporte y la diagénesis.

Se considera que, bajo condiciones de aridez o semiaridez, el orden « normal » de estabilidad suele modificarse y aun invertirse, lo que posibilita la obtención de una alta madurez textural asociada a una marcada inmadurez mineralógica.

Se concluye que las interpretaciones sedimentológicas sobre estabilidad mineral deben hacerse con suma cautela, a causa de la flexibilidad demostrada en la marcha de la meteorización y de la diagénesis.

### ABSTRACT

A paper devoted to mineral stability, which is dealt with under the light of the authors' experience on mineral persistence in Argentine sediments. After a consideration of basic tenets, a review of the main proposals on this subject is made and an assumed order of stability is presented. However, the revision of sedimentological work in Argentina during the last two decades proves that two contrasted

† Departamento de Geología, Cátedra de Sedimentología.

mineralogical composition are found: one, characterized by stable constituents (quartz, micas, K-feldspars), and another, typified by unstable constituents (basic to medium plagioclases, pyroxenes, amphiboles). The latter association, mostly derived from basic vulcanites, is analyzed from the point of view of disponibility, stability, transportation and diagenesis.

It is assumed that, under arid or semi-arid conditions, the «normal» order of mineral stability may be modified or even reversed, thus permitting the attainment of a high textural maturity coupled with a mineralogical immaturity.

Cautious interpretation is therefore recommended in view of the flexibility of weathering and diagenesis.

## INTRODUCCION

Cuando, en la década de 1940, se iniciaron las investigaciones detalladas sobre la composición y la naturaleza de sedimentos argentinos, en muchos casos dos fenómenos resultaron inmediatamente evidentes:

- 1) Una composición mineralógica un tanto “anómala” en comparación con sedimentos descriptos en otras latitudes.
- 2) Una estabilidad ante la meteorización de algunas especies minerales que aparentemente no concordaba con la establecida y reconocida por los sedimentólogos.

El primer fenómeno está relacionado, como es lógico, con la disponibilidad de materiales detríticos que derivan de las rocas madres. El segundo, en cambio, abría un interrogante, que en aquella época no pudo ser encarado a causa de que se carecía de abundante información sedimentaria. Con todo, a medida que ella se fue acumulando, se tuvo la impresión de que, en algún momento, se haría necesario reconsiderar el problema de la estabilidad mineral bajo diversas condiciones climáticas y/o geomórfico-tectónicas. Algunas observaciones sobre este tópico comenzaron en el interín a aparecer en el extranjero, por lo que, alentados por ellas, nos hemos resuelto a dar a conocer nuestras conclusiones, basadas en buena parte en estudios propios. Ellas están destinadas a contribuir al mejor conocimiento de esta trascendente cuestión.

Debemos aclarar que nuestro trabajo se limita a tratar los minerales formadores de las rocas ígneas y está basado en su persistencia en la fracción arena o limo grueso de los sedimentos. No es nuestro propósito considerar las transformaciones que pueden sufrir los minerales de la fracción arcilla, campo éste sumamente controversial y con complejidades específicas que escapan a nuestras observaciones actuales.

ANTECEDENTES

En 1885, Judd atribuyó la frescura de los feldespatos de los sedimentos del Nilo a la acción del clima desértico. De inmediato, numerosos autores adhirieron a esta interpretación, pero fue sólo con los trabajos fundamentales de Mackie (1898, 1899) que se aceptó de manera general que los feldespatos son buenos indicadores de las condiciones climáticas reinantes durante el período de meteorización y transporte, ya que según sean ellas pueden o no “sobrevivir” y llegar hasta la cuenca final de depositación. En consecuencia, y según estas ideas, la abundancia de esos minerales implica la existencia de un (paleo) clima que ha impedido su descomposición; ese clima sería de tipo árido o frígido, ya que en ambos casos el agua necesaria para las reacciones químicas —esencialmente hidrólisis— está ausente o sólo se encuentra al estado sólido.

Aunque los feldespatos aparentemente pueden “desaparecer” —es decir, ser reducidos a polvos finos— por la abrasión mecánica (Mackie, 1898; Russell, 1937; Plumley, 1948), este proceso es, en cierto modo, independiente de la descomposición y por ello la interpretación comentada sobre la estabilidad de esos minerales ha mantenido su vigencia. Sin embargo, las contribuciones de la escuela sedimentológica norteamericana (Barton, 1916; Reed, 1928; Krynine, 1935; Pettijohn, 1957) han demostrado que otro factor, el tiempo durante el que actúa la meteorización, es igualmente importante para la alteración de los minerales. De cualquier modo que sea, la presencia de abundantes feldespatos en un sedimento se interpreta modernamente como resultado de un clima riguroso y/o de un relieve áspero que facilita la rápida erosión y el posterior transporte.

El carácter de posibles indicadores (paleo) climáticos de los feldespatos deriva de su inestabilidad ante el ataque meteórico, y a su vez es un resultado de la estructura reticular, la composición química y las condiciones del medio (temperatura, presión, actividad química, etc.). Si se generaliza esta interpretación, se tendría que otros minerales, similarmente capaces de reaccionar ante la meteorización, podrían ser también utilizados para el mismo fin. En el dominio de las rocas ígneas, las especies inestables que comúnmente se citan en la literatura son las siguientes: feldespatoides, olivinas, piroxenos y la mayoría de los anfíboles.

Si bien la existencia de minerales estables e inestables se acepta

universalmente como base para la interpretación de la historia genética de los sedimentos (recuérdese el índice de madurez mineralógica), existe menos acuerdo sobre las resistencias relativas de las distintas especies a la meteorización, es decir, lo que se denomina el orden de estabilidad (Pettijohn, 1957). En este campo, la contribución básica ha sido la de Goldich (1938) quien logró establecer que la estabilidad de los minerales formadores de las rocas puede reflejarse en una serie, que sería la inversa de la conocida serie de reacción de Bowen (1928). La serie de Goldich goza de mucho favor entre sedimentólogos y geólogos, al punto que generalmente se la acepta como un truismo, a pesar de que varios autores han advertido que se trata sólo de un esquema general, sujeto a posibles modificaciones (Williams, Turner y Gilbert, 1954; Krauskopf, 1967). Aplicada al campo de la petrografía, esa serie significa que las rocas ultrabásicas y básicas (o tal vez sea mejor decir sus minerales) se alteran con mucha mayor facilidad que las rocas ácidas (o sus minerales). Por lo común, las observaciones de los geólogos parecen corroborar esa interpretación, por lo menos para los climas húmedos.

Más adelante volveremos sobre ese asunto, pero a guisa de introducción señalaremos que el problema de la estabilidad mineral se complica por el hecho de que debe tenerse en cuenta el momento en que ella es atacada. Por lo general, la estabilidad se juzga en relación con los procesos de meteorización, que provocan la desintegración y descomposición de las rocas madres por la acción de agentes superficiales, esencialmente climáticos. Con todo, es sabido que los minerales pueden ser atacados destructivamente con posterioridad a la pura meteorización, ya sea durante la etapa del transporte, o después que se depositan, por los agentes diagenéticos. Según Fairbridge (1967), la diagénesis comprende tres estadios: 1) sindiagénesis, o modificación de los sedimentos inmediatamente después de su depositación; 2) anadiagénesis, o fase de compactación y maduración, y 3) epidíagénesis, o fase de emergencia pre-erosiva de los sedimentos. En cualquiera de esos estadios diagenéticos actúa un conjunto de procesos (hidrólisis, hidratación, deshidratación, solución, adsorción de iones, cambios de bases, oxidación, etc.) que pueden conducir a la transformación o destrucción de los minerales heredados, con la consiguiente eliminación de las soluciones resultantes o la formación de otras especies (autigénesis).

Es evidente, por lo tanto, que para evaluar la estabilidad de los minerales se hace necesario separar claramente los procesos meteóri-

cos de los diagenéticos, lo cual no es sencillo, especialmente cuando el estudio se basa en la persistencia de minerales en las rocas sedimentarias. Si bien se admite que la diagénesis actúa principalmente sobre los argilominerales (los que, según las interpretaciones de escuelas sedimentológicas opuestas se consideran como totalmente heredados o como especies que pueden ser transformadas o neoformadas, Millot, 1964), otros minerales comunes de las rocas pueden ser afectados por reemplazos y soluciones, especialmente la disolución intrastatal, que para algunos autores puede ser muy importante en la destrucción de diversas especies (cf. Pettijohn, 1957).

Como lo señalara Todd (1967), aparte del criterio de la persistencia de los minerales en los sedimentos, pueden utilizarse otros métodos para determinar la estabilidad mineral; entre ellos, se cuentan: las comparaciones químicas, los experimentos de laboratorio y el estudio de los procesos edáficos. Pero aun con todo este arsenal de métodos, subsisten numerosos puntos que no están suficientemente aclarados, lo que es plena evidencia de la dificultad del tema.

Pasaremos por lo tanto a considerar las propuestas sobre el orden de estabilidad mineral que se han presentado hasta el presente.

#### ORDENES DE ESTABILIDAD

Diversos autores, basados en los variados métodos comentados más arriba, han tratado de establecer cuál es la resistencia a la meteorización de los principales minerales de las rocas madres y han elaborado listas en la que se los ordena en base a su estabilidad. Las principales propuestas se han registrado en el cuadro I.

La comparación entre las distintas interpretaciones no resulta sencilla, pues si bien la ordenación está a veces basada en valores numéricos, en la mayoría de los casos no es más que una distribución de minerales en grupos de distinta estabilidad, sin que se ofrezcan índices que permitan evaluar matemáticamente las relaciones entre las especies. Por otra parte, no siempre hay concordancia sobre las minerales tomados en consideración y cada autor ha confeccionado una lista propia, cuyos términos suelen ser distintos de los tomados por otros investigadores.

No obstante estas imprecisiones y limitaciones, en base a los órdenes de estabilidad propuestos es posible obtener una especie de común denominador, que refleje un cierto acuerdo general. Para visualizar me-

Principales propuestas sobre el ord

PETTIJOHN (1941)	WEYL (1952)	GRAHAM (1953)	MAREL (1953)
-3 Anatasa	1 { Rutilo Zircón Turmalina Titanita Magnetita	1 { Cuarzo Muscovita Rutilo Zircón Turmalina Ilmenita	Turmalina
-2 Muscovita			Andalusita
-1 Rutilo			Cianita
1 Zircón			Magnetita
2 Turmalina	2 { Cianita Andalusita Sillimanita	1 { Andalusita Cianita Titanita Magnetita	Granate
3 Monacita			Muscovita
4 Granate	3 { Epidoto Granate	2 { Estauroлита	Epidoto
5 Biotita			Anfibol
6 Apatita	4 { Augita Hornblenda Olivina	3 { Biotita Epidoto Granate Augita Hornblenda	Augita
7 Ilmenita			Biotita
8 Magnetita			Hipersteno
9 Estauroлита			Olivina
10 Cianita		4 { Apatita Olivina	
11 Epidoto			
12 Hornblenda			
13 Andalusita	FIEDES Y SWINDALE (1959)	REICHE (1950)	SMITHSON (1941)
14 Topacio	5 { Cuarzo	Ortoclasa 12	1 { Zircón Rutilo Apatita
15 Titanita	4 { Feldspatos Vidrio ácido	Albita 13	
16 Zoisita		Oligoclasa 15	
17 Augita	3 { Muscovita Biotita	Andesina 14	2 { Monacita
18 Sillimanita		Labradorita 20	
19 Hipersteno	2 { Zeolitas Vidrio básico	Biotita 22	3 { Granate Estauroлита Cianita
20 Diópsido		Hornblenda 36	
21 Actinolita	1 { Augita Hornblenda Hipersteno Olivina	Augita 39	4 { Mafitos
22 Olivina		Olivina 54	

R O I

en de estabilidad mineralógica

SINDOWSKI (1944)

- VII. No meteorizable : turmalina, zircón, rutilo
- VI. Ligeramente meteorizable : cianita, estauroлита, sillimanita, dumortierita, corindón
- V. Dificilmente meteorizable : andalusita
- IV. Menos difícilmente meteorizable : titanita, brookita, anatasa
- III. Bastante fáclmente meteorizable : granate, anfíboles, augita
- II. Fáclmente meteorizable : epidoto, zoisita
- I. Muy fáclmente meteorizable : apatita, olivina, glauconita

KUCHARENKO (EN RUKHIN, 1958)

1 *Muy estable :*

Andalusita  
Topacio  
Rutilo  
Turmalina  
Zircón  
Corindón

2 *Estable :*

Anatasa  
Estauroлита  
Cianita  
Ilmenita  
Hematita  
Titanita  
Magnetita  
Monacita

3 *Moderadamente estable :*

Apatita  
Diópsido  
Actinolita  
Tremolita  
Epidoto  
Zoisita  
Sillimanita

4 *Inestable :*

Olivina  
Piroxenos rómbicos  
Augita (Fe)  
Hornblenda

GOLDICH (1938)

*Muy estables :* zircón, cuarzo

*Moderadamente estables :*

Microclino, ortoclasa, biotita

Ilmenita, magnetita

*Menos estables :*

Plagioclasa, epidoto, hornblenda, titanita, apatita

DRYDEN Y DRYDEN (1946)

Zircón 100

Turmalina 80

Sillimanita 40

Monacita 40

Cloritoide 20

Cianita 7

Hornblenda 5

Estauroлита 3

Granate 1

Hipersteno 1

por esta cuestión, conviene tratar primero los minerales livianos y después los pesados.

### MINERALES LIVIANOS

Sedimentológicamente, dos son las familias de minerales que interesan: la de la sílice y la de los feldespatos.

Dado que el ópalo y la calcedonia tienen escasa importancia como componentes detríticos, para los fines prácticos la primera familia se reduce al cuarzo. Este mineral está aceptado universalmente como una especie eterna, es decir que no sufre descomposición meteórica, aunque puede ser disuelto muy lentamente bajo ciertas condiciones (Her, 1955). La estabilidad del cuarzo es tan grande que, en los llamados índices de madurez mineralógica, se lo emplea como patrón de comparación frente a los otros minerales livianos. Su posición, por lo tanto, parece clara sin lugar a dudas.

Los feldespatos poseen una enorme importancia, que deriva del hecho de que son los minerales más abundantes de la litosfera; no obstante ello, por su carácter de inestables o semiestables, su significación numérica está grandemente disminuida en las rocas sedimentarias. Sin embargo, son capaces de persistir a través de un ciclo geológico de meteorización y transporte, y en esa propiedad reside, como ya se mencionara, su importancia como indicadores (paleo) climáticos.

A partir de la contribución de Goldich (1938), se ha aceptado entre los sedimentólogos que, en las plagioclasas, existe una relación entre composición química y estabilidad. Según esta interpretación, cuando mayor es el contenido de calcio, mayor es la alteración, de modo que la anortita será más inestable que la bytownita, ésta que la labradorita, y así sucesivamente hasta la albita, que es la plagioclasa más estable. La serie de Goldich, en su forma completa, es la siguiente:

#### Serie de estabilidad mineral (Goldich, 1938)

Olivina	Plagioclasa cálcica
Angita	Plagioclasa cálcica-alcalina
Hornblenda	Plagioclasa alcalina-cálcica
Biotita	Plagioclasa alcalina
	Feldespato potásico
	Muscovita
	Cuarzo



Algunos autores han señalado que el comportamiento de las plagioclasas puede no ser tan regular. Así, Marshall (1964) advierte que algunas plagioclasas intermedias (óligoclasa, andésina) pueden ser tan estables como la albita, en tanto que otras más cálcicas (labradorita, bytownita) pueden comportarse como la anortita. Este comportamiento estaría vinculado con el hecho de que las plagioclasas intermedias representan finos intercrecimientos de miembros ricos en sodio y miembros ricos en calcio, según se ha determinado por estudios estructurales.

Los feldespatos potásicos, según esa ordenación poseen una estabilidad superior a la de la albita, pero no se cuenta con datos precisos acerca de la estabilidad de las distintas especies potásicas —cuya naturaleza mineralógica se determina por lo general de manera deficiente en los estudios sedimentológicos y edafológicos corrientes—, por lo que es más bien conjetural el conocimiento que tenemos de su comportamiento ante la meteorización. Sólo parece haberse demostrado en algunos casos (Harrison, 1933) que el microclino es más resistente a la alteración; nuestras observaciones en sedimentos argentinos confirman esta regla general.

No obstante las limitaciones señaladas, la estabilidad de los feldespatos concordaría con el ordenamiento propuesto por Goldich (1938) en base a estudios edafológicos. Como fundamentación de su serie, este autor supone que la estabilidad aumenta a medida que decrece la diferencia entre la temperatura de cristalización y la temperatura de meteorización. Sin embargo, Todd (1968) se ha encargado de puntualizar que esta interpretación es una generalización muy amplia, que no contempla un conjunto de factores que pueden actuar para modificar ese ordenamiento. Se trataría, a lo sumo, de una lista aproximada, pues la “meteorización no sigue un curso único” y por ello, precisamente, es que la estabilidad de estos minerales puede ser afectada por las condiciones (paleo) climáticas.

Los estudios de Todd (1968) y nuestra propia experiencia, que se expondrá más adelante, parecen demostrar que, efectivamente, la ordenación de Goldich es válida solamente para ciertos casos, en tanto que en otros la estabilidad de los feldespatos puede ser distinta y aun inversa.

## MINERALES PESADOS

Uno de los primeros autores que se ocupó detenidamente de la estabilidad de los minerales pesados fue también Goldich (1938), quien los ordenó en una lista que coincide con la rama discontinua de la serie de Bowen, con los mismos fundamentos teóricos que para los feldespatos. Tres años más tarde, Pettijohn (1941) encaró el mismo problema, pero sobre la base de la persistencia de las especies a través de los ciclos geológicos. Fue así que propuso una lista, precedida por un índice numérico, que refleja la frecuencia de minerales en sedimentos modernos frente a su persistencia en sedimentos antiguos. Por otro lado, Dryden y Dryden (1946) asignaron igualmente a algunas especies minerales ciertos valores obtenidos en comparación con el comportamiento del zircón. Este tipo de tentativas culmina con el denominado índice de meteorización potencial de Reiche (1950), que se computa en base al análisis químico de los minerales (valores bajos indican alta estabilidad).

Los autores anteriormente citados son los únicos investigadores que han tratado de medir la estabilidad en forma aritmética. Todos los autores que entonces o posteriormente se han ocupado de esta cuestión se han limitado a suministrar listas de minerales, distribuidos por lo general en grupos de distinta estabilidad (muy estables, estables, medianamente estables, inestables, etc.). En la mayor parte de los casos, no ofrecen ordenamientos dentro de cada grupo, por lo que la comparación entre distintas especies casi nunca es posible. Existe, además, la dificultad añadida de que las listas de minerales tratados son muy variadas y diversas: algunos investigadores se reducen a unas pocas especies, en tanto que otros abarcan un campo mucho mayor.

## EL ORDEN DE ESTABILIDAD PRESUMIBLE

Si se analizan todas las propuestas efectuadas, es posible establecer, de manera aproximada, un orden de estabilidad general, sobre el que hay aparente acuerdo entre todos los investigadores.

Para facilitar la comprensión, nos hemos limitado a los minerales comunes de las rocas ígneas y los hemos separado en tres grupos fundamentales: félsicos, máficos y accesorios, en concordancia con la discriminación empleada en petrografía. Nuestro ordenamiento se presenta en el cuadro II.

**CUADRO II**  
**Orden presumible de estabilidad mineral**

	Accesorios	Máficos	Félsicos	
INESTABLES	}	apatita		
		olivina (54)		
		piroxenos (39)		
		hornblenda (36)	bytownita	
		biotita (22)	labradorita (20)	
METASTABLES	}	epidoto	andesina (14)	
		zoisita		
		granate	oligoclasa (15)	
		magnetita	albita (13)	
		ilmenita		
		titanita	feldespatos potásicos (12)	
ESTABLES	}	turmalina	muscovita	cuarzo
		zircón		
		rutilo		

En él, los minerales figuran en niveles que corresponden, de manera muy aproximada, a su probable estabilidad. Nos hemos guiado, para ello, en los índices de Reiche por un lado, y por el otro en el consenso de opinión de los autores. Solamente hemos reconocido tres niveles de estabilidad: minerales estables, metastables e inestables. Entendemos que en el estado actual de los conocimientos, no se justifica erigir otras categorías.

El ordenamiento del cuadro II puede, pues, considerarse como la expresión de la opinión corriente sobre estabilidad mineral. Existen sin embargo algunos interrogantes muy serios en torno a la estabilidad de algunas especies, como ser granates, zircón y aun cuarzo (Raeside, 1959). La misma estabilidad de las plagioclasas ha sido puesta en tela de juicio, en base a la posible influencia de los planos de macla como vías de penetración de la alteración (Blatt, 1967). Pero, salvo estos puntos debatibles, el ordenamiento presentado parece ser correcto en la mayoría de los casos. En ese aspecto, nos hemos limitado a disponer los minerales en una agrupación más lógica que las anteriores.

Es nuestro propósito tratar de verificar la validez del orden de estabilidad reconocido. Para ello, describiremos someramente la com-

posición mineralógica de sedimentos argentinos, ya que aparentemente ella no concuerda muy bien con aquél. Para cumplir este propósito, trataremos primeramente los feldespatos y luego el grupo de los minerales pesados, dejando para el final la interpretación de los hallazgos.

#### FELDESPATOS EN SEDIMENTOS ARGENTINOS

En sus estudios sobre las arenas costeras de la provincia de Buenos Aires, Teruggi *et al.* (1949, 1959) encontraron que el contenido medio de feldespatos era del 41,6 %; esta abundancia había sido citada brevemente por Muhlmann (1943) y en trabajos más limitados geográficamente por Mauriño (1956) y por Limousin (1956). Asimismo, Teruggi (1964) comprueba que en el tramo litoral entre Bahía Blanca y el río Negro, el contenido de las arenas en esos minerales es de 27,2 %. En consecuencia, el contenido promedio de feldespatos en toda el área costera bonaerense es de 38,9 %, con una variación que va de un mínimo de 17 % a un máximo de 64 %. En realidad, la abundancia de feldespatos en esas arenas es algo mayor que la mencionada, pues contienen además una cantidad discreta de alteritas, que en parte corresponden a feldespatos totalmente descompuestos cuya identificación específica resulta por ello imposible.

El alto contenido de esos minerales — que muchas veces son los componentes más abundantes de los sedimentos que comentamos — resultó una verdadera novedad, aunque se conocen casos similares en otras latitudes (25 % en las arenas del Mississippi, Willman, 1942; 45 % en las arenas costeras de Labrador y Groenlandia, Martens, 1949; 27 % en areniscas del Pérmico de Nueva Gales del Sur, Raam, 1968, etcétera). Pero lo singular de las arenas bonaerenses es el hecho de que, en esa abundancia de feldespatos, predominan netamente las plagioclasas sobre las especies potásicas, en una proporción que es 3, 4, 5 o más veces mayor. Este hecho constituye una “inversión” en la composición mineralógica, pues la mayoría de las arenas feldespáticas del mundo poseen abundancia de especies potásicas, en especial ortosa y microclino; en el litoral bonaerense, estos feldespatos son escasos frente a los calco-sódicos, entre los que predominan la labradorita ( $An_{50-60}$ ), la andesina ( $An_{33-50}$ ) y mucho más rara, la oligoclasa y la albita.

Por último, hubo otro fenómeno singular que fue puesto de manifiesto por esos estudios: las plagioclasas están “excepcionalmente

frescas y límpidas" (Teruggi *et al.*, 1959), al punto que menos de un 5 % del total presenta señales de alteración. Inversamente, los feldespatos potásicos aparecen siempre turbios por una fuerte alteración arcillosa. La especie presente es típicamente ortosa; el microclino es sumamente raro y cuando se lo encuentra está fresco.

En base a los datos comentados, se pueden deducir dos conclusiones que aparentemente no concuerdan con el orden de estabilidad aceptado: 1) notable predominio detrítico de las plagioclasas sobre los feldespatos potásicos; 2) alteración constante de los segundos, en contraste con la frescura de las primeras, aún las más básicas. Como las arenas bonaerenses no han derivado de rocas madres locales, sino que han sufrido largos transportes hasta las zonas actuales de deposición, se entrevió en aquella época la posibilidad de que el orden aceptado de estabilidad no fuese enteramente correcto.

Durante las décadas del 50 y del 60 se fueron sucediendo investigaciones sedimentológicas que, en buena parte, confirmaban las conclusiones anteriores. Así, Rossetto (1953), al investigar las arenas medanosas del partido de Villarino, provincia de Buenos Aires, descubre que están constituidas en un 46 % por feldespatos. Las plagioclasas, determinadas como andesina y oligoclasa, con rara albita, predominan en relación de 2 ó 3 a 1 con respecto a las especies potásicas (ortosa y microclino). Rossetto destaca que las plagioclasas están frescas, aunque menciona la presencia de granos alterados; los feldespatos potásicos aparecen en estado variado de alteración.

En 1954, el estudio de los fangos marinos del Golfo San Jorge, efectuado por Teruggi, reveló que los feldespatos varían entre 7 y 54 %, con fuerte predominio de las plagioclasas (2-10 a 1) sobre la ortosa. Como en los ejemplos anteriores, las plagioclasas (oligoclasa, andesina básica y labradorita) están frescas, en tanto que los feldespatos potásicos se encuentran alterados.

En 1957, Teruggi, Etchichury y Remiro efectuaron el estudio de los sedimentos loésicos de las barrancas costeras entre Mar del Plata y Miramar, poniendo nuevamente de manifiesto la abundancia de feldespatos en la fracción arena de esos materiales sedimentarios. Efectivamente se encontró que el promedio es de 59,5 %, con un rango de variación entre 30 % y 80 %. De ese total, algo más del 38 % corresponde a plagioclasas, alrededor de un 10 % a feldespatos potásicos y el resto a alteritas. Las plagioclasas presentes son labradorita, andesina, oligoclasa y rara albita, que muestran notable frescura; por el contrario, la ortosa y el escaso microclino están alterados, especialmente la primera.

En el mismo año de 1957, Chaar estudió las arenas costeras del río de la Plata entre el Paraná de las Palmas y Buenos Aires. Los feldespatos alcanzan al 30 % de la composición, con 16 % de plagioclasas y 14 % de especies potásicas. La naturaleza de estos feldespatos y su estado de frescura son similares al ejemplo anterior. Por su parte, Buscaglia (1957) efectuó un estudio paralelo de las arenas del delta del río de la Plata; determinó un total de 31,2 % de feldespatos, con un muy ligero predominio de los potásicos. Las plagioclasas (andesina y oligoclasa) aparecen con grado variable de alteración, que sin embargo es siempre menor que la de la ortosa. Por fin, Bercowski (1967) investigó la composición de las arenas costeras del mismo río, desde Buenos Aires hasta Punta Piedras. Según sus datos, los feldespatos constituyen el 29,6 % de la composición, del cual cinco sextas partes corresponden a plagioclasas frescas (andesina, labradorita, oligoclasa).

En 1963, Mauriño y Limousin realizaron un estudio sedimentológico de las arenas de médanos subrecientes del partido de Junín, provincia de Buenos Aires. Según sus datos, el contenido de feldespatos es de 41,4 %, con una dispersión entre 13 % y 56 %. Los feldespatos potásicos (ortosa y microclino) sólo constituyen una décima parte del total y están muy alterados; las plagioclasas fueron identificadas como oligoclasa y labradorita, con fuerte predominio de la primera. En general están frescas, aunque pueden apreciarse distintos estadios de alteración en algunos granos.

Una información de interés es la suministrada por Etchichury y Remiro (1960), quienes estudiaron la composición de los sedimentos de la plataforma continental frente a la desembocadura del río de la Plata y las costas uruguayas. Estos autores determinaron que los feldespatos representan el 37 % de la fracción arena, con una dispersión del 32 % al 56 %. Cuatro quintas partes de los feldespatos son plagioclasas (labradorita, que predomina netamente, andesina, escasas oligoclasas y albita); el resto son feldespatos potásicos (ortosa, raro microclino, escasísima sanidina). Como en todos los ejemplos anteriores, se repite el fenómeno de la frescura de las plagioclasas y la alteración de las especies potásicas.

Muy interesante es también la contribución efectuada por Andreis (1965) en su estudio de la Formación Río Negro (Plioceno sup. o Cuaternario inf.), cuyas areniscas contienen un 37 % de feldespatos. De esa cantidad, sólo el 2,7 % corresponde a ortosa y microclino y el

resto a plagioclasas (andesina y labradorita). Las plagioclasas están siempre frescas y límpidas, pues menos del 1 % presentan alteración sericitica o alofánica; por su parte, las especies potásicas presentan grados variados de alteración.

Los datos más recientes a nuestra disposición provienen de un estudio de las rocas madres de los suelos en un perfil entre las localidades de Buenos Aires y Malargüe (Mendoza), efectuado por Teruggi y Andreis (1968). La investigación, con una extensión lineal de 1.200 kilómetros, abarcó diversos sedimentos del Plioceno y Pleistoceno. A lo largo de todo el perfil, los feldespatos son muy abundantes, pues constituyen el 32,3 % de la fracción arena, con un mínimo de 23 % y un máximo de 50 %. Las plagioclasas son entre 2 y 10 veces más abundantes que los feldespatos potásicos; por lo común son labradorita y andesina, pero hay también escasa oligoclasa y muy rara albita; todas las especies muestran excelente estado de frescura. Por el contrario, los feldespatos potásicos (ortosa, escaso microclino) se hallan alterados, en forma incipiente o marcada.

Los estudios sobre sedimentos de edad anterior al Pleistoceno o Plioceno superior son mucho más escasos, pero existen ejemplos que confirman las composiciones mineralógicas citadas más arriba. De este modo, González Bonorino (1944) menciona que los depósitos del Coloncurensis (Mioceno) de río Foyel contienen bastante plagioclasa, que en una arenisca totaliza el 30 %. El mismo autor (1950), en la descripción de los sedimentos del Calchaqueño (Mioceno) de las hojas de Andalgalá y Capillitas manifiesta que las areniscas y tufitas que los componen son generalmente ricas en plagioclasas, mientras que los feldespatos potásicos son escasos o están ausentes.

Otra información de interés es la suministrada por Teruggi y Rossetto (1963) en su estudio de las rocas del Chubutiano (Senoniano) del codo del río Senguerr. En las areniscas de la Formación Barreal, el contenido medio de plagioclasas es de 33 % (no hay feldespatos potásicos), y en las de la Formación Castillo es de 32 %. Todas las rocas son de filiación piroclástica, y en ellas, las plagioclasas, que van de andesina a labradorita, están sistemáticamente frescas. En los miembros tobáceos de las mismas formaciones, los porcentajes de feldespatos son mucho menores (7 % y 9 %, respectivamente), pero se mantiene la característica de la abundancia neta de plagioclasas frescas.

Para finalizar, citaremos el estudio de Bossi y Siegel (1965) sobre las arcilitas de la Formación Río Salí (Tucumán). Si bien esos autores no ofrecen porcentajes, mencionan que en la fracción arena se re-

gistra la presencia de plagioclasas medias a básicas sin ninguna alteración. Las plagioclasas están acompañadas de sanidina y microclino, en distintos estados de descomposición.

La revisión bibliográfica que antecede no debe interpretarse en el sentido de que todos los sedimentos argentinos tienen composición similar a la señalada y con idénticas características. Hay también abundantes investigaciones que informan sobre una mineralogía de tipo más "normal". De este modo, Andreis (1961), al estudiar las rocas de la Formación Petrolífera (Malm sup.) de Neuquén, encontró que su contenido de feldespatos es de 24 %, pero el 17 % corresponde a feldespatos potásicos y sólo un 7 % a plagioclasas, con alteración algo menor en estas últimas. El mismo autor (1964), en su investigación de la Formación Lolén (Eodevónico) de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, determinó que su contenido de feldespatos es sólo de 10 %, repartido por mitades entre plagioclasas alteradas y especies potásicas frescas. Por su parte, Santa Cruz (comunicación personal, 1969) nos informa que las arenas Puelches (Plioceno) del subsuelo de la provincia de Buenos Aires sólo contiene entre 4 % y 10 % de feldespatos, con absoluto predominio de la ortosa y el microclino frescos sobre las plagioclasas.

La última información que citaremos se refiere a la composición de los Estratos de Paganzo de La Rioja, estudiados por Teruggi *et al.* (1967). La Formación Guandacol (Carbónico inf.) es rica en feldespatos (34 %), pero predominan netamente las variedades potásicas (ortosa y microclino), que están frescas o con escasa alteración; las plagioclasas aparte de ser poco abundantes, están comúnmente alteradas. En la Formación Tupe (Carbónico sup.), el contenido en feldespatos es de 36 %, con ligero predominio de la ortosa y microclino poco alterados sobre las plagioclasas sericitizadas. La Formación Patquía (Pérmico) contiene 31 % de estos minerales, pero se nota otra vez el fuerte predominio de las especies potásicas. Tanto éstas como las plagioclasas están moderadamente alteradas.

Previo a cualquier tentativa de explicación de las composiciones mineralógicas comentadas, es conveniente considerar los minerales pesados que acompañan a los feldespatos.



MINERALES PESADOS EN SEDIMENTOS ARGENTINOS

Al igual que se comentara con respecto a los feldespatos, desde los primeros estudios sedimentológicos se evidenció que, en muchos casos, los minerales pesados estaban representados por asociaciones un tanto extrañas. En efecto, se comprobó un notable predominio de los piroxenos, seguidos en abundancia por los anfíboles. Por el contrario, las especies consideradas corrientemente como muy estables eran escasas o faltaban por completo.

En sus estudios de las arenas costeras de la provincia de Buenos Aires, Teruggi y sus colaboradores (1949, 1959, 1964) comprobaron que en el tramo comprendido entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca los piroxenos estaban representados por un valor promedio de 66 % del total de minerales pesados; la augita constituía un 35 % y el hipersteno un 31 %. Los anfíboles (esencialmente hornblenda y lamprobolita en menor proporción) llegaban al 9 %, en tanto que un 12 % correspondía a los minerales opacos. En el sector litoral entre Bahía Blanca y el río Negro, el promedio de piroxenos resultó de 58 % (25 % de augita y 33 % de hipersteno); los anfíboles descendieron a 5 %, pero en cambio los opacos aumentaron a 20 %. En consecuencia, la composición porcentual de todo el litoral marino bonaerense resultó la siguiente: piroxenos, 62 % (augita, 30 % e hipersteno, 32 %); anfíboles, 7 % y opacos, 16 %. Las especies restantes, en cantidades individuales siempre menores del 3 %, son las siguientes: granate, olivina, epidoto, turmalina, zircón, rutilo y apatita.

Esta asociación de minerales pesados, en sedimentos depositados a centenares de kilómetros de las posibles áreas de proveniencia, no sólo llama la atención por la abundancia de especies consideradas inestables, sino también por dos características difíciles de explicar en base a su presumiblemente escasa resistencia a la meteorización: 1) absoluto estado de frescura de los clastos de piroxeno y anfíbol; 2) redondeamiento avanzado de los granos. La conclusión inevitable de estos estudios fue de que los minerales pesados de las arenas litorales habían sufrido un largo transporte, con intensa abrasión, sin que hubiera actuado de manera apreciable sobre ellos la meteorización química.

Varias investigaciones sedimentológicas han confirmado, una y otra vez, la abundancia de esta asociación de minerales pesados. Rossetto (1953) expresa que en las arenas de médano del partido de Villari-

no, los piroxenos (augita e hipersteno, con predominio de augita) alcanzan al 67 %, en tanto que los anfíboles suman 1 %. En los fangos marinos del Golfo San Jorge, Teruggi (1954) menciona que hay un fuerte predominio de minerales opacos (46 %, en buena parte magnetita, seguida de ilmenita, hematita, leucoxeno y limonita); en orden de abundancia siguen los anfíboles (16 %) y los piroxenos (15 %, del cual 9 % corresponden a hipersteno y el resto a augita); las micas y cloritas alcanzan valores cercanos al 10 %.

La investigación de la mineralogía de la fracción arena de limos y loesses pampeanos de las barrancas marplatenses (Teruggi, Etchichury y Remiro, 1957), vuelve a poner en evidencia el predominio de las especies inestables. Los piroxenos constituyen el 25 % del total de pesados, con 17 % de augita y 8 % de hipersteno; los anfíboles, a su vez, suman un total de 34 % (hornblenda verde y castaña, escasa lamprobolita y muy rara actinolita). Muy abundantes resultan los minerales opacos, que llegan al 26 %.

Los sedimentos del río de la Plata se mantienen dentro de la mineralogía apuntada, con variaciones. En el sector del delta, Buscaglia (1957) determina un 13 % de anfíboles y algo más de 7 % de piroxenos (augita en doble cantidad que el hipersteno). Algo más al sur, hasta la ciudad de Buenos Aires, las arenas contienen 18 % de anfíboles y 17 % de piroxenos, representados por hipersteno (12 %) y augita (5 %), según los estudios de Chaar (1957). En las playas situadas entre la Capital Federal y Punta Piedras, Bercowski (1967) ha establecido la abundancia de piroxenos, (algo más de 38 %), con predominio de augita (23 %) frente al hipersteno. Los anfíboles de tipo hornblenda constituyen algo más del 12 %. En todos estos ejemplos, los minerales pesados presentan sus características de excelente redondeamiento y completa frescura.

Datos similares a los anteriores han sido suministrados por Etchichury y Remiro (1960) en su investigación de los sedimentos de la plataforma continental frente al río de la Plata. Según esos investigadores, los piroxenos son los minerales pesados más abundantes (43 %), con predominio de la augita (27 %) frente al hipersteno (16 %). Los anfíboles llegan al 11 % (hornblendas y escasa lamprobolita), siendo superados por los opacos que totalizan 21 %. Hay también la presencia de epidoto en cantidad apreciable (11 %).

En su contribución sobre los sedimentos arenosos del Partido de Junín, Mauriño y Limousin (1963) señalan que los anfíboles constituyen algo más del 40 % de los minerales pesados; les siguen en orden

de abundancia los piroxenos, con 21 %, del cual 19 % es de hipersteno y 2 % de augita. Las especies opacas totalizan un 20 %. Los autores mencionan también la presencia de muscovita en algunas muestras.

Un panorama mineralógico similar al comentado hasta ahora ofrece el estudio de las rocas madres de los suelos en un perfil de Buenos Aires a Mendoza (Teruggi y Andreis, 1968). Los valores promedios indican que los piroxenos son los más abundantes, con un total de 46 %; de esa cantidad, cerca del 25 % corresponde a hipersteno y poco más de 21 % a la augita. Los anfíboles alcanzan al 19 % entre hornblenda verde, hornblenda castaña y lamprobolita. Los minerales opacos (magnetita, ilmenita, leucoxeno y limonita) son muy frecuentes, pues totalizan un poco más del 21 %.

Similares características presenta la composición de la Formación Río Negro (Andreis, 1965), en la cual los piroxenos suman el 52 %, repartidos entre hipersteno (35 %) y augita (17 %). Los minerales opacos llegan al 17 %, y los anfíboles ocupan el tercer lugar con 12 %. El redondeamiento y la frescura de piroxenos y anfíboles son siempre notables.

Todas las formaciones cuya composición hemos comentado son de edad cuaternaria o pliocena. Existe muy poca información sobre entidades líticas más antiguas. Un caso especial parece ser el representado por los sedimentos del Chubutiano. Según Teruggi y Rossetto (1963), la abundancia de plagioclasas no está acompañada, como parece ser norma, de grandes cantidades de anfíboles y piroxenos, pues predominan netamente (algo más del 75 %) los minerales opacos. Los piroxenos están representados por escasa cantidad de hipersteno, y los anfíboles por hornblenda, igualmente en cifras muy reducidas. En cambio, son comunes la biotita y el zircón.

Existen, además, formaciones en las que la asociación de minerales pesados se caracteriza por la presencia de especies estables. Citaremos solamente el caso de la Formación Petrolífera (Malm sup.) de Neuquén (Andreis, 1961), constituida por abundancia de minerales opacos (50 %), un porcentaje considerable de zircón (26 %) y cantidades discretas de epidoto (9 %). También son "normales" las asociaciones de pesados de otras formaciones, como las correspondientes a los estratos de Paganzo y las de la Formación Lolén, que fueran comentadas en relación con la abundancia de feldespatos.

Con el objeto de que el lector pueda apreciar las características morfológicas de los clastos de feldespatos, piroxenos y anfíboles, he-

mos preparado la lámina I, en la que se ilustran las formas más frecuentes encontradas en las investigaciones citadas.

#### INTERPRETACION GENERAL

La revisión precedente ha puesto de manifiesto que en la Argentina (y posiblemente en otros continentes; Lerbekmo, 1963) existen formaciones sedimentarias, especialmente continentales, que presentan dos composiciones mineralógicas contrastadas. Por un lado, se tienen sedimentos y sedimentitas ricos en cuarzo, con pocos feldspatos o con feldspatos potásicos predominantes, y un séquito de minerales pesados que comprende las especies estables. Esta asociación concuerda perfectamente con el orden de estabilidad condensado en el cuadro II. Empero, por el otro lado, hay numerosas formaciones sedimentarias cuyas composiciones mineralógicas se apartan considerablemente de lo que cabría esperar en base al citado orden de estabilidad. En efecto, en ellas el cuarzo suele no ser la especie más abundante, hay cantidades notables de feldspatos, con predominio de plagioclasas frescas sobre una población reducida de especies potásicas alteradas, y por fin, el conjunto de los pesados está dominado por piroxenos y anfíboles, es decir minerales inestables, que allí aparecen sin señales de alteración y muy bien redondeados por la abrasión provocada por el transporte.

El contraste entre ambas mineralogías es muy notable y debe responder a razones sedimentológicas especiales. Es esta la cuestión que trataremos de analizar, concentrando nuestro enfoque en la segunda de las dos asociaciones aludidas.

#### DISPONIBILIDAD

Para explicar las mineralogías sedimentarias "anómalas", el primer punto a considerar es la disponibilidad de los minerales componentes de esas rocas. Muchos de los estudios que hemos citado han tratado esta cuestión y, en general, han demostrado que las rocas madres de las que provienen los detritos son de naturaleza basáltica o andesítica; en algunos casos, se ha determinado también la contribución de productos piroclásticos de la naturaleza citada o algo más ácidos.

Según estas interpretaciones — que han sido confirmadas por una serie de observaciones colaterales, tales como abundancia de clastos

líticos de vulcanitas intermedias o básicas, la presencia de clastos con rebordes vítreos, la óptica de las plagioclasas, etc.— los agentes de la meteorización y del transporte han actuado esencialmente sobre un conjunto de minerales inestables, tales como plagioclasas medias a básicas, piroxenos, anfíboles, raras olivinas, además de apreciables cantidades de compuestos opacos de hierro y titanio. Consecuentes con la interpretación de que esta asociación deriva de rocas básicas, algunos de los autores citados (cf. Teruggi y colaboradores, 1959, 1964) han inferido que parte del cuarzo y la mayoría de los feldespatos potásicos se han incorporado a la sedimentación de las rocas estudiadas por un proceso natural de mezcla; por lo tanto, se atribuye a estos componentes un origen a partir de rocas más ácidas, en particular riolitas o granitos descompuestos.

Estas interpretaciones, al estado de nuestros conocimientos sobre sedimentación argentina, parecen fundamentalmente correctas, pero solamente rozan el problema de la estabilidad mineral, pues, según ellas, la abundancia de plagioclasas, piroxenos y anfíboles sería simplemente una herencia de las rocas madres.

#### ESTABILIDAD

La disponibilidad de minerales, por sí sola, es insuficiente para explicar la composición de las rocas sedimentarias que estamos considerando. Sobre el paquete mineral originario en las rocas madres actúa la meteorización que determina, para usar un símil tomado de la evolución darwiniana, la supervivencia de los más resistentes. Si esto no fuera así, cada sedimentita nos daría directamente la composición de la roca madre, salvo los posibles cambios y selecciones introducidos dinámicamente durante el transporte. La ausencia de sedimentitas constituidas en buena parte por especies sumamente inestables — los feldespatoides son el mejor ejemplo — denota claramente la importancia de la meteorización. Ya Hay (1957) se ha ocupado de esta cuestión, al considerar la estabilidad de detritos volcánicos; según él, la meteorización, al actuar sobre un conjunto de mafitos (olivinas, piroxenos, micas), ataca preferentemente a los dos primeros y respeta a las últimas, lo que puede inducir a suponer que la asociación inicial era más ácida.

Cabe preguntar, entonces, qué es lo que sucede en una región donde el material detrítico disponible para el transporte es totalmente de naturaleza basáltica o andesítica. En este caso, si el sedimento deri-

vado es sumamente juvenil, o si el transporte ha sido exiguo, los depósitos reflejarán directamente la mineralogía de las rocas madres. Es este el caso de las playas con arenas volcánicas de las islas oceánicas, constituidas por detritos derivados y continuamente renovados a partir de coladas de lava. En cambio, si los depósitos no son muy juveniles y provienen de fuentes lejanas, la meteorización tiene buena posibilidad de actuar, y lo hará desde el momento en que el material original queda expuesto a la intemperie.

Para cumplir su acción, la meteorización debe atacar el conjunto de plagioclasas, piroxenos y anfíboles para convertirlos en minerales secundarios, tales como arcillas y cloritas. Es posible que, en ese caso, la meteorización actúe selectivamente en base a pequeñas diferencias químicas en la composición de las especies, pues los tres grupos de minerales, y en particular los dos últimos, presentan variaciones en su quimismo que pueden aumentar o disminuir su estabilidad. Tal vez con estudios químicos muy precisos, efectuados puntualmente sobre granos sedimentarios mediante la microsonda, se llegue alguna vez a verificar la importancia de las variaciones en la resistencia a la meteorización de las especies. De cualquier modo que sea, debe suponerse que esos tres grupos de minerales serán fácilmente meteorizados — según nuestro orden de estabilidad —, ya sea *in situ*, en los afloramientos de las rocas madres, o durante el transporte. De esta manera, la importancia numérica de esos minerales se reducirá enormemente pues pocas veces generarán clastos frescos susceptibles de ser transportados y depositados a grandes distancias.

El supuesto de que estos minerales se alterarán fácilmente está en manifiesta contradicción con los ejemplos que hemos comentado, en los cuales se advierte invariablemente una frescura notable de los clastos. Parecería, por lo tanto, que además de la disponibilidad, se requieren otras condiciones que aseguren la perpetuación de esas especies. Los estudios petrográficos sobre basaltos (Quartino, 1957; Andreis, 1965 *a*) y teschenitas (Teruggi, 1968), de edad oligocena-pleistocena los primeros y eocena las segundas, demuestran que esas rocas básicas han sido poco afectadas por la meteorización, pues salvo la olivina, sus componentes están normalmente frescos, en especial las plagioclasas y los piroxenos. Por otra parte, la sedimentología (Cortezzi *et al.*, 1968) de las gravas tehuelches (Pleistoceno inf.) y observaciones propias de los autores, han permitido constatar que los cantos rodados basálticos se extienden, junto con los otros componentes, desde el pie de la cordillera hasta las costas patagónicas sin

que sufran alteraciones apreciables; esto contrasta con el estado descompuesto de los cantos rodados graníticos.

Si bien la falta de alteración de basaltos y otras rocas básicas puede ser atribuida a controles estructurales (finura y trabazón de los componentes), es muy significativo que en la Patagonia, y en otras zonas áridas, los afloramientos y detritos de esa composición estén comúnmente frescos, en tanto que los correspondientes a rocas graníticas están descompuestos. Este fenómeno ya ha sido notado por Rondeau (1958), quien en base a sus observaciones en el Sahara ha llegado a la conclusión de que, bajo ese clima, las rocas básicas son más resistentes que las ácidas a la meteorización, y que las plagioclasas se alteran menos que los feldespatos potásicos.

Un autor que se ha ocupado muy recientemente de la estabilidad de feldespatos ha sido Todd (1968), quien estudió la Formación Domingine del Eoceno de California. Mediante el empleo de un método propio para comparar los grados de alteración en cortes delgados, el citado autor encuentra que la ortosa está más alterada que la microperitita, y ésta, a su vez, más que las plagioclasas ( $An_{37}$ ). Observaciones similares del mismo investigador sobre las Areniscas Modelo, del Mioceno superior de California, demuestran una relación inversa, pues la ortosa está más fresca que las plagioclasas. Alentado por estos hallazgos, Todd analizó las condiciones climáticas, topográficas e hidrogeológicas que imperaron en las zonas de proveniencia de los materiales de estas formaciones y, con el apoyo de la paleobotánica, determinó las posibles causas del comportamiento diferencial de los feldespatos. De esta modo, logró establecer que en el caso de las dos formaciones estudiadas imperó un clima húmedo, pero con diferencias en el grado de humedad, distribución de períodos de sequía, temperatura, etc. En consecuencia, los feldespatos serían indicadores paleoclimáticos, no sólo para las ya conocidas condiciones de aridez, sino para un análisis mucho más fino, pues según fueran las variables climáticas, unas especies se alterarían más fácilmente que otras, con gran flexibilidad en la marcha de las reacciones.

En su estudio, Todd (1968) ha logrado verificar que los feldespatos provienen de una misma roca madre, hecho éste muy importante, pues si se heredan de rocas distintas sus historias de meteorización y transporte pueden ser totalmente diferentes. En cambio, en el caso de los sedimentos argentinos se ha destacado que aparentemente los feldespatos potásicos provienen de rocas distintas de las que suminis-

traron las plagioclasas. No obstante esta limitación, lo sorprendente no es la abundancia de feldespatos en sí — que meramente reflejaría condiciones áridas —, sino el predominio de plagioclasas básicas a medias en excelente estado de frescura. No sólo esto, sino que estos minerales están asociados a un complejo de pesados (piroxenos y anfíboles) que normalmente se consideran aún más inestables que los feldespatos calcosódicos.

Este hecho singular, aunado al de las observaciones geológicas sobre el comportamiento de rocas básicas en regiones desérticas, autoriza a suponer que, bajo condiciones áridas o semiáridas, las plagioclasas, los piroxenos y los anfíboles presentan una resistencia a la meteorización muy superior a la que se puede deducir del orden de estabilidad. Incluso, cabe presumir que ese orden se invierte, de modo que las especies que figuran como inestables se tornan estables y viceversa. El orden de estabilidad "normal" funcionaría solamente en climas húmedos, y aun en ellos habría limitaciones que han sido muy bien puntualizadas por Todd (1968).

Es probable que en el establecimiento del orden de estabilidad haya quizá influido el hecho de que, en muchas regiones, los minerales detríticos provienen de rocas graníticas o metamórficas, por lo que el predominio sedimentario de sus minerales puede haber creado la falsa impresión de una elevada resistencia a la meteorización, cuando en realidad lo que se estaba apreciando era su mayor disponibilidad. Cuando las rocas madres son intermedias o básicas, el panorama resultante es o puede ser completamente distinto.

#### TRANSPORTE

Indudablemente, el transporte puede influir en la desaparición de especies inestables, ya que a lo largo de un recorrido extenso suelen quedar expuestas por largos períodos a la meteorización.

En el caso de la mayor parte de los sedimentos argentinos considerados, el transporte ha sido prolongado, pues las rocas madres se encuentran en el sector cordillerano, a unos 1.000 km de los sitios de depositación. Los tipos fundamentales del transporte han sido dos: el eólico y el fluvial (no consideramos aquí el transporte litoral de algunos sedimentos costeros). Como resultado de ellos, las especies inestables, o sea piroxenos y anfíboles, han adquirido un redondeamiento muy avanzado, que con frecuencia es excelente. Bajo control de su hábito cristalino, la augita adquiere formas ovoidales perfectas,



y el hipersteno da origen a clastos algo más alargado que semejan habanos. En cuanto a los escasos clastos de olivina fresca, aparecen como esferillas. Los anfíboles están también muy redondeados, aunque por su forma primitiva y la influencia del clivaje sus contornos pueden ser más variados. En lo que se refiere a los minerales livianos, el mejor redondeamiento se encuentra casi siempre en las plagioclasas, luego en la ortosa, después en el microclino y finalmente en el cuarzo. (Compárese lámina I).

El redondeamiento es una propiedad morfológica que normalmente no se asocia con especies inestables, ya que éstas deberían ser destruidos por alteración antes de alcanzar una marcada redondez. Sin embargo, en los sedimentos argentinos, el transporte ha logrado imprimir su sello distintivo, sin que la alteración haya afectado a las especies. Como resultado, se produce una aparente paradoja: sedimentos que texturalmente son muy maduros y que mineralógicamente resultan inmaduros.

Es evidente, entonces, que la alteración meteórica ha sido inhibida o reducida a un mínimo, por lo que la atrición del transporte ha logrado actuar en forma amplia. Dicho de otra manera: bajo condiciones de aridez, los minerales inestables no difieren de los estables en lo que se refiere a su capacidad de pasar por los ciclos sedimentarios y redondearse al máximo. Nosotros hemos podido establecer que muchos de los clastos ovoidales piroxénicos de redondeamiento perfecto han cumplido varios ciclos, pues se los ha hallado en sedimentos pliocenos, cuaternarios y actuales con idénticas características morfológicas y sin señales de alteración. Sólo en las proximidades de las rocas madres, en la región cordillerana, los detritos derivados de ellas tienen clastos más o menos angulosos.

#### DIAGÉNESIS

Se posee escasa información sobre las alteraciones en sus ambientes de depositación que pueden haber sufrido los minerales inestables que venimos considerando.

Los estudios realizados sobre las rocas madres de los suelos y sobre los suelos derivados en el perfil de Buenos Aires a Mendoza (Etchichury y Remiro, 1968) han demostrado que, en la fracción arena los procesos edáficos han ejercido una acción insignificante en la descomposición de las abundantes especies inestables. La mineralogía de los distintos horizontes edáficos no sufre variaciones verticales ni se observan señales evidentes de ataque químico sobre los clastos.

Por otro lado, pareciera que la diagénesis tampoco ha ejercido su acción, ya que no se ven señales de corrosión. Empero, se han encontrado numerosos individuos de piroxeno con los extremos aserrados o, si no, fragmentos recortados por entrantes y salientes derivadas del control impuesto por el clivaje. En las interpretaciones corrientes (Edelman y Doeglas, 1931; Pettijohn, 1957), tales formas se citan como pruebas de la actividad de la disolución intrastratal. Sin embargo, el estudio de materiales piroclásticos, ya sean cenizas volcánicas (Di Lorenzo y Remiro, 1960) o tobas (Teruggi, 1946), ha permitido comprobar que muchos clastos de extremos aserrados o limitados por entrantes y salientes agudos provienen simplemente de la fragmentación producida por la explosión volcánica. Como muchos sedimentos argentinos han tenido una participación piroclástica, consideramos que buena parte de esas formas de clastos provienen de ese material y no de la disolución intrastatal. Sin embargo, Andreis (estudio inédito) ha registrado la concentración de formas aserradas en áreas restringidas de los afloramientos de la Formación Río Negro, lo que tal vez pueda considerarse un efecto de dicha disolución.

Es evidente, entonces, que el problema de la disolución intrastatal debe analizarse con suma cautela, a causa del riesgo que implica el confundir efectos mecánicos con efectos químicos. Hace ya más de un cuarto de siglo que Krynine (1952) señaló el carácter "limitado, local y errático" de este proceso, que por otra parte no puede actuar en ambientes "sellados" o impermeables, como lo destacara adecuadamente Milner (1962).

#### CONCLUSIONES

La revisión precedente ha tocado una serie de cuestiones de gran importancia para la correcta interpretación de la génesis de formaciones sedimentarias. Las principales conclusiones que se pueden obtener son las siguientes:

1<sup>a</sup> Existen formaciones sedimentarias de tipo continental, menos comúnmente marinas, cuya composición mineralógica, en lugar de reflejar la persistencia de especies estables (cuarzo, feldespatos potásicos, micas), se caracteriza por la presencia de minerales inestables (plagioclasas, piroxenos, anfíboles).

2<sup>a</sup> Las formaciones con minerales inestables abundantes tienen rocas madres que son básicas (basaltos y andesitas), por lo que su com-

posición queda parcialmente explicada por la disponibilidad de los materiales heredados.

3ª Las rocas madres consideradas se encuentran en regiones áridas o semiáridas, y buena parte del transporte se ha cumplido bajo esas condiciones climáticas. En muchos casos, la misma depositación se ha efectuado en ambientes relativamente secos.

4ª La abundancia de especies inestables puede considerarse como el resultado del par genético disponibilidad-clima.

5ª El clima árido favorece decididamente la preservación de los feldespatos, como ya se postulara en el siglo pasado.

6ª El orden de estabilidad de los minerales comunes de las rocas parece variar según las condiciones climáticas. Las secuencias de estabilidad propuestas son aplicables a los climas húmedos, pero en condiciones de aridez el orden aparente se invierte, con la consiguiente persistencia de las especies consideradas inestables. De este modo, las plagioclasas medias o básicas resultan más resistentes a la meteorización que los feldespatos potásicos.

7ª La inversión en el orden de estabilidad de los feldespatos puede ocurrir aun en climas húmedos, siempre que difieran en otras características (Todd, 1968).

8ª Los piroxenos y anfíboles pueden sufrir transportes muy largos sin que se manifieste alteración, bajo esas condiciones climáticas.

9ª La redondez afecta tanto a especies estables como inestables, y en consecuencia la madurez textural puede ser independiente de la madurez mineralógica.

10ª Algunas acciones diagenéticas, entre otras la disolución intras-tratal, merecen ser estudiadas con gran cuidado, pues pueden ser de otros orígenes.

Las conclusiones obtenidas, replantean, por lo tanto, el problema de la estabilidad mineral, que parece ser mucho más complejo de lo que se podría suponer en primera impresión.

En nuestro enfoque, nos hemos limitado exclusivamente a los minerales formadores de rocas ígneas, dejando de lado el tratamiento de los accesorios que figuran el cuadro II, en particular los minerales opacos que caracterizan muchas formaciones. No creemos hallarnos en condiciones de encarar esta importante cuestión, dado que la determinación de esas especies en la práctica sedimentológica corriente suele ser solamente aproximada. Se requieren, por lo tanto, estudios más precisos antes de intentar generalizaciones sobre su posible estabilidad.

Tampoco nos hemos detenido a analizar la influencia topográfica, aunque la observación actual parece demostrar que ha sido poco importante, ya que en la mayoría de los casos comentados el transporte se ha efectuado a través de amplias superficies planas —llanuras o mesetas— y no en paisajes montañosos.

Notará el lector que buena parte de las formaciones que hemos descrito pertenecen al Cuaternario o al Terciario. Ello se debe a que se cuenta con escasa información, en la Argentina, sobre la mineralogía de sedimentitas más antiguas. Los pocos datos que hemos ofrecido sobre formaciones mesozoicas parecen demostrar que las plagioclasas no son afectadas por la mayor edad de los depósitos, pero en cambio los piroxenos se hacen menos abundantes. Ello puede atribuirse a una disponibilidad distinta —ausencia de rocas madres básicas— o a su incapacidad de persistencia. De cualquier modo que sea, nuestras conclusiones resultan plenamente válidas para la sedimentación que se extiende desde comienzos del Cenozoico hasta el presente.

Futuras investigaciones —ya contempladas— permitirán ampliar nuestro panorama con la inclusión de formaciones mesozoicas y paleozoicas, cuyo estudio servirá para considerar más adecuadamente la acción del tiempo sobre la estabilidad de los minerales sedimentarios.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANDREIS, R. R. (1961). Estudio petrográfico de testigos de la Formación Petrolífera de varias comarcas del flanco austral de la cuenca Neuquina (provincia de Neuquén). — *Inéd. Mus. La Plata*, Sed. n.º 3.
- (1964). Petrología del Grupo eodevónico de Lolén. Sierras Australes (Provincia de Buenos Aires). — *An. Com. Invest. Cient. Bs. As.*, vol. V, 79-124.
- (1965). Petrografía y paleocorrientes de la Formación Río Negro (tramo General Conesa-boca del río Negro). — *Rev. Mus. La Plata*, t. V, Geol. n.º 36, 245-310.
- (1965 a). Los basaltos de Sierra Cuadrada (Chubut). — *Acta Geol. Lilloana*, t. VI, 13-33. Tucumán. (t. II, II Jorn. Geol. Arg.).
- BARTON, D. C. (1916). Geological significance and genetic classification of arkose deposits. — *Jour. Geol.*, vol. 24, 417-449.
- BERCOWSKI, F. (1967). Estudio sedimentológico de las arenas actuales de la costa del Río de la Plata. — *Inéd.*, tesis lic., Fac. Cienc. Ex. Nat., Univ. Bs. As.
- BLATT, H. (1967). Provenance determination and recycling of sediments. — *Jour. Sed. Petrol.*, vol. 37, n.º 4, 1031-1044.
- BOSSI, G. E. y SIEGEL, F. R. (1965). Nota preliminar sobre la arcilla de la Formación Río Salí, provincia de Tucumán, Argentina. — *II Jorn. Geol. Arg.*, Tucumán (1963), t. III, 23-28.

- BOWEN, N. L. (1928). The evolution of the igneous rocks. — *Princeton Univ. Press*, Princeton, USA.
- BREWER, R. (1964). Fabric and mineral analysis of soils. — 470 pp. J. Wiley & Sons, New York.
- BUSCAGLIA, E. J. (1957). Estudio de los sedimentos del Río de la Plata, entre las desembocaduras del Paraná Guazú y el Paraná de las Palmas. — *Inéd. Tesis Mus. La Plata*, n° 238.
- CORTELEZZI, C. R., DE FRANCESCO, F. O. y DE SALVO, O. E. (1968). Estudio de las gravas Tehuelches en la región comprendida entre el río Negro y el río Colorado, desde la costa atlántica hasta la Cordillera. — *Actas III Jorn. Geol. Arg.*, Comod. Rivadavia, t. III, 123-145.
- CHAAR, E. (1957). Los sedimentos del fondo del río de la Plata, en la zona comprendida entre el río Paraná de Las Palmas y Puerto Nuevo. — *Inéd. Tesis Mus. La Plata*, n° 239.
- DI LORENZO, M. C. E. DE y REMIRO, J. R. (1960). Estudio de la arena volcánica caída en mayo de 1960 en Valdivia (Chile) y San Carlos de Bariloche (Argentina). — *Mus. Arg. Cienc. Nat.*, «B. Rivadavia», Cienc. Geol., t. I, n° 18, 1-17.
- DRYDEN, L. y DRYDEN, C. (1946). Comparative rates of weathering of some common heavy minerals. — *Jour. Sed. Petrol.*, vol. 16, 91-96.
- EDELMAN, C. H. y DORGLAS, D. J. (1931). Relikstrukturen detritischer Pyroxene und Amphibole. — *Mineralog. petrog. Mitt.*, vol. 42, 482-490.
- ETCHICHURY, M. C. y REMIRO, J. R. (1960). Muestras de fondo de la plataforma continental. — *Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat.* «B. Rivadavia», Cienc. Geol., t. VI, n° 4, 197-263.
- (1968). Mineralogía de los horizontes de suelos en el perfil de Buenos Aires-Mendoza. — *Inf. Inéd. CNICT*, Bs. As.
- FAIRBRIDGE, R. W. (1967). Phases of diagenesis and authigenesis, in Diagenesis in Sediments. — *Developments in Sedimentology*, n° 8, cap. II, 19-90. Elsevier.
- FIELDS, M. y SWINDALE, L. D. (1954). Chemical weathering of silicates in soil formation. — *N. Z. Jour. Sci. Tech.*, vol. 36 B, 140-154.
- GOLDICH, S. S. (1938). A study in rock weathering. — *Jour. Geol.*, vol. 46, 17-58.
- GONZÁLEZ BONORINO, F. (1944). Descripción geológica y petrográfica de la Hoja 41 b-Río Foyel (Territorio de Río Negro). — *Bol. Dir. Min. Geol. Hidrol.*, n° 56, 124 pp.
- (1950). Descripción geológica y petrográfica de las Hojas 12 d — Capillitas — y 13 d — Andalgalá — (Provincia de Catamarca). — *Bol. Dir. Nac. Geol. Min.*, n° 70, 160 pp.
- GRAHAM, E. R. (1950). The plagioclase feldspars as an index to soil weathering. — *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, vol. 14, 300.
- HARRISON, J. P. (1933). The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions. — *Imperial Bur. Soil Sci. Herpenden*, 79 pp. (citado por Blatt, H., 1967).
- HAY, R. L. (1957). Mineral alteration in rocks of Middle Eocene Age, Absaroka Range, Wyoming. — *Jour. Sed. Petrol.*, vol. 27, n° 1, 32-40.
- ILLER, R. K. (1955). The colloid chemistry of silica and silicates. — *Cornell Univ. Press*, Ithaca.

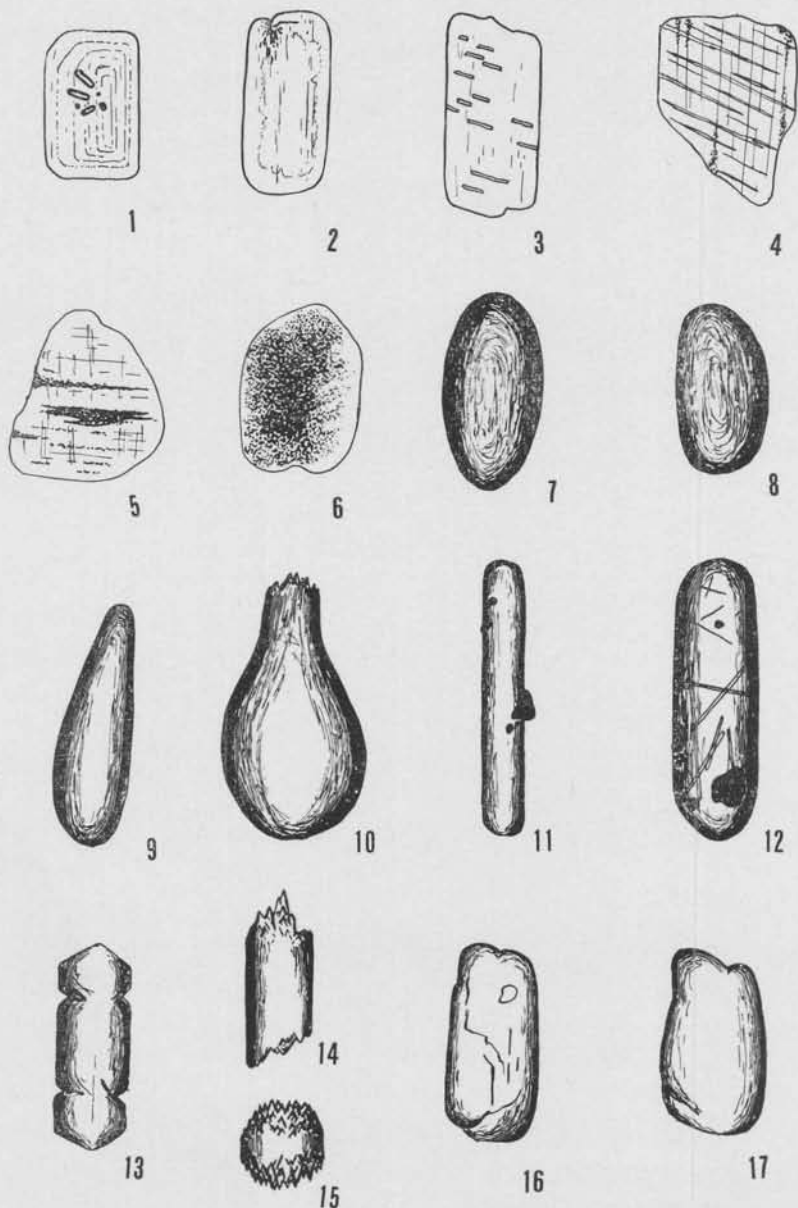
- JACKSON, M. L. y SHERMAN, G. D. (1953). Chemical weathering of minerals in soils. — *Advan. Agron.*, vol. 5, 219-318.
- JUDD, J. W. (1885). Report on a series of specimens of the deposits of Nile Delta, obtained by the recent boring operation. — *Proc. Roy. Soc. London*, vol. 39, 213-227.
- KRAUSKOPF, K. B. (1967). Introduction to geochemistry. — McGraw-Hill Book Co., 721 pp.
- KRYNINE, P. D. (1935). Arkose deposits in humid climates. A study in sedimentation in Southern Mexico. — *Am. Jour. Sci.*, Ser. 5, vol. 29, 353-363.
- (1912). Provenance versus mineral stability as a controlling factor in the composition of sediments (Abstract). — *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 53, n° 12, part 2, 1850-1851.
- LERBEKMO, J. F. (1963). Petrology of the Belly River Formation, Southern Alberta Foothills. — *Sedimentology*, vol. 2, n° 1, 54-86.
- LIMOUSIN, T. A. (1956). Los sedimentos psammíticos actuales de la región costanera entre Faro Recalada y Puente Asunción (provincia de Buenos Aires). — *Inéd.*, Tesis Mus. La Plata, n° 234.
- MACKIE, W. (1898). The sands and sandstones of Eastern Moray. — *Trans. Edinburgh Geol. Soc.*, vol. 7, 148-172.
- (1899). The feldspars present in sedimentary rocks as indicators of contemporaneous climates. — *Trans. Edinburgh Geol. Soc.*, vol. 7, 443-468.
- MAREL, H. W. (1953). Citado por Jackson, M. L. y Sherman, G. D. (1953).
- MARSHALL, C. E. (1954). The physical chemistry and mineralogy of soils. Vol. I. Soil materials. — J. Wiley & Sons, 388 pp.
- MARTENS, J. H. (1929). The mineral composition of some sands from Quebec, Labrador and Greenland. — *Field Mus. Nat. Hist.*, Publ. 260.
- MAURIÑO, V. E. (1956). Los sedimentos psammíticos actuales de la región costera comprendida entre Faro Recalada y Faro Monte Hermoso. — *LEMIT*, Publ. II, n° 61, 35 pp.
- MAURIÑO, V. E. y LIMOUSIN, T. A. (1962). Los sedimentos del Partido de Junín, Provincia de Junín. — *An. I Jorn. Geol. Arg.*, t. II, 203-226, Salta (1960).
- MILNER, H. B. (1962). Sedimentary Petrography. — Vol. II, 715 pp.; G. Allen & Unwin, Londres.
- MILLOT, G. (1964). Géologie des argilles. — 499 pp., Masson & Cie., París.
- MUFFLER, L. J. P. y DOE, B. R. (1968). Composition and mean age of detritus of the Colorado River Delta in the Salton Trough, Southern California. — *Jour. Sed. Petr.*, vol. 38, n° 2, 384-399.
- MUHLMANN, M. M. (1943). Estudio de las arenas de la República Argentina. — *Inéd.*, Tesis Mus. La Plata, n° 50.
- PETITJOHN, F. J. (1941). Persistence of heavy minerals and geologic age. — *Jour. Geol.*, vol. 49, 610-625.
- (1957). Sedimentary rocks. — 2d. Ed., Harper & Bros., New York.
- PLUMLEY, W. J. (1948). Black Hills terrace gravels: a study in sediment transport. — *Jour. Geol.*, vol. 56, 526-577.
- QUARTINO, B. (1957). El basalto olivínico del cerro El Pedrero, Chubut. — *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, t. 12, n° 4, 233-264.
- RAAM, A. (1968). Petrology and diagenesis of Broughton Sandstone (Permian), Kiama District, New South Wales. — *Jour. Sed. Petr.*, vol. 38, n° 2, 319-331.

- RAESIDE, J. D. (1959). Stability of index minerals in soils with particular reference to quartz, zircon and garnet. — *Jour. Sed. Petr.*, vol. 29, n° 4, 493-502.
- REED, R. D. (1928). The occurrence of feldspar in California sandstones. — *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, vol. 12, 1023-1024.
- REICHE, P. (1950). A survey of weathering processes and products. — *Univ. New Mexico, Pub. Geol.*, n° 3, 53 pp.
- RONDEAU, A. (1958). Géomorphologie et Géochemie. — *Bull. Ass. Géogr. Fr.*, vol. 271, 17-23; *C. R. Soc. Geol. Fr.*, vol. 13, 288-290.
- ROSSETTO, H. (1953). Contribución al conocimiento psammográfico de los médanos de la zona oriental del Partido de Villarino, provincia de Buenos Aires. — *Inéd.*, *Tesis Mus. La Plata*, n° 207.
- RUSSELL, R. D. (1937). Mineral composition of Mississippi River sands. — *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 48, 1307-1348.
- RUKHIN, L. B. (1958). Grundzüge der Lithologie. — *Akad. Verlag*, Berlín, 806 pp.
- SINDOWSKI, F. K. A. (1944). Results and problems of heavy mineral analysis in Germany: a review of sedimentary petrological papers. — *Jour. Sed. Petr.*, vol. 19, n° 1, 325.
- SMITHSON, F. (1941). Alteration of the detrital minerals in the Mesozoic rocks of Yorkshire. — *Geol. Mag.*, vol. 78, 97-112.
- TERUGGI, M. E. (1946). Contribución al conocimiento petrográfico de las cenizas volcánicas del Terciario superior y Cuaternario de la República Argentina. — *Inéd.*, *Tesis Mus. La Plata*, n° 90.
- (1949). Contribución a la psammografía argentina: las arenas de la zona de Mar de Ajó (Provincia de Buenos Aires). — *Not. Mus. La Plata, Geol.* n° 11, 419-441.
- (1954). Características granulométricas y mineralógicas de algunos fangos marinos del Golfo San Jorge (República Argentina). — *Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat. « B. Rivadavia »*, Cienc. Geol., t. III, 229-246.
- (1957). The nature and origin of Argentine Loess. — *Jour. Sed. Petr.*, vol. 27, 322-332.
- (1964). Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre Bahía Blanca y Río Negro. — *LEMIT*, ser. 2, n° 81, 54 pp.
- (1968). Differentiated zeolite- and nepheline-syenites in basic sills of central Patagonia. — *Reports XXII Int. Geol. Congress*, Part VII, Session VII, 22-34; New Delhi. (1968).
- TERUGGI, M. E., ETCHICHURY, M. C. y REMIRO, J. R. (1957). Estudio sedimentológico de los terrenos de las barrancas de la zona Mar del Plata-Miramar. — *Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat. « B. Rivadavia »*, Cienc. Geol., t. IV, n° 2, 165-250.
- (1959.) Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca. — *Publ. LEMIT*, ser. II, n° 77.
- TERUGGI, M. E., ROSSETTO, H. (1963). Petrología del Chubutiano del Codo del río Senguerr. — *Bol. Inf. Petrol.*, n° 354, 18-35.
- TERUGGI, M. E., ANDREIS, R. R., IÑIGUEZ RODRÍGUEZ, A. M., ABAIT, J. P., MAZZONI, M. M. y SPALLETI, L. A. (1967). Sedimentology of the Paganzo Beds at Cerro Guandacol, Province of La Rioja. — *I Simp. Intern. Geol. Paleont. Gondwana*, Section III, 857-880, Unesco, París.

- TERUGGI, M. E. y ANDREIS, R. R. (1968). Mineralogía de las rocas madres de los suelos en un perfil entre Buenos Aires y Mendoza. — *Inéd. Inf. CNICT*, Bs. As.
- TODD, T. W. (1968). Paleoclimatology and the relative stability of feldspars minerals under atmospheric conditions. — *Jour. Sed. Petr.*, vol. 38, n° 3, 832-844.
- WEYL, R. (1952). Studies of heavy of minerals in soil profiles. — *Z. Pfl. Ernhr. Dung., Bodenkunde*, vol. 57, 135-141. (Citado por Brewer, R.).
- WILLIAMS, H., TURNER, F. J. and GILBERT, C. M. (1955). Petrography. An introduction to the study of rocks in thin sections. — 406 pp., W. H. Freeman and Co., San Francisco, USA.
- WILLMAN, H. B. (1912). Feldspar in Illinois sands. — *Illinois State, Geol. Survey, Rept. Invest.*, n° 79.

La Plata, 13 de octubre de 1969.





*Aspecto típico de granos minerales en sedimentos argentinos. 1-3: plagioclasas redondeadas; 4: microclino-microperthita; 5: microclino, con ligera alteración; 6: ortosa fuertemente alterada; 7-8: ovoides de augita; 9: augita prismática redondeada; 10: augita globosa, con cuello fracturado; 11-12: prismas redondeados (habanos) de hipersteno; 13: grano de hipersteno con entrantes; 14-15: prismas fragmentados de hipersteno (pseudo-disolución intrastratal); 16-17: hornblendas redondeadas. Ejemplos tomados de las Formaciones Río Negro y Petrolífera y de rocas madre de suelos entre Buenos Aires y Malargüe (Mendoza). Dibujos a escala; aumento: 125 X.*