

SOBRE LA DETERMINACION  
DE  
LAS PLAGIOCLASAS POR LA MEDIDA DEL ANGULO DE EXTINCION  $\alpha'$ : M\*  
EN SECCIONES PERPENDICULARES AL EJE CRISTALOGRAFICO  $a$

POR FRANCO PASTORE

---

RESUMEN

En el presente trabajo el autor se refiere al método empleado corrientemente para determinar las plagioclasas por la medida del ángulo de extinción  $\alpha'$  que se obtiene en secciones perpendiculares al eje cristalográfico  $a$ , con el fin de dar un conocimiento acabado del mismo, ya que en general el presente método se encuentra hasta ahora insuficientemente explicado.

El profesor Friedrich Becke, de Viena, que se destacó al comienzo de este siglo por sus importantes estudios mineralógicos y petrográficos, con aplicación de especiales métodos microscópicos, dió gran número de datos ópticos fundamentales, particularmente sobre las plagioclasas, empleando muestras previamente sometidas al análisis químico cuantitativo y libres de potasio. Con esos materiales experimentó y describió las posibilidades de determinación del contenido de anortita por diversos procedimientos aplicables los más a secciones de determinados planos del cristal, las cuales deben ser encontradas y reconocidas en las preparaciones comunes de las rocas<sup>1</sup>. Una entre las varias técnicas buenas, que él mismo señaló como especialmente fácil y de claros y precisos resultados, se basa en la medida del ángulo de extinción que se obtiene en secciones perpendiculares al eje cristalográfico  $a$ . Su aplicación se ha vuelto tan práctica y común que suele denominarse el método de Becke. Considerando que es ésta

\* M es la antigua y conocida designación de la cara del segundo pinacoide (010); así como la del tercero (001) se señalaba con la letra P.

<sup>1</sup> F. BECKE, *Zur Physiographie der Gemengteile der krystallinen Schiefer* Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathem.-naturw. Klasse. Bd. 75 I. Halbbd. Viena, 1913.

la primera técnica simple y rápida, de utilidad general, que conviene aprender y aplicar para la definición elemental de la composición de la plagioclasa cuando se describe una roca, insisto una vez más en la bondad y conveniencia del procedimiento, y dado que las ocasionales explicaciones parciales resultan siempre insuficientes, porque forman parte de un conjunto de relaciones que hace necesario verlo todo, repetiré la descripción y receta, con detalles de aclaración y convencimiento que no se hallan en ningún libro, que yo sepa: el mismo profesor Becke no se extendió en aclaraciones convenientes, pues lo publicado al respecto, como IIIª Sección, componente del "I. Halbband" del tomo 75 en 1913, obra citada, es la comunicación que había presentado a la academia vienesa en julio de 1906. La explicable brevedad de su exposición ha sido el motivo por el cual en la práctica del método se originan dudas que a mí, como a todos, me hacían tambalear, debiendo a veces buscar posibles apoyos. En dichos detalles, cuya noción hay que refrescar, se ven los factores que salvan las dudas. Si con las varias indicaciones y advertencias oportunamente aprovechadas, nuestras operaciones determinativas de las plagioclasas no tendrán en adelante inconvenientes, habré conformado a mis colegas de estudio, y hasta se me ocurre que puede ganar también en cierto grado el crédito de las determinaciones practicadas en mis descripciones de las rocas. El doble beneficio compensará el trabajo de exponer con la claridad posible lo que sigue y la paciencia con que hay que leerlo.

Las mencionadas secciones feldespáticas son a la vez perpendiculares al segundo (010) y al tercer pinacoide (001). En las rocas en que la plagioclasa ha alcanzado completo crecimiento (fenocristales), las secciones de que tratamos suelen llamar la atención por su contorno cuadrilátero y es frecuente un desarrollo casi igual de ambos pinacoides. Las trazas de la macla de la albita son paralelas al segundo pinacoide. Las de las tablitas del periclino, si las hay en la sección, son paralelas al tercero; lo son también las finas trazas del clivaje perfecto (001).

Por consiguiente, aun en las condiciones de muy deficiente limitación, cualquiera sea el contorno de la plagioclasa, es fácil reconocer cortes de la orientación referida. Si éstos muestran trazas de las dos maclas, ambas deben verse con los límites de sus tablitas nítidos, aunque es bueno recordar que siendo la del periclino una macla de plano bastante variable según la composición más o menos cálcica, su traza en el corte es fija, pero la línea puede presentar una finura y nitidez relativa. La sección de perpendicularidad al eje *a* más aproximada puede rectificar algo el valor angular de extinción que dan otras de menor exactitud; pero la corrección que resulta es siempre

pequeña, de modo que, si no hay varias para proceder con selección, puede también servir la medida de una sola sección de orientación apenas aproximada. Esta apreciación, que de primera idea puede parecer exagerada, es consecuencia de relaciones geométricas. La simple experiencia de medida en cuatro o cinco secciones de la misma preparación microscópica (que no revelen variación zonal) demuestra la pequeña diferencia causada por defecto de la orientación.

El sistema de las tablitas de la albita forma siempre ángulo agudo con la línea de su extinción  $\alpha'$ ; los individuos suelen ser largos y numerosos, mientras que los de la ley del periclino, menos común, son generalmente pocos y no se prolongan de parte a parte de la sección feldespática. Pero ocurre algunas veces, en las rocas metamórficas, que la macla del periclino presenta las cualidades de frecuencia y longitud de individuos que casi invariablemente caracterizan a la de la albita, y ésta a su vez aparece allí escasa y de tablas cortas, tanto, que su aspecto induce a creer que se trate de la ley del periclino. La confusión puede resultar entonces grave.

En los casos de duda, para identificar con seguridad la macla de la albita, se prueba también que su posición es cruzada respecto al plano de los ejes ópticos. Para ese fin se obtiene la figura de interferencia, que siempre resulta buena porque estas secciones normales a  $a$  son también casi perpendiculares a la bisectriz  $\alpha$  (índice mínimo del cristal). Luego se disponen los ejes ópticos en una posición diagonal, y sin mover la platina, se retira la lentecita de Bertrand, lo que hace ver que las tablitas de la albita ocupan los cuadrantes opuestos a los del plano de los ejes.

Cuando, como ocurre con mucha frecuencia, una sección de plagioclasea linda y transparente presenta nítidas las tablitas de la albita, y le faltan las del periclino, sirven en substitución de éstas, y con mayor precisión, las pequeñas y finas trazas del clivaje perfecto (001) que corresponden a su misma dirección. Entonces ellas se pueden ver nítidas conjuntamente con las líneas límites de las tablitas de la albita. En cortes tan favorables es fácil reconocer que, si tienen la orientación óptima, ambas trazas no sufren desplazamientos laterales al subir o bajar un poquito el tubo del microscopio, prueba positiva de la verdadera perpendicularidad al eje cristalográfico  $a$ . En tal condición precisa, todas las tablas de la albita (pares e impares) tienen igual grado de iluminación en una posición normal (paralela a un hilo del retículo) y también cuando se llevan exactamente a  $45^\circ$ ; además si las tablas pares se extinguen girando por ejemplo  $10^\circ$  hacia la izquierda del hilo vertical, las impares se extinguen simétricamente  $10^\circ$  a la derecha. Por eso se produce dicha igual iluminación. La uniformidad luminosa de los dos sistemas de individuos, que espe-

cialmente en la posición diagonal llega hasta la desaparición de los límites de macla, demuestra que no se halla interpuesta una asociación de Carlsbad (que aparece algunas veces) porque sus individuos contrastarían por la desobediencia a las relaciones ópticas indicadas, por sus límites más o menos difusos motivados por un plano de macla con frecuencia variable y también de traza imperfecta, revelando la conveniencia de dejarla de lado por inservible<sup>1</sup>. Recuérdese que cuando a falta de mejor hay que conformarse con alguna sección de perpendicularidad deficiente, el resultado óptico será un ángulo de extinción que difiere bien poco del valor experimental correspondiente al feldespato de que se trata: No obstante, insistir en una orientación precisa sería recomendable en los casos de las plagioclasas más cálcicas, que dan ángulos de extinción superiores a  $+30^\circ$ , a causa de la menor sensibilidad determinativa de la parte final de la curva de Becke, pues ella sube más lentamente, lo que no ocurre en su extensión principal, cuyo recorrido es tan ascendente y diagonal que por cada grado angular acusa un aumento de poco menos que 1 % de anortita.

Para la medida del ángulo de extinción  $\alpha':(010)$ , es decir, a la traza de M, que es también la de la macla de la albita, hay que poner dicha traza en coincidencia con el hilo vertical del retículo, leer y apuntar el grado que está frente al cero del nonius, luego *hacer girar la platina hacia la izquierda*, los pocos grados necesarios para tener una o más tablitas en plena extinción, operación atentamente repetida con cuidadosa sensibilidad, localizada en la tabla elegida, y aun en sus lugares de visibilidad mejor, y entonces volver a leer y anotar como antes el grado correspondiente; la diferencia, es el ángulo de extinción. Después, se puede probar que es la línea  $\alpha'$  la que coincide con el hilo vertical del retículo en la situación de extinción realizada; para ello se necesita llevar esta línea (que no se ve) a los cuadrantes que acostumbramos llamar 2 y 4, que es como decir NE y SO, girando la platina, *de donde está*,  $45^\circ$  hacia la derecha; colocar la lámina de yeso y verificar que la coloración resulta amarilla (indicio de que a  $\gamma$  del yeso le corresponde el índice menor de la sección del feldespato,  $\alpha'$ ).

La curva de las extinciones para las secciones perpendiculares a  $\alpha$ , trazada por Becke y confirmada por la revisión que efectuaron Duparc

<sup>1</sup> Otras maclas acompañantes o de asociación compleja son extraordinariamente raras y pueden eventualmente desecharse. Importante y muy recomendable es informarse en los textos cómo son las maclas del periclino, aclino, Manebach y Baveno.

y Reinhard<sup>1</sup>, reproducida más o menos fielmente en los textos, da según los ángulos de extinción medidos, el contenido de anortita.

*Aclaraciones necesarias y observaciones.* — De acuerdo con la indicación precedente, la pequeña rotación de extinción se hizo *a la izquierda*; a ese lado del campo visual quedó inclinado el conjunto de las tablas de macla, y la línea de extinción  $\alpha'$ , perteneciente a la linda tabla bien oscurecida, coincide con el hilo vertical del retículo (ella es invisible, pero de existencia demostrable por el yeso como está dicho). Por convención se aplica el signo  $+$  al ángulo de extinción medido, cuando después de dicha operación, la situación resultante es la que acabamos de señalar; por ella podría decirse que si tuviésemos que ir de la tabla extinguida, al hilo vertical del retículo (= línea  $\alpha'$ ) habría que andar en el sentido de las agujas del reloj.

El procedimiento explicado, de operar con las tablas llevadas a la extinción izquierda, es requerido por las plagioclasas de la gran mayoría de las rocas. El valor de los referidos ángulos de extinción de signo  $+$  crece si sube el contenido de la molécula cálcica, hasta  $+45^\circ$ , que corresponde a la anortita 100 %, y decrece si disminuye la proporción de esta molécula. Cuando sucede que la plagioclasa contiene sólo 20,5 % de anortita, el ángulo de extinción se ha reducido a  $0^\circ$ , las tablitas en extinción son ahora todas (pares e impares); estando paralelas al hilo vertical, no hay ángulo que medir, se ahorra el trabajo, y ya se sabe que la composición es la expresada. Esto llega a verse en algunas micacitas y filitas, aplitas, pegmatitas y otras rocas ígneas ácidas.

Plagioclasas aun más albíticas son excepcionales en las rocas ígneas de la serie normal. Con tales feldespatos, siguiendo la técnica de Becke, la pequeña rotación para la extinción  $\alpha'$  tiene que realizarse al revés del caso general, dado que el ángulo que ha pasado por  $0^\circ$ , crece del lado contrario. Las tablitas quedan entonces giradas a la derecha del hilo vertical y dan ángulos de extinción de valores pequeños, entre 1 y 15 grados. Como en esta segunda situación, el camino a recorrer para ir de la tabla extinguida al hilo vertical (línea  $\alpha'$ ) tendría sentido contrario al del reloj, se aplica al ángulo de extinción el signo  $-$ .

Las rocas con plagioclasas muy albíticas se presentan raramente; ejemplos, algunas ígneas ácidas y alcalinas (ricas en  $\text{Na}_2\text{O}$ ), sean éstas graníticas, apliticas, sieníticas o liparíticas, traquíticas y fono-

<sup>1</sup> L. DUPARC-M. REINHARD, *La détermination des plagioclasses dans les coupes minces*. Mémoires de la Société de Physique et D'Histoire Naturelle de Genève. Vol. 40. Fasc. 1. 1924.

líticas. A veces la albita misma (con menos de 10 % de An) se halla en productos hidrotermales de contacto, y finalmente es posible su formación como mineral secundario debido a procesos de alteración, dentro de una plagioclasa básica; todo lo cual se presenta por efecto de factores especiales y muy rara vez.

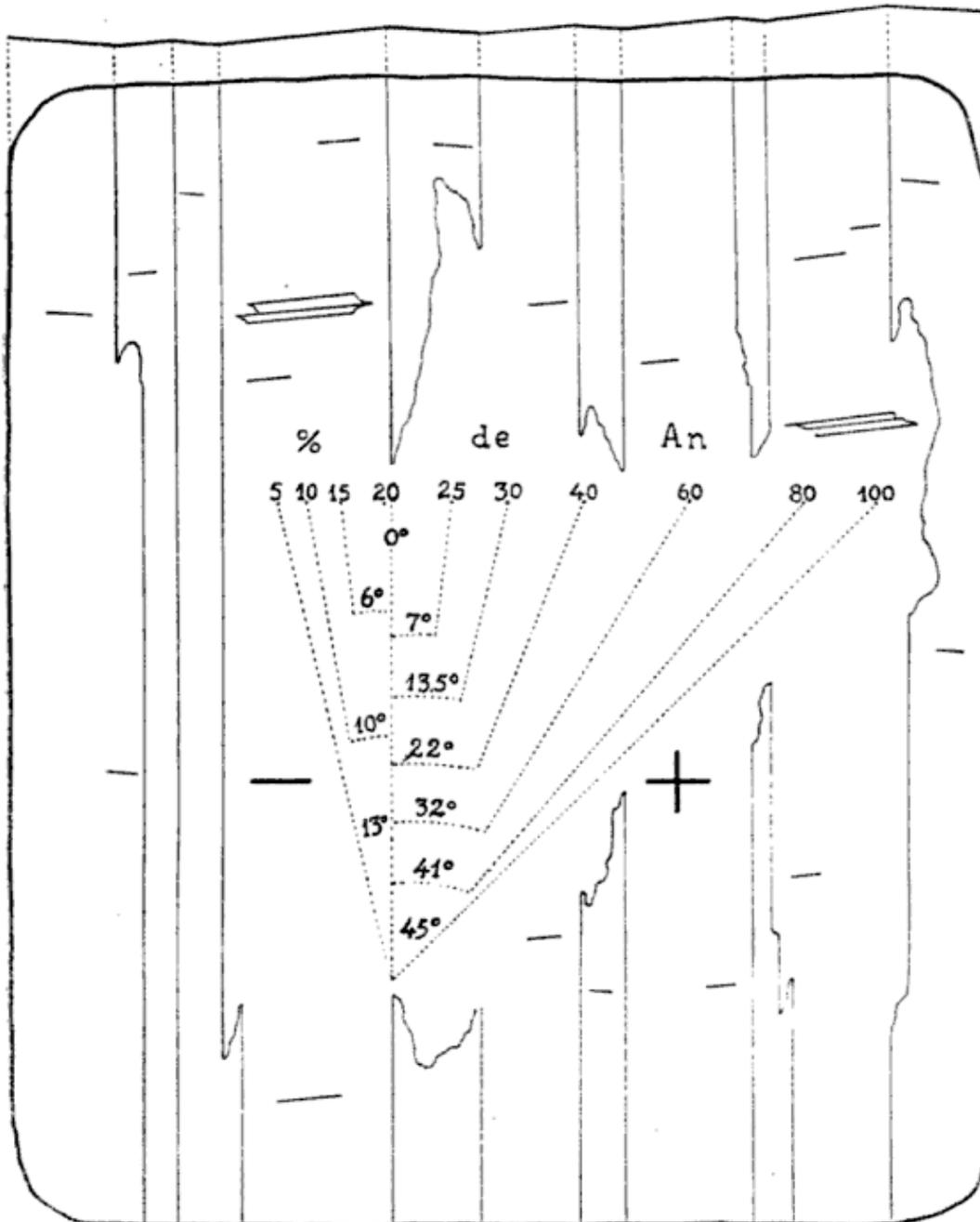


Fig. 1.—Esquema de una sección de plagioclasa.

Prácticamente es, pues, el procedimiento de la extinción a la izquierda del retículo el que corresponde realizar, es decir, el de los valores angulares positivos. Esto tiene la importante ventaja de que, salvo las excepciones albíticas, la rotación para la extinción a medir

se efectúa siempre del mismo lado, y entonces, sin dudas ni temores, se la ensaya previa y rápidamente a fin de saber qué individuos de macla sirven (porque se extinguen de ese lado) y elegir de ellos el más amplio y limpiamente visible para efectuar la medida.

La deliberada resolución de utilizar en el caso general sólo los individuos que dan la extinción a la *izquierda* (y en el caso de las plagioclasas muy albiticas sólo las tablas de extinción a la *derecha*), desentendiéndose de las otras tablas ópticamente opuestas y simétricas, la adoptó Becke para lograr una sola forma de trabajo. Lo determinante de su táctica está en la circunstancia siguiente: Un cristal simple de plagioclasa se orienta con el eje *a* bajo hacia adelante y el *b* bajo hacia la derecha. En la asociación polisintética de la albita, los individuos que tienen esta orientación, convencional, alternan lateralmente con otros que por la macla presentan hacia adelante la rama negativa ascendente del eje *a*, y a la derecha la rama negativa ascendente del eje *b*. Becke eligió la condición visual de trabajar con los individuos de la segunda orientación. Sobre tal base invariable, son éstos exclusivamente los individuos de la sección microscópica que dan las extinciones habituales del signo  $+$  (y las excepcionales del signo  $-$ ).

La figura 1 ha sido construída para ilustrar las varias relaciones que se deben reconocer y para ayudar a establecer concluyentemente las condiciones operatorias, así como para concretar la simplificación del procedimiento, que evita confusiones y errores. Muestra el corte normal al eje *a* de un fenocristal de plagioclasa, afectado por disolución, como es común, pero completado idealmente en su extremo superior correspondiente a las caras  $(001)$  y  $(00\bar{1})$  para la total evidencia y distinción de los individuos maclados. Se ve que tienen la orientación elegida por Becke los que terminan con la cara  $(00\bar{1})$ , es decir, los que señalan con su pequeña traza en la línea quebrada de arriba, que su ángulo superior derecho es el *agudo*, y su izquierdo el *obtusos*. Esto significa que dichos elementos tabulares son los que tienen el eje *b* bajando a la izquierda, como también la traza  $(00\bar{1})$  del tercer pinacoide. Son, por consiguiente, los que dan la habitual extinción a la izquierda, los útiles en nuestro caso. Los otros, que la dan simétrica, no nos interesan. De los dos indicios indicadores que aprovechamos para reconocerlos, es permanente la extinción izquierda. La traza del tercer pinacoide ha sido necesario aquí reconstruirla, pero lo hemos hecho para mayor ayuda o guía, porque el dibujo hace advertir que su desaparición no daña mucho, toda vez que la reemplaza el clivaje  $(001)$  de

nuestras tablas y, de estar presente, también la traza de la macla del periclino.

Dentro del paralelogramo está señalada la correspondiente variación gradual de la dirección de la línea de extinción  $\alpha'$  según la composición de las plagioclasas. Se ve que en la gran sección de los ángulos de extinción positivos, la línea  $\alpha'$  se abre del lado derecho del límite de macla (obligando a la rotación izquierda de extinción); además, lo que es importante, *apunta hacia el diedro agudo del cristal* (denunciado, por lo menos, por las maclas y el clivaje).

En cambio, en las plagioclasas de ángulos de extinción negativos se abre del lado izquierdo, a más *de apuntar hacia el diedro obtuso*. Claro está que dichas señales del diedro agudo y del obtuso del cristal han de verse en la tabla feldespática que se lleva a la extinción o en sus correspondientes de oscurecimiento simultáneo, pero no en las otras tablas alternantes, que son recíprocas por efecto de la hemitropía de la albita. Las primeras (véase en el dibujo) señalan el diedro agudo a la derecha, las recíprocas al revés. Estas, que no dan la extinción izquierda utilizada, no están tampoco en la posición de la vista de atrás preestablecida por Becke, sino en la contraria; por tanto, se hace abstracción de ellas.

La comprobación de que la extinción obtenida, como hacemos siempre, girando hacia el lado izquierdo, es la operación correcta, la tenemos por la verificación de que la línea  $\alpha'$  apunta hacia el lado del citado diedro agudo. Nuestro ángulo de extinción  $+5^\circ$  o  $+20^\circ$ , por ejemplo, es entonces seguro.

*El caso de la excepción.* Si al ensayar la extinción como siempre (hacia la izquierda) ésta se obtiene, pero en la prueba de control vemos que las tablas que la producen no son las de la orientación de Becke (de la vista de atrás, con el vértice superior agudo a la derecha), estamos operando con las tablas recíprocas, lo que no debemos hacer. Entonces empleamos las útiles, *que se extinguen hacia la derecha*. Luego tenemos que verificar que la línea  $\alpha'$  apunta hacia el lado del vértice obtuso de los elementos del cristal que se han usado (relación que es visible en la figura). Este resultado significa que hemos descubierto que la plagioclasa está comprendida en la corta sección muy sódica, con menos de 20,5 % de anortita. El ángulo de extinción es entonces seguramente negativo, y sus valores podrían ser entre  $-1^\circ$  y  $-9^\circ$  (oligoclasa ácida) y entre  $-10$  y  $-15^\circ$  (albita).

La realidad tan alcalina demostrada así ópticamente, sería además, sin duda, corroborada por indicios de la relación paragenética

del feldespato muy sódico, con particularidades concordantes en los otros minerales que son sus compañeros en la roca. Ya fueron mencionados los principales ejemplos de rocas poseedoras de plagioclasas del pequeño sector, oligoclasa-albita hasta albita. En su mayoría tales rocas suelen mostrar un rasgo sódico, a veces geográficamente reconocible, que no tienen las rocas de la serie normal y cuyo interés de averiguarlo se sobreentiende.

El recurso de operar con un solo sistema de individuos de la macla, como lo ha puesto en práctica Becke, es ventajoso por la sencillez y mecanización de las posiciones y observaciones, sin tener que introducir cambios de rotación según las tablas directas o las recíprocas de una misma sección; lo que evita dudas y equivocaciones.

Si, a diferencia de Becke, se empleasen las tablas del otro sistema de individuos (correspondientes a la traza del cristal triclínico visto desde el lado del brazo anterior del eje cristalográfico  $a$ ), el gráfico a consultar sería un dibujo al revés del que hemos examinado, como si éste se mirase por el lado del reverso del papel, dibujo que siendo el mismo, conserva  $\alpha'$  apuntando correspondientemente al mismo diedro. De aquí surge que un operador avezado y de atención concentrada, puede servirse a voluntad de las más lindas tablas de uno y otro sistema de la macla, en las mediciones de una misma sección de plagioclasa, haciendo en cada momento la rotación de extinción diestra o siniestra, según sea el individuo directo o recíproco, y aplicando al ángulo el mismo signo, correspondiente, sin equivocarse. Los repetidos resultados angulares de este ejercicio, que es como un deporte, han de equivaler por completo y pueden oficiar como corroboraciones, pero significan un lujo de trabajo. Esa doble forma de maniobra está implicada en la brevísima presentación del procedimiento escrita por Duparc y Reinhard (obra citada) en pocas líneas y con la comodidad de prescindir de explicaciones. Estas consideraciones tienen el objeto didáctico de convencer al estudiante de que, al ofrecer la forma de procedimiento aquí recomendada in extenso, Becke ha propiciado desde el comienzo una simplificación útil para facilitar el ejercicio mental y la retención de lo que es necesario hacer y ver en esta averiguación, breve pero suficiente, de la composición de las plagioclasas en el estudio microscópico de las rocas.

Para la confirmación de las determinaciones de composición realizadas con las operaciones de medida del ángulo de extinción, y aun disipar temores, se recurre comúnmente a la verificación aproximada de los índices de refracción de la plagioclasa medida, comparados con el del bálsamo de Canadá y con los del cuarzo, si se halla en la roca, el cual llega con  $\epsilon$  a igualar el índice  $\alpha$  de la andésina básica

(48 % An). Pero también como ensayo probatorio, más amplio y cómodo es el servicio de guía que presta la figura de interferencia de una sección cíclica de la plagioclasa que se estudia. En tal figura, la isogira es característicamente útil para revelar relaciones ópticas que, si las cosas se hicieron bien, han de ser las que corresponden a un cristal de la composición averiguada.

La curva de la variación del ángulo  $2V$  y del carácter óptico de las plagioclasas, ofrece en su curso regularmente sinuoso la expresión gráfica indicadora de las sucesivas condiciones axiales ópticas. Hay en ella siete lugares destacados, cuya posición indica las cualidades de una figura de interferencia definida y por consiguiente demostrativa; son en orden las siguientes:

Contenido de An.	Indicio óptico de la figura de interferencia
1. .... 5 %	Isogira curva Pleno signo positivo
2. .... 17 %	„ recta Indiferencia; $2V = 90^\circ$
3. .... 27 %	„ curva Pleno signo negativo
4. .... 37 %	„ recta Indiferencia; $2V = 90^\circ$
5. .... 52,5 %	„ curva Pleno signo positivo
6. .... 68 %	„ recta Indiferencia; $2V = 90^\circ$
7. .... 90 %	„ curva Pleno signo negativo

Se comprende que tratándose de lugares de referencia escalonados, cuyos puntos focales (17 %, 27 %, 37 %, etc.) corresponden al apogeo de los indicios ópticos; cada indicio cubre y sirve de confirmación también para los valores % inmediatos inferiores y superiores. Así, por ejemplo, una composición que se ha medido de 30 % de An, queda en el tipo de figura de interferencia del lugar 3, cuyo foco está en 27 %. Con ello la figura de interferencia señala que la composición determinada no es falsa y de ubicación desacertada.

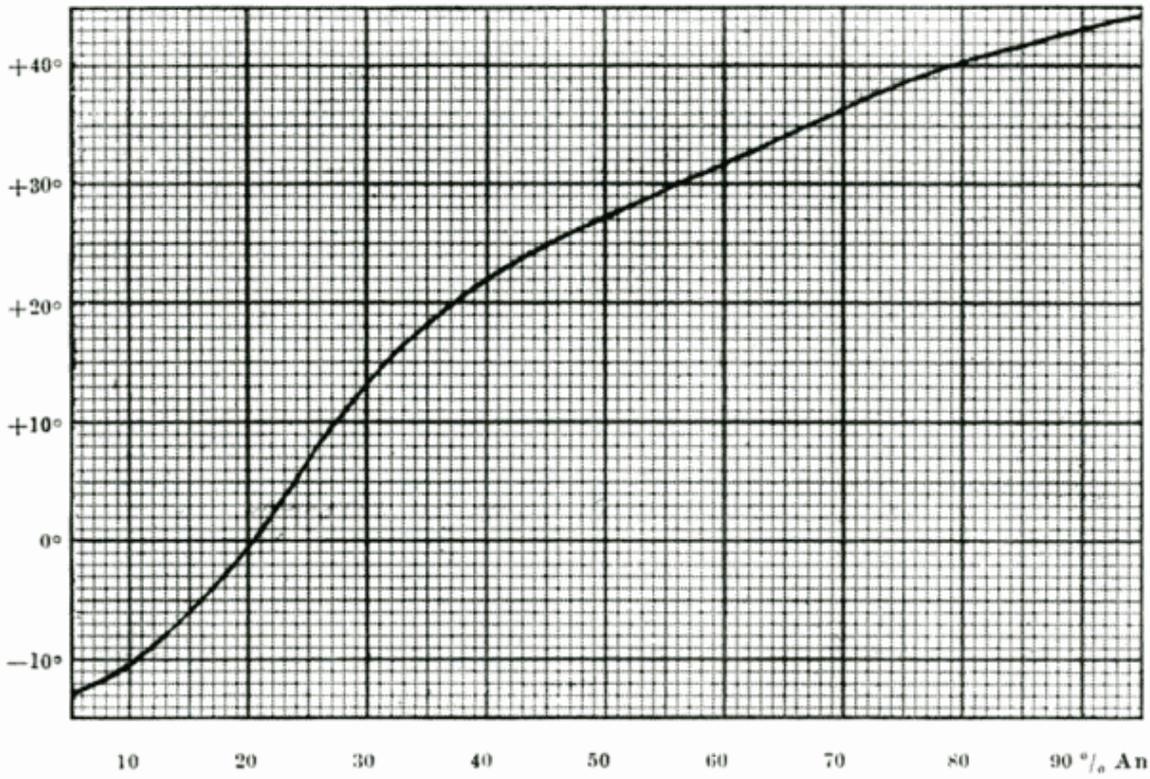
No obstante la necesaria extensión de las aclaraciones formuladas, se llega en resumen a ver que la tarea de clasificar la plagioclasa se reduce a pocos pasos, y que, después de breve ejercicio, ella puede repetirse en cuatro o cinco secciones de una preparación, empleando más o menos media hora, porque no se pierde tiempo en realizar comprobaciones factibles que no se consideran indispensables. Si en una o dos de las secciones, realizando por ejemplo el trabajo general con extinción a la izquierda, no se encontró dónde ver y servirse del infalible indicio que da el clivaje del tercer pinacoide, ello no importa habiéndolo visto en las otras; no es esto motivo para abandonar el dato  $\alpha' : M$  de una buena sección. Dicho dato no debería tampoco desecharse si su valor tiene ajustada concordancia con los obtenidos en pleno control. Los individuos sin ninguna traza visible de su clivaje no pueden ser impropios para efectuar la medición si

son de los que dan la extinción a la izquierda, que es indicio capital de su orientación.

Las posibilidades de asegurarse de las exactas relaciones no deben creerse tan pobres y restringidas. Así, el hecho de hallar aunque sea una sola y corta línea fina representativa del clivaje (001) en alguno de los individuos *del otro sistema de tablitas* no utilizado (de extinción derecha) sería la prueba segura de que tenemos derecho a dibujar mentalmente en una vecina *tablita de las nuestras* (de extinción izquierda) la correspondiente línea simétrica, traza del clivaje (00 $\bar{1}$ ) que no vemos, y cuya existencia, sin embargo, no se puede negar. También la traza de la macla del periclino es, como sabemos, un indicio que puede aparecer y servir para señalar la situación del diedro agudo. Finalmente, por el mismo artificio indicado es permitido fijar la dirección de su traza virtual simétrica, si esta macla no está en tablas del sistema de extinción izquierda con el cual se trabaja. Se entiende que estas observaciones valen igualmente en el caso de las plagioclasas ricas en albita, en el cual las tablas de la orientación de Becke dan la extinción a la derecha del retículo.

Concluyendo, la experiencia demuestra que con la repetición de cuatro o más medidas en la preparación de una roca, y gracias al hábito formado de examinar bien y visualizar finamente los efectos de la extinción, este viejo y modesto procedimiento óptico indica la composición de las plagioclasas con una aproximación tan grande que pretender más sería irrazonable, habiendo en la sección de la roca mucho para averiguar, observar, explicar y sacar deducciones a veces muy interesantes y útiles por los conocimientos que proporcionan.

LAMINA



Curva de las extinciones  $\alpha' : (010)$  en secciones perpendiculares al eje  $a$ .

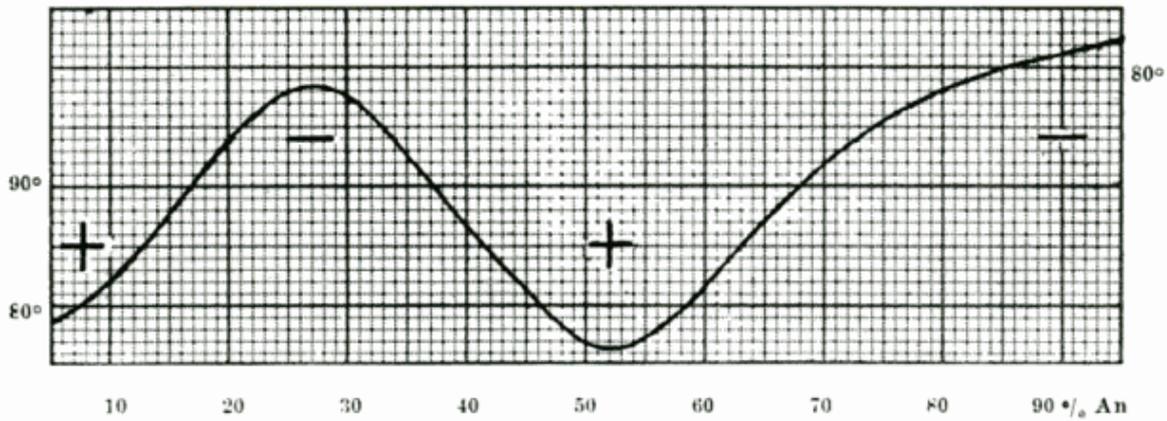


Gráfico de la variación del ángulo de los ejes ópticos.

EL MATERIAL VOLCÁNICO-PIROCLÁSTICO  
EN  
LA SEDIMENTACIÓN CUATERNARIA ARGENTINA

Por MARIO E. TERUGGI

---

Harto conocida es la importancia que han tenido los fenómenos volcánicos en la historia geológica argentina; en efecto, sabemos que durante el Terciario y el Cuaternario —para no decir nada de los períodos anteriores— se han sucedido las manifestaciones de una actividad volcánica intensa, con sus correspondientes coladas de lavas y depósitos de tobas. En lo que respecta a los sedimentos cuaternarios que se hallan relativamente alejados de los centros volcánicos, diversos autores (Doering, 1907; Frenguelli, 1928, entre otros) han reconocido y descrito intercalaciones de cenizas volcánicas, cuya importancia como medios de intentar posibles correlaciones estratigráficas ha sido señalada reiteradamente tanto en el país como en el extranjero (Schultz y Stout, 1945).

Sin embargo, el reconocimiento de las capas de cenizas volcánicas ha llevado consigo la suposición de que se trataba de niveles accidentales o “extraños”, por así decirlo, dentro de un espesor sedimentario para el que, a menudo tácitamente, se admitía un origen y una naturaleza distintos. A este respecto, debe señalarse que, hasta el presente, poco o nada se ha hecho para conocer la verdadera naturaleza y composición de nuestros sedimentos cuaternarios finos, lo que quizá pueda atribuirse a la ausencia de investigadores especializados en sedimentología y al muy reciente desarrollo —unos treinta años— de los métodos que permiten tales estudios. Efectivamente, si se exceptúan las observaciones de Wright y Fenner (1912) sobre escorias y tierras cocidas, las muy someras de Principi (1915) y las investigaciones puramente químicas de Bade (1920), casi nada se ha publicado sobre la naturaleza íntima de nuestros terrenos cuaternarios. Recientemente, sin embargo, en el Departamento de Ciencias Geológicas del Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias

Naturales de Buenos Aires, se ha concluido una investigación detallada de los sedimentos que afloran en las barrancas entre Mar del Plata y Miramar, y en base a los resultados obtenidos —de pronta publicación— y algunas observaciones personales, creo que es posible presentar un cuadro parcialmente nuevo de la sedimentación cuaternaria, por lo menos en lo que se refiere a la región pampásica bonaerense.

En general, podemos señalar para los sedimentos pampianos o pampeanos las siguientes características:

a) Constancia en la composición granulométrica, pues se trata siempre de limos arenosos o areno-arcillosos, más raramente arenas limosas. En todos los casos, la arena componente de estos sedimentos es muy fina; en algunos niveles es dable observar la presencia de fenoclastos relativamente grandes, pero están constituidos por fragmentos de los mismos limos, que han sido redepositados junto con el material más fino. Por otra parte, las curvas acumulativas muestran que la selección ha sido por lo común muy buena; además, la forma de las curvas es similar a la de las obtenidas del análisis granulométrico de polvos atmosféricos.

b) Constancia en la composición mineralógica, tanto en la de la fracción arena como en las de limo y arcilla. Las variaciones mineralógicas, sobre las que haremos referencia más adelante, no llegan nunca a modificar o alterar la relativa homogeneidad de estos terrenos.

c) Fracción arena constituida esencialmente por minerales de origen volcánico. Esto se reconoce por las siguientes características: abundancia de plagioclasas, predominantemente intermedias o básicas, a menudo zonales; presencia de considerables cantidades de trozos y fragmentos pequeños de pastas de rocas volcánicas (felsitas, andesitas, basaltos); contenido apreciable de vidrio volcánico bajo la forma de trizas (*shards*); asociación de minerales pesados derivados de vulcanitas (hornblendas, piroxenos —augita e hipersteno—, magnetita, etc.). En términos generales, puede estimarse que la cantidad de minerales de origen no volcánico o indeterminable llega a lo sumo a un 30 por ciento, con frecuencia a mucho menos. De ello resulta que el cuarzo, cualquiera sea su origen, es poco abundante en estos sedimentos (15 a 20 % es lo común).

d) La fracción limo en su mayor parte, y la arcilla en su casi totalidad, están constituidas por un mineral que ha podido ser identificado como perteneciente al grupo de la montmorillonita. Este montmorillonitoide ha derivado de la descomposición del vidrio volcánico, y la investigación microscópica, efectuada con ciertas precauciones, permite reconocer su origen vítreo. En consecuencia, las fracciones finas deben considerarse como constituidas casi enteramente

por vidrio volcánico alterado, junto con el cual se hallan cantidades apreciables de vidrio fresco.

Estas cuatro características permiten inferir que los sedimentos pampeanos representan depósitos continentales alóctonos, constituídos en su casi totalidad por material volcánico-piroclástico que ha sido transportado y depositado primariamente por acción eólica. En base a esto, debemos considerar que, de todas las teorías primitivas emitidas sobre el origen de nuestros sedimentos cuaternarios (cuyas reseñas y citas bibliográficas pueden consultarse en los trabajos de Roth, 1920, y Frenguelli, 1925), la más acertada es la de Bravard, quien ya en 1857 defendió el origen eólico y en gran parte volcánico de la formación pampeana, anticipándose en trece años a von Richthofen (el cual, según Russell, 1944, formuló su teoría eólica del loess en 1870) y en veinticinco a Howorth (1882), que postuló el origen volcánico de los sedimentos loésicos. Por otra parte, nuestros resultados coinciden suficientemente con los obtenidos por F. González Bonorino (comunicación personal), que estudió algunos sedimentos cuaternarios de la Capital Federal.

Este tipo de sedimentación, que podríamos denominar eolo-volcánica, no es exclusiva de nuestros sedimentos terrestres. En un estudio realizado sobre los sedimentos marinos del golfo San Jorge (Teruggi, 1954), tuve oportunidad de demostrar que, en esa región, el material componente de los fangos terrígenos de la plataforma continental es también de origen volcánico-piroclástico y ha sido transportado por los vientos. Es evidente, entonces, que estamos en presencia de una vastísima sedimentación eolo-volcánica que abarca, según se podría juzgar por las escasísimas informaciones sedimentológicas de que disponemos, por lo menos toda la región que va desde el sur del golfo San Jorge hasta Buenos Aires; naturalmente que al considerar esta zona tenemos en cuenta tanto los sedimentos terrestres como los que se han depositado en la plataforma continental. Por su amplitud espacial y temporal (en su facies continental abarca como mínimo todo el Cuaternario), esta sedimentación parece ser una de las más notables del mundo.

Reconocido el origen de nuestros depósitos cuaternarios en la zona mencionada, quedan una serie de cuestiones cuya respuesta no es fácil de hallar. En primer lugar, se plantea la pregunta de cuál puede ser el área o región de procedencia del material volcánico-piroclástico; entramos con esto en un campo altamente especulativo, puesto que nuestro desconocimiento de la composición y características mineralógicas de la mayoría de las rocas argentinas obliga a efectuar suposiciones, cuya verdad sólo podrá verificarse mediante estudios posteriores. Pese a estas dificultades, creo que lo más acertado es

considerar a la región occidental y sudoccidental que bordea a la zona pampásica bonaerense como aquella de donde ha provenido el material. Algunas observaciones que he efectuado sobre sedimentos rionegrenses del valle del Río Negro, además de las realizadas por López Alaniz (1954), demuestran que hay bastante concordancia, pese a la diferencia en el tamaño de los granos, entre la composición mineralógica de esos depósitos, que es también decididamente de origen volcánico, y los sedimentos cuaternarios en cuestión; más aun, he podido comprobar, en base a ciertas características (forma, desgaste, tipo de inclusiones, etc.), que el abundante hipersteno del Rionegrense es similar al de los sedimentos pampeanos, lo que denotaría un origen común o la derivación del segundo a partir del primero. Estos hechos, más la abundancia en la región mencionada de rocas volcánicas y piroclásticas del tipo requerido (andesitas, basaltos, etc.), para explicar la asociación mineralógica de los sedimentos pampeanos, justifican la suposición de que efectivamente sea ésta la zona de donde provino el material volcánico-piroclástico. En lo que respecta a su transporte, bastaría con que, en el Pleistoceno, los vientos predominantes y/o de mayor intensidad hayan procedido, como lo hacen ahora, del oeste y sudoeste; Frenguelli (1933), que ha estudiado la marcha de la ceniza volcánica de la erupción del volcán Quiza-Pu, nos suministra un buen elemento de juicio en favor del transporte del material piroclástico en las direcciones señaladas.

Es evidente, dada la finura del material, que éste ha sido transportado en suspensión por corrientes aéreas, y se ha ido depositando lentamente, como un manto sedimentario, en la superficie de los terrenos y en las aguas oceánicas. Este material eólico debe de haber caído, en el primer caso, en una llanura con vegetación herbácea, o sobre él, una vez depositado, se ha desarrollado esta vegetación, como lo demuestra la abundancia de células silíceas de gramíneas y otras plantas. Sin embargo, en algunos niveles del Cuaternario, la curva normal de frecuencia es de tipo bimodal, con un máximo secundario poco acentuado en las admixturas correspondientes a arena mediana. A su vez, esta admixtura está esencialmente compuesta por minerales pesados (augita, hipersteno, granates y opacos) con excelente redondeamiento, lo que denota prolongada acción abrasiva en ambiente desértico; puede interpretársela, por lo tanto, como material que ha sido ocasionalmente arrastrado por tracción de vientos intensos. Esta interpretación no excluye la posibilidad de que parte de este material más grueso haya caído al mar y llevado por corrientes hasta las costas bonaerenses, de donde puede haber sido levantado por los vientos e incorporado al material más fino traído en suspensión. Recordemos también que Frenguelli (1940) ha descrito

el transporte de rodados adheridos a plantas acuáticas, lo que es otra posibilidad que no debe descartarse. De cualquier modo, se requieren estudios sobre la marcha del material sedimentario a lo largo de nuestras costas para la dilucidación de estas cuestiones.

Creo conveniente destacar aquí que el hecho de que los sedimentos cuaternarios estén constituidos en su mayor parte por material volcánico-piroclástico no significa que en el Pleistoceno se hayan repetido, continua e incesantemente, las erupciones volcánicas. Con todo, las explosiones deben haber sido muy frecuentes (véase al respecto la lista de explosiones que menciona Frenguelli (1930) para los volcanes de la serie meridional de los Andes durante los siglos XIX y parte del XX), y sus productos se han incorporado, sin duda alguna, a los sedimentos cuaternarios, dando origen principalmente a las capas de cenizas volcánicas que se han señalado en los perfiles de distintos lugares. Sin embargo, es posible que el grueso del material provenga, como ya lo señalara Bryan (1945) con respecto a sedimentos similares de México, de depósitos de tobas o rocas volcánicas sobre los que ha actuado el viento en forma deflasiva, levantando las partículas finas y transportándolas a un nuevo ambiente de sedimentación. Si esta suposición es correcta, buena parte del material componente de nuestros terrenos cuaternarios debe de haber pasado por dos ciclos sedimentarios como mínimo: uno, en el Cuaternario o cualquier período anterior, que originó los sedimentos tobáceos; y otro, exclusivamente Cuaternario, que engendró los terrenos pampeanos sobre la base del material derivado del primer ciclo.

Esta posibilidad está abonada por un hecho que es necesario destacar. Los sedimentos cuaternarios son *inmaduros*, o sea que contienen en excelente estado de frescura abundantes minerales que, en diverso grado, son fácilmente alterables, como plagioclasas, anfíboles, piroxenos, etc. Esto indica que el ambiente de sedimentación cuaternario no ha reunido las condiciones físicas y químicas necesarias para producir la alteración de estos minerales, o bien, simultánea o alternativamente, que no ha transcurrido el tiempo necesario para ocasionar esa alteración. Sin embargo, como ya mencionara, las fracciones más finas de nuestros sedimentos están compuestas en su mayor parte por un montmorillonite, derivado de la alteración del vidrio volcánico. Pero hay más todavía: junto al vidrio descompuesto, en los mismos terrenos, hay trizas vítreas perfectamente frescas. Si aceptamos la opinión autorizada de Grim (1953) de que la bentonita (montmorillonite) no se origina por meteorización y que la alteración del vidrio en montmorillonite se efectúa singénica o parasingénicamente, es decir, junto con la depositación o poco tiempo después, entonces debemos concluir que el vidrio alterado no se ha

descompuesto *in situ*, sino que ha sido transportado, hasta los lugares donde se depositó, ya transformado en montmorillonita. Esto explicaría la coexistencia, en el mismo depósito, de vidrio totalmente alterado y de vidrio fresco, pues si la descomposición hubiese actuado después de la depositación, todo el vidrio debería hallarse alterado o en vías de estarlo. Según esta interpretación, las trizas vítreas frescas no serían otra cosa que el material incorporado a los sedimentos durante las explosiones volcánicas cuaternarias, o sea coetáneas con los depósitos, mientras que el vidrio alterado puede ser cuaternario o de cualquier otra edad geológica.

Todas estas consideraciones indican la necesidad que tenemos de un mejor conocimiento de nuestros sedimentos piroclásticos, que bajo la forma de tobas, tufitas y cineritas se distribuyen por amplias regiones del país. El estudio mineralógico-estratigráfico de nuestros depósitos tobáceos —que ni siquiera está iniciado, según los conocimientos a mi disposición—, junto con el de nuestras vulcanitas, puede suministrar la clave para establecer más precisamente el problema de la procedencia del material sedimentario cuaternario. Conjuntamente, debería investigarse el modo y las condiciones de alteración de las tobas, lo que, aparte de su interés práctico, servirá para determinar los procesos diagenéticos que pueden haber sufrido los terrenos pampeanos.

El estudio de tobas y tufitas —en especial de las terciarias y cuaternarias— es también necesario para intentar efectuar correlaciones. Ya he dicho que, en general, la composición mineralógica de los terrenos cuaternarios es relativamente homogénea, hecho éste que acrecienta el valor de las intercalaciones de cenizas volcánicas para correlacionar estratos de distintos lugares. Lo dicho no significa que no hay variaciones en la composición mineralógica, sino que las mismas no son lo suficientemente marcadas, cuali o cuantitativamente, para permitir ensayar, sin grandes riesgos, el reconocimiento de zonas mineralógicas diferenciales con cierta facilidad. Por lo tanto, el problema de correlacionar mineralógicamente los sedimentos pampeanos deberá ser diferido hasta que contemos con abundantes datos sedimentalógicos, que permitirán comprobar si ciertas variaciones son locales o regionales. Con todo, en nuestro estudio de los sedimentos de la zona Mar del Plata-Miramar hemos podido distinguir, trabajando en detalle, algunas zonas mineralógicas que ofrecen perspectivas de ser utilizables en correlaciones estratigráficas.

En base a las consideraciones precedentes se puede concluir que nuestros sedimentos loessoides cuaternarios son de origen desértico, o sea que se han formado por la acción de los vientos que han transportado el material fino de regiones áridas o semiáridas. Empero, el

reconocimiento de la gran participación eólica en el transporte del material no es del todo suficiente, pues un depósito de loess puede —y a menudo lo es— ser retrabajado y redepositado por la acción de aguas continentales (lluvias, ríos, arroyos, lagunas, etc.). Por consiguiente, es necesario acumular gran número de observaciones y datos, con el fin de tratar de establecer si se puede distinguir, sedimentológicamente, un material loésico de directa depositación eólica de uno que ha sido reelaborado por las aguas, o sea entre lo que ha sido denominado, respectivamente, loess y limo por Frenguelli (1925), loess y material loessoide (*loesslike*) por Russell (1944) o loess primario y loess secundario por Obruchev (1945). La importancia de este problema, estrechamente vinculado con cambios climáticos, ha sido destacada por investigadores modernos (Smith, 1949), pero hasta ahora no disponemos de métodos sedimentológicos seguros que permitan su solución, salvo quizás el contenido de carbonato de calcio, considerable en el loess y muy bajo en los sedimentos loessoides, que fuera señalado por Frenguelli (1925) y otros autores (Russell, 1944). Personalmente, creo que un estudio sedimentológico comparativo permitirá resolver esta cuestión, pero por el momento me es imposible agregar nada más, a causa de que los sedimentos que hemos investigado hasta ahora son todos de tipo “limo” o material loessoide.

Pese a que esta pequeña contribución presenta más problemas que los que resuelve, confío en que deje un saldo positivo basado en los hechos observados: la demostración de la importancia extraordinaria que tiene el material volcánico-piroclástico en nuestra sedimentación cuaternaria, hasta el punto de tener que confesar que estamos en presencia de sedimentos para los cuales carecemos de adecuada denominación, pues al parecer difieren totalmente de otros similares europeos, norteamericanos y asiáticos, sobre los cuales tampoco hay gran abundancia de datos sedimentológicos. No obstante, es de confiar que en los años venideros se intensifiquen estas investigaciones —no desprovistas de interés práctico, ya que el hombre vive esencialmente sobre y del Cuaternario— y que de entre las filas geológicas se destaquen algunos estudiosos que quieran contribuir a la solución de estos problemas.

#### LISTA BIBLIOGRAFICA

- BADE, F., 1920. *Investigaciones petroquímicas del loess pampeano*. Rev. Museo La Plata, tomo XXV, pág. 213-236.
- BRAVARD, M., 1857. *Registro estadístico del Estado de Buenos Aires*.
- BRYAN, K., 1945. *Glacial versus desert origin of loess*. Am. Jour. Scie., tomo 243, nº 5, pág. 245-248.

- DOERING, A., 1907. *La formación pampéenne de Córdoba*. Rev. Museo La Plata, tomo XIV, pág. 172-190.
- FRENGUELLI, J., 1925. *Loess y limos pampeanos*. An. Soc. Arg. Est. Geogr. "GAEA", n<sup>o</sup> 1, pág. 1-88.
- FRENGUELLI, J., 1928. *Observaciones geológicas en la región costanera sur de la Provincia de Buenos Aires*. An. Fac. Cienc. Educ., tomo II, pág. 1-145. Paraná.
- FRENGUELLI, J., 1933. *I vulcani delle Ande e l'eruzione del Quiza-Pú*. Le vie d'Italia e del mondo, año I, n<sup>o</sup> 1, pág. 95-112. Milán.
- FRENGUELLI, J., 1940. *Un mecanismo poco conocido para el transporte y la dispersión de rodados marinos*. Notas Museo La Plata, tomo V, Geol. 10, páginas 185-192.
- GRIM, R. E., 1953. *Clay Mineralogy*. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- HOWORTH, H. H., 1882. *The loess - a rejoinder*. Geol. Mag., 2<sup>a</sup> Ser., vol. 9, pág. 343-356.
- LÓPEZ ALANIZ, Y. A. L. de, 1954. *Contribución al conocimiento de los sedimentos y el suelo de la alta terraza del valle del río Colorado*. Ann. Acad. Scient. Fennicae, Ser. A, n<sup>o</sup> 37, pág. 1-28.
- OBRUCHEV, V. A., 1945. *Loess types and their origin*. Am. Jour. Scie., tomo 243, n<sup>o</sup> 5, pág. 256-261.
- PRINCIPI, P., 1915. *Alcune osservazioni sul loess del territorio argentino*. Boll. Soc. Geol. Italiana, vol. XXXIV, pág. 219-224.
- ROTH, S., 1920. *Investigaciones geológicas en la llanura pampeana*. Rev. Museo La Plata, tomo XXV, pág. 135-342.
- RUSSELL, R. J., 1944. *Lower Mississippi Valley loess*. Bull. Geol. Soc. Am., vol. 55, n<sup>o</sup> 1, pág. 1-40.
- SCHULTZ, C. B. y STOUT, T. M., 1945. *Pleistocene loess deposits of Nebraska*. Am. Jour. Scie., tomo 243a, n<sup>o</sup> 5, pág. 231-244.
- SMITH, H. T. U., 1949. *Physical effects of pleistocene climatic changes in nonglaciated areas, etc.* Bull. Geol. Soc. Am., tomo LX, pág. 1485-1516.
- TERUGGI, M. E., 1954. *Características granulométricas y mineralógicas de algunos fangos del Golfo de San Jorge (Rep. Arg.)*. Rev. Inst. Nac. Inv. Cienc. Nat. Bs. As., Geol., tomo III, n<sup>o</sup> 3, pág. 229-246.
- WRIGHT, E., y FENNER, C. N., 1912. *Petrographic study of the specimens of loess, tierra cocida and scoria collected by the Hrdlicka-Willis Expedition*. Bur. Ethnology, Bull. 52, pág. 15-41.