

MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE LA NACIÓN  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO DE LA PLATA

---

SERIE TÉCNICA Y DIDÁCTICA

Nº 7

# LOESS Y LIMOS PAMPEANOS

*Universidad Nacional de La Plata*  
*Facultad de Ciencias Naturales y Museo*  
*Biblioteca*  
**por JOAQUÍN FRENGUELLI**

Con prólogo y apéndice

de

MARIO E. TERUGGI

LA PLATA  
REPÚBLICA ARGENTINA

—  
1955

MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE LA NACIÓN  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO DE LA PLATA

---

SERIE TÉCNICA Y DIDÁCTICA

Nº 7

## LOESS Y LIMOS PAMPEANOS

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo  
Biblioteca

PO R  
JOAQUÍN FRENGUELLI

Con prólogo y apéndice

de

MARIO E. TERUGGI

LA PLATA  
REPÚBLICA ARGENTINA

1955



## PROLOGO

La reimpresión de este trabajo, agotado durante muchos años, viene en momento muy oportuno a actualizar una cuestión que, recientemente, ha estado ocupando a los investigadores de los terrenos cuaternarios. En efecto, los autores europeos y norteamericanos han comenzado a señalar la necesidad de investigar los sedimentos pelíticos continentales con el fin de tratar de establecer las diferencias que puedan existir entre loess primarios y loess secundarios, pues sobre ellas se han de basar las interpretaciones de las variaciones climáticas del último y más importante período de la historia terrestre.

En este sentido, la obra del Doctor Frenguelli, aparecida originariamente en 1925, tiene en sí el extraordinario mérito de haber tratado de resolver esta cuestión, en lo que atañe a los sedimentos pampeanos, mucho antes que el mundo científico prestara debida atención a estos problemas. Por lo tanto, debe considerársela como uno de los primeros esfuerzos destinados a establecer las diferencias entre loess primarios y secundarios, o como los llama su autor, loess y limos.

En la época en que fue escrito este trabajo, no había en el país —ni tampoco en el resto del mundo— investigadores especializados en sedimentación. Como consecuencia, las observaciones del autor debieron limitarse por fuerza a las partes geológica, estratigráfica y paleontológica, en las cuales pudo reflejar su amplio conocimiento de estos terrenos. En lo que respecta a la composición granulométrica y mineralógica de los mismos, se vió precisado a circunscribirse a la mención de los resultados de diversos investigadores que, con métodos distintos, habían tratado de descifrar parcialmente la naturaleza de estos sedimentos. Aún en estos casos, el Doctor Franguelli supo sospechar el error en algunas de estas determinaciones, como lo demuestra al manifestar sus dudas sobre la supuesta naturaleza zeolítica del material fino componente de los sedimentos pampeanos.

Las observaciones que ha reunido su autor en este trabajo son todavía la base para nuestra caracterización general de los sedimentos loesoides del Pampiano. Desde 1925 nada se ha propuesto para rectificar, modificar o ampliar sus conceptos, por lo que gozan de tanta actualidad ahora como entonces. Aparte de contribuciones estratigráficas y paleontológicas, sólo se han producido algunos avances muy recientes en

nuestro conocimiento de la granulometría y mineralogía de estos sedimentos. Con el fin de actualizar esta parte, he incorporado un pequeño apéndice en el que he resumido, en base a observaciones propias, el estado actual de esta cuestión.

Sólo resta esperar que la lectura de este trabajo, síntesis de muchos años de dedicación y estudio, estimule a la juventud estudiosa a proseguir la investigación de nuestros depósitos cuaternarios, sobre los cuales falta tanto por hacer. El esfuerzo aunado de geólogos, sedimentólogos, estratígrafos y paleontólogos podrá llevar a término lo que, hace más de un cuarto de siglo, el Doctor Frenguelli entrevió por primera vez. Podrá haber modificaciones, confirmaciones e inclusive rechazos, si así lo exige la marcha de la ciencia, de algunos de sus puntos de vista, pero indudablemente *Loess y limos pampeanos* seguirá siendo, por mucho tiempo, la piedra angular del conocimiento de nuestros sedimentos cuaternarios.

MARIO E. TERUGGI

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo  
Biblioteca

## LOESS Y LIMOS PAMPEANOS

POR

JOAQUIN FRENGUELLI

---

Si prescindimos de las acumulaciones de faldas y de los conos de deyección, a veces grandiosos, en las regiones montañosas periféricas de la Pampa; si prescindimos también de las camadas de acarreo psefítico o psamítico distribuidas, a veces en forma de terrazas, a lo largo de los cauces fluviales, especialmente en las regiones pedemontanas y, finalmente, si prescindimos de los sedimentos marinos, siempre de reducido espesor y extensión, que se interpolan a los sedimentos terrestres a lo largo del borde costanero del océano y del estuario platense, los terrenos cuaternarios de las pampas argentinas quedan constituidos por una serie de sedimentos tenues, aparentemente uniformes, de color pardo y de estructura pelítica que forman la parte principal y más característica de la llamada formación pampeana<sup>1</sup>.

La roca fundamental, que resultó de esta peculiar sedimentación, fué definida diferentemente de acuerdo con las diferentes interpretaciones genéticas emitidas por los diversos autores. Como *arcilla* fué considerada por d'Orbigny (1842), W. Parish (1851); Bravard (1857) la llamó *arena arcillosa*; Burmeister (1876) la llamó *marga*; fué considerada como *limo* por Darwin (1846), Ameghino (1880), Kantor (1922); finalmente, fué llamada *loess* por Heusser y Claraz (1864), Aguirre (1882), Doering (1884), Roth (1888), Bodenbender (1890), Steinmann (1891), Hauthal (1892), Wehring (1911), Bailey Willis, Wright y Fenner (1912), Rovereto (1914), K. Walther (1915), Keidel (1916), Kantor (1918), etc.

Desde 1921, he llamado la atención sobre la necesidad de una más exacta definición de las rocas pampeanas y sobre el hecho de que, a

<sup>1</sup> Posteriormente, he utilizado Pampiano, de acuerdo con la terminología, para designar la serie estratigráfica. Pampeano puede usarse como denominación de los sedimentos del área de la pampa.



pesar de su aparente uniformidad, los sedimentos tenues de las pampas, desde el punto de vista genético, deben diferenciarse en dos grupos principales, *limos* y *loess*; reservando este último nombre a los depósitos de acumulación eólica sobre superficies secas, y considerando como limos a los sedimentos de cauces y de cuencas, cuya sedimentación se efectuó con el concurso de las aguas de ríos, lagos o pantanos (30, p. 33). Convencido de que nunca podremos llegar a una justa interpretación de la génesis y de la estructura estratigráfica de los terrenos pampeanos sin una previa diferenciación, atenta y minuciosa, de estos dos tipos petrográficos principales, insistiré mayormente sobre esta interesante cuestión. Puesto que varias veces se ha afirmado, tanto para el loess pampeano, como para el europeo, que es muy difícil, sino imposible, marcar diferencias apreciables entre loess primario (eólico) y loess secundario o removido o resedimentado por las aguas (limo), me ocuparé especialmente en considerar los diversos criterios que podemos utilizar, por lo menos en la Argentina, para llegar a establecer tal diferenciación. Los diferentes criterios, considerados separadamente, por lo común, son insuficientes para arribar a una conclusión suficientemente fundada desde este punto de vista; pero, resultarán eficaces cuando, como es posible en la mayor parte de los casos, todos o cierto número de ellos podrán ser aplicados en el estudio de un determinado sedimento.

Pero, ante todo, es necesario establecer qué es lo que debemos entender por *loess pampeano*. Heusser y Claraz usaron esta expresión por las evidentes analogías estratigráficas y estructurales que existen entre las rocas pampeanas y el loess europeo, especialmente observado en la región del Alto Rhin. Basado sobre las mismas analogías, más tarde, también Richthofen aplicó la misma denominación a sedimentos parecidos en el norte de China, sin que, en realidad, ni los depósitos pampeanos, ni los chinos, en sus caracteres petrográficos, coincidiesen con la composición petro-química del loess europeo.

Un examen comparativo, desde este punto de vista, pone en relieve diferencias notables, sobre las cuales ya han llamado la atención Bade (7, pág. 223), Kantor (41, págs. 307 a 314) y Principi (49, pág. 224). Yo mismo he insistido recientemente (31, p, págs. 8 a 10) sobre estas diferencias, que no permiten una identificación entre la composición de estas rocas en los diferentes países mencionados.

Podemos resumir las principales diferencias en la forma siguiente. Mientras en el loess europeo el cuarzo clástico forma la masa fundamental y característica (alrededor de un 50 %) y es muy abundante en el chino (63, pá. 321), en cambio, en el loess pampeano este ele-



mento es escaso o raro y debe considerarse como componente accesorio. Al respecto, he de observar que los diferentes análisis petrográficos, que para las rocas pampeanas indican el cuarzo como elemento predominante (66, pág. 86) o abundante (7, págs. 221, 223; 49, pág. 220), no corresponden a un loess pampeano de acumulación eólica, sino a limos loessóides de sedimentación ácuea: entre los numerosos especímenes examinados por Wright y Fenner, solamente los números 263713 y 263708 (66, págs. 65, 66) corresponden a un verdadero loess pampeano; los sedimentos de La Plata, que Bade (7, págs. 220 a 423) llama "loess pampeano", son depósitos de ciénagas (limos) del *ensenadense*; de las dos muestras de "loess pampeano", analizadas por Principi, sólo la de Córdoba (49, págs. 221-222) corresponde a tal denominación, mientras la muestra de Monte Hermoso procede de los limos, que, en totalidad, forman el *hermosense* de Ameghino.

Un segundo carácter diferencial de mucha importancia es que, mientras en el loess europeo y, si bien en grado menor, en el chino, predominan elementos detríticos procedentes de un largo e intenso proceso de trituración mecánica (cuarzo y minerales accesorios en partículas sumamente finas), en cambio, en el loess pampeano predominan materiales derivados de un intenso proceso de descomposición hidrolítica (silicatos solubles, etc.). Consiguientemente, frente a la acción del ácido clorhídrico, el loess pampeano muestra una solubilidad mucho mayor (tal vez dos veces más grande, según Kantor) que el loess alemán. Las sustancias solubles, en HCl, del loess pampeano, representan por lo menos un 30 % y se componen principalmente de silicatos hidratados, turbios y profundamente alterados, que Doering (25, pág. 181) y Bade (7, 214, 231, 235) consideran de naturaleza zeolítica (parecidos a las zeolitas del tipo thomsonita y natrolita, y, tal vez idénticas a las *Bodenzeolithe*), mientras que Kantor (41, pág. 317) atribuye a simples *substancias hidratadas*, derivadas probablemente de feldespatos, piroxenos, hornblenda, mica y vidrios volcánicos. Estos productos de hidrolización de feldespatos (ortoclasa, plagioclasa y sanidina) abundan en todas las rocas pampeanas, en los limos inclusive, y en proporciones relativamente constante. (Véase Apéndice).

Una tercera característica, de suma importancia, para el loess pampeano, es representada por su contenido en hidrargillita y en cantidad relativamente notable. En los verdaderos loess (eólicos) pampeanos, como, por ejemplo, en el del Pucará (Córdoba), examinado por Meigen y Werling (46) y recordado por Kantor (41, págs. 313, 318), la cantidad de alúmina libre puede alcanzar un máximo de 3 %, aproximadamente.

Finalmente, otra característica peculiar del loess y, en general, de todas las rocas pampeanas, es la de contener abundantes laminillas de vidrios volcánicos (cenizas), que faltan en los demás loess. A pesar de que, a veces, la cantidad de estos elementos ha sido exagerada, como p. ej. en los llamados "loess" números 263706, 263743, 263747 de Wright y Fenner (66, págs. 57, 65, 84, 87, 93) con 60 a 90 % de vidrios volcánicos (en estos casos se trata simplemente de bancos de cenizas volcánicas que merecen considerarse aparte), no hay duda de que ellos forman un componente sumamente característico y constante del loess pampeano. Sus laminillas, de bordes desgarrados, conservando fresca la estriación de sus superficies y las pequeñas burbujas de sus inclusiones gasosas, son siempre fácilmente reconocibles a un examen microscópico directo.

Pero, prescindiendo de los mencionados caracteres diferenciales, petrográficos y químicos, entre el loess pampeano y el loess de los demás países, existen analogías evidentes y numerosas, especialmente físicas y estructurales. Todos estos loess tienen en común los caracteres siguientes:

1. — Distribución geográfica en relación a determinadas zonas climáticas.
2. — Distribución en mantos originariamente continuos, independientemente de las condiciones morfológicas de la superficie de sedimentación.
3. — Agrietamiento según planos normales a la superficie del banco y consecutivo desprendimiento en bloques en modo de formar acantilados verticales.
4. — Falta de estratificación y de separaciones zonales de materiales constitutivos en el espesor de los bancos.
5. — Color uniforme dentro de la gama del pardo.
6. — Material constitutivo de aspecto homogéneo, terroso y muy deleznable.
7. — Suma capilaridad.
8. — Masa recorrida en todo sentido por finos canalículos ramificados, radiciformes.
9. — Textura migajosa (*Krümelstruktur*).
10. — Estructura pelítica.
11. — En su composición, escasa cantidad de arcilla verdadera y, en la roca no alterada, carbonato de calcio finamente subdividido y distribuído uniformemente en el espesor de la masa.
12. — Concreciones calcáreas nodulares (*Tosquillas, Poupées, Loess-kindeln, Calcarelli*).



13. — Decalcificación y transformación en lehm por acciones meteoróricas.

14. — Restos de organismos exclusivamente terrestres, macroscópicos (huesos de mamíferos, cáscaras de moluscos) y microscópicos (células silíceas de vegetales, frústulos de diatomeas, espongolitos).

Basados sobre las anteriores analogías, es completamente justificado que reconozcamos también para los sedimentos eólicos del pleistoceno de las pampas condiciones capaces de permitir su reunión bajo la misma denominación de loess. Esta denominación quedará aún más justificada, si consideramos que el loess pampeano, al par que todos los demás, representa una acumulación exótica de elementos pelíticos derivados de un intenso y prolongado proceso alterativo de rocas muy variadas. Además, conviene agregar que, a pesar de las diferencias petro-químicas relativas y absolutas, ya apuntadas, tanto el loess pampeano como los demás loess, genéticamente corresponden a un mismo proceso y en todos los casos representan antiguos suelos formados por polvos meteoricos y cuya fijación, aspecto e incremento se efectuaron con el concurso de acciones biológicas y metasomatósicas.

Por otra parte, los caracteres diferenciales absolutos (silicatos amorfos hidratados, hidrargillita, sílice libre y limonita), que confieren al loess pampeano un aspecto subláteritico indiscutible, se deben exclusivamente a las peculiares condiciones climáticas bajo las cuales sus elementos se han formado y acumulado. Ya en otra oportunidad, aplicando en Sud América las ideas de Penck sobre las oscilaciones del clima cuaternario (48, págs. 7-20), he tratado de demostrar que en la Pampa, situada en el ámbito de las oscilaciones del borde polar de la zona árida austral, la formación del loess se efectuó bajo el clima seco y cálido de fases anaclimáticas, esto es, durante fases interglaciales (32, págs. 5-9). En cambio, el loess europeo, según Sauer, Tietze, Krause, Wiegers, Werth, Lauterborn, Gagel, Brockmann-Jerosch y las recientes observaciones de Soergel (60, págs. 6 y sig.) y el loes de China, según la opinión de Solger (61) se han formado durante fases glaciales (cataclimáticas).

Pero, para definir aún más cabalmente el loess pampeano e interpretar correctamente su edad, posición estratigráfica, génesis y significado es imprescindible su neta separación de los limos loessiformes del pampeano mismo.

Las dificultades, que a un examen superficial obstaculizan una neta diferenciación entre loess y limos pampeanos, estriban en la circunstancia de que, en la mayor parte de los casos, los limos están consti-



tuídos por los mismos elementos del loess, ya sea que estos elementos hayan sido deflados desde mantos loésicos de la misma región o directamente desde las regiones de origen, ya que los mismos elementos hayan alcanzado los cauces y las cuencas de sedimentación por arrastre fluvial o por escurrimientos meteóricos. Pero, un examen prolijo, en todos los casos, para los limos descubrirá condiciones de orden petrográfico, estratigráfico, estructural, paleontológico, etc., que, en contraste con las condiciones del loess eólico, demostrarán claramente los efectos del largo arrastre áqueo de sus materiales y de su larga permanencia en el seno de las aguas.

Pero, antes de analizar las características de ambos tipos de rocas, no estarán demás algunas observaciones sobre los caracteres generales de los sedimentos aluvionales de la Pampa. Estos, como en todos los casos análogos, se pueden repartir en las tres categorías principales en las cuales ordinariamente se clasifican las rocas clásticas: psefíticos, psamíticos y pelíticos.

Los sedimentos psefíticos son propios de los valles y de los bolsones de las regiones montañosas peripampeanas, donde forman depósitos de falda y conos de deyección, a menudo de considerable espesor y extensión. Estos depósitos, a veces se distribuyen en forma de "bajadas", a menudo profundamente surcadas por rejuvenecimientos erosivos recientes; otras se escalonan en forma de terrazas a lo largo de los cauces fluviales. Pero, a menudo, mantos de acarreo grueso y mediano, a lo largo de los cauces, se extienden desde el *vorland* de las sierras hasta la llanura por trechos considerables, adosándose o intercalándose a los demás sedimentos de la serie pampeana. Todavía en todo el ámbito de aquella zona que he llamado "pampa deprimida" (33, pág. 245), debajo de un manto delgado de sedimentos finos recientes, las perforaciones descubren capas espesas de rodados, gravas y ripios. En las demás regiones de la Pampa, por lo común, faltan verdaderas acumulaciones psefíticas; sin embargo, a menudo, a los materiales más finos, propios de los sedimentos de tan vasta llanura, alejada de todo relieve montañoso, y especialmente en el espesor de las capas correspondientes a fases de rejuvenecimientos erosivos, se mezclan, en mayor o menor abundancia, elementos más gruesos, derivados de la destrucción local de sedimentos más antiguos. Estos elementos psefíticos, siempre distribuidos en capas, a menudo de estructura torrencial, son constituídos por fragmentos bien o mal rodados de limos endurecidos, tobas, toscas y tosquillas. Los fragmentos o los residuos rodados de estas últimas son, sin duda, los elementos psefíticos que más abundan en los sedimentos aluvionales de la Pampa y especialmente en las capas cena-

gosas del Ensenadense (especialmente del cuspidal de Ameghino), cuya sedimentación siguió a un más intenso impulso surreccional en las sierras peripampeanas, con evidente repercusión sobre la tectónica de la Pampa. Especialmente en Entre Ríos, los sedimentos de este nivel contienen grandes cantidades de tosquillas rodadas, a menudo mezcladas con rodados de arcilla, arenisca y caliza procedentes de la destrucción de los subyacentes depósitos entrerrianos y araucanianos: estos elementos a veces llegan a formar la totalidad del depósito, otras se entremezclan con proporciones variables de limo arenoso, que a guisa de substancia intersticial los cementa en una especie de conglomerado de escasa coherencia (29, págs. 149, 156). Condiciones análogas se observan en la "tosca del Río de la Plata", que corresponde a la misma fase sedimentaria, aunque en esta predominan fragmentos de rocas más tenues (limos endurecidos) de tipos pampianos y araucanianos. En cambio, en la región de Miramar y Necochea, el Ensenadense de Ameghino muestra condiciones idénticas a las que se advierten para el mismo nivel en Entre Ríos, en el sentido de que abunda en fragmentos de caliza concrecional, mezclados con rodados de limos arenosos endurecidos, de tobas, gravillas de rocas antiguas y, a veces, rodados de rocas cristalinas de las sierras próximas (56, pág. 200, fig. 12; 30, págs. 371-376; 36, pág. 282). En esta región, así como también en Monte Hermoso, el *Chapalmalense* y el *Hermosense* de Ameghino presentan una estructura conglomeradiforme análoga, con preponderancia de fragmentos de limos loessiformes endurecidos (30, pág. 341; 36, pág. 281). Para el *Hermosense* esta particular estructura, que me fué dado confirmar en un reciente viaje a la localidad (abril de 1924), es de fácil comprobación y es extraño que ninguno de los autores, que se han ocupado de este interesante depósito, haya hecho mención de ella <sup>1</sup>.

Los sedimentos psamíticos ofrecen la misma distribución de los psefíticos, intercalándose, en los conos de deyección y en las terrazas fluviales, entre las camadas psefíticas, como exponentes de fases aluvionales de menor dinamismo. Pero, desde las regiones serranas periféricas, ellos se distribuyen más extensamente por la Pampa, intercalándose entre sedimentos psefíticos y pelíticos. Capas de arenas fluviales, además que en el subsuelo de la "pampa deprimida", se hallan también, con frecuencia, en varios niveles de la serie pampiana en Entre Ríos, particularmente ahí donde la erosión ha puesto al descubierto capas arenosas marinas, fluviales o eólicas del plioceno entre-

<sup>1</sup> En esta reimpresión utilizo la nomenclatura estratigráfica modificada que propusiera en 1931. En el cuadro de la página 12, he representado las unidades estratigráficas que actualmente reconozco.







rriano. Estos sedimentos arenosos, en parte, fueron removidos también sobre el litoral paranaense de la provincia de Santa Fe, donde muy a menudo la base del *Ensenadense* es constituída por capas psamíticas y donde todos los sedimentos pampeanos de cauce contienen una elevada proporción de arena. Capas psamíticas fluviales se observan con frecuencia también en el espesor de los aluviones pampeanos que rellenaron la vasta cuenca entre los cordones, septentrional y meridional de la provincia de Buenos Aires. Ya las observamos en el *Preensenadense* (Chapalmalense Amegh.) y en el *Ensenadense* superior (Preensenadense) de Miramar (30, págs. 344, 373). Para el *Bonaerense inferior* de Ameghino la facies psamítica se observa casi exclusivamente en proximidad de los lugares donde el *Belgranense* está constituído por restos de médanos costaneros (depósitos éolo-marinos Amegh.), como p. ej. en los alrededores de Punta Porvenir (Mar del Plata) y en varios trechos de la costa entre la desembocadura de los arroyos de El Pescado y Chocorí.

Finalmente los sedimentos pelíticos se observan en toda la extensión y espesor de la forma pampeana y son, sin duda, los que ofrecen mayor importancia y desarrollo vertical y horizontal. Forman limos tenues o duros (*toscas*), compactos o porosos, arcillosos o arenosos, de colores diversos, pero siempre sobre la escala del pardo (rojizo, amarillento, grisáceo, verdoso) y del verde (grisáceo, amarillento, pardusco), claros u oscuros. En las regiones quebradas de la periferia de las Pampas, tanto en los bolsones, como en las cuencas y en los valles fluviales, se intercalan entre las camadas psefíticas y pelíticas, como exponente de fases de menor dinamismo en los procesos de acarreo. Una disposición análoga se observa también en la “pampa alta” (33, pág. 245) y especialmente en los niveles inferiores (capas o de Doering, base del *Ensenadense*), circunstancia que tanto puede correlacionar con un menor desnivel entre las sierras y la llanura, como supone Bodenbender (29, pág. 29), o con el carácter de los materiales de las capas de cubierta terciaria (estratos de tipo calchaqueño) profundamente destruídos en esta época, o con ambas causas. En la “pampa deprimida”, en la “pampa baja”, en la “región mesopotámica” y en el área de la cuenca entre los cordones de las sierras de Buenos Aires, el limo representa, sin duda, el componente principal de los sedimentos de cauces pampeanos, permanentes y temporarios. En los mismos depósitos psefíticos y psamíticos de estas regiones, entran casi siempre, en mayor o menor proporción, elementos pelíticos, formando el cemento de unión entre los materiales más gruesos: raramente estos se encuentran sueltos y lavados. En estas regiones, el escaso valor vertical de los movimientos pampeanos de carácter ascendente, y la tenuidad de los materiales de la base terciaria

ria, fueron las causas que determinaron el predominio de una sedimentación cenagosa; una fácil y rápida maduración de los ciclos erosivos y los movimientos descendentes de discreta amplitud favorecieron el encenagamiento de los cauces y determinaron el notable espesor de los aluviones pelíticos. A estas causas debemos agregar también periódicas fases de notable incremento en las precipitaciones meteóricas con un correlativo aumento de escurrimientos pluviales sobre terrenos tenues y un considerable enriquecimiento de la red hidrográfica. Durante estas fases, la escasez del declive general de la Pampa y la existencia en ella de numerosas zonas deprimidas provocaban la formación de amplios llanos de desborde, donde los ríos, separándose en numerosos brazos divagantes, abandonaban sobre grandes extensiones los detritus finos que aun quedaban suspendidos en sus aguas. Frecuentemente, al cruzar estas zonas, las corrientes terraplenaban sus cauces y formaban prismas de deyección, estableciendo su curso a un nivel más alto que aquél del terreno circundante. De esta manera, a los costados de los ríos se formaron numerosos y extensos "bañados" de fondo cenagoso, donde las aguas de desbordes se estancaban por largo tiempo. A consecuencia de las mismas causas, sobre el borde del océano se establecieron amplias zonas con carácter de *wadden* (marismas) y extensos llanos de aluviones cenagosos (*marsch*).

Además que en los *thalwegs* y en las depresiones en conexión con los cauces fluviales, sedimentos pelíticos se acumularon por toda el área de las pampas en el fondo de cuencas cerradas, grandes y pequeñas (lagos, charcos, esteros y pantanos). En el espesor de la serie pampeana que cubre las dilatadas llanuras argentinas, estos sedimentos se intercalan con tanta frecuencia que autorizan a la deducción de que, en determinados momentos, la mayor parte de las Pampas quedó inundada por las aguas meteóricas y expuesta a una abundante sedimentación cenagosa. En estas cuencas sin desagüe, generalmente con carácter de bandejas (*pfannen*), cuya formación fué debida no sólo al carácter fisiográfico de la región sino también a las irregularidades e indecisiones de la sedimentación eólica durante fases áridas, el proceso sedimentario quedó preponderante, sino exclusivamente, librado a la acción de los escurrimientos pluviales (*ruissellement*), sobre vertientes sumamente suaves y esculpidas en rocas pelíticas. Por lo tanto, en su fondo se acumularon limos tenues y homogéneos, cuyos caracteres se aproximan mucho a los del loess eólico. La confusión de estos limos con el loess es tanto más fácil cuanto que generalmente, lejos de los lechos fluviales, ellos se intercalan en forma de lentes, más o menos extendidas y a menudo delgadas, entre los bancos de loess. En estos casos, muy



frecuentes, casi siempre el límite entre la lente cenagosa y el subyacente banco de loess es sumamente borroso a consecuencia de remociones locales de los materiales del banco loésico que forma el fondo de la cuenca y entonces la lente cenagosa puede pasar inadvertida o ser confundida con una zona superficial de loess descompuesto en lehm.<sup>1</sup>

Por las anteriores consideraciones, es especialmente sobre estos limos que debemos insistir al intentar una diferenciación petrográfica y estratigráfica; aunque será necesario también tener en buena consideración los sedimentos pelíticos de cauces, aun mezclados con materiales de acarreo psamítico y psefítico, puesto que demasiado a menudo estos sedimentos fueron tomados como base exclusiva para fundar teorías de carácter general para la génesis del loess pampeano. Naturalmente, el defecto fundamental de todas estas teorías, al no haber separado prolijamente sedimentos de origen diferentes, estriba en que todas ellas extienden a toda la serie pampeana la génesis de una parte de ésta. Lo mismo debe haber ocurrido para las demás regiones loésicas de la superficie terrestre, donde evidentemente, *mutatis mutandis*, el origen del loess ofrece los mismos problemas. También en éstas, loess normal y loess removido (limos), inclusive los sedimentos cenagosos fluviales, fueron a menudo confundidos y tomados en conjunto para formular conclusiones de carácter general. Así ha ocurrido en Alemania donde Dammer y Wahnschaffe, por ejemplo, consideraron como loess sedimentos que según Siegert, Naumann y Picard no representan más que depósitos de marga arenosa (*mergelsande*); lo mismo en China, donde las investigaciones de Bailey Willis y las más recientes de Andersson han sostenido que por lo menos una gran parte del loess eólico de Richthofen es limo fluvial dentro del cauce de antiguos ríos.

Las principales diferencias entre loess y limos pampeanos se refieren

<sup>1</sup> El término de *lehm* se halla usado por los diversos autores tanto para indicar la zona de alteración meteórica (decalcificación e hiperoxidación) del loess, como para designar limos de aluvión. Por esta razón, Issel (*Compendio de Geología*, II, pág. 518, Turín, 1897) aconsejaba suprimir de la terminología geológica una denominación tan mal definida. Sin llegar a este extremo, creo que este término bien puede conservarse en la acepción más usada, que lo aplica con un sentido genético determinado, esto es, para indicar un producto de descomposición *in situ* (eluvial) del loess. Pero entonces, no conviene traducir *lehm* en limo, como lo hace Kantor al afirmar que "las aguas con CO<sub>2</sub> decalcifican el loess, transformándolo en limo" (41, pág. 219), porque la palabra castellana limo, la que puede considerarse sinónima de barro, fango, lodo, cieno, corresponde más bien al término alemán *Schlick*, e indica una masa que resultó de una mezcla de materiales terrosos y agua. Más exactamente, por limos entendemos, en sentido geológico, aquellos sedimentos recientes, finos y finísimos, acumulados por los ríos en condiciones de mínimo dinamismo, y especialmente la acumulación de dilavación meteórica (*ruissellement*) de superficies poco inclinadas y formadas por rocas tenues, dentro de cuencas y cauces (limos aluviales y coluviales), tal como se forman, en la actualidad, en los barriales, ciénagas, pantanos, esteros, etc. diseminados en la dilatada llanura argentina.

a la distribución, estructura, textura, color, composición, conservación y contenido palentológico de los dos tipos de sedimentos.

### DISTRIBUCIÓN

La distribución de los sedimentos respectivos ofrece un primer carácter diferencial entre loess y limo loessiforme. En efecto, mientras el loess se distiende en forma de mantos originariamente continuos sobre la superficie de sedimentación, los limos forman depósitos discontinuos.

Todo banco de loess, aun si acciones erosivas posteriores a su sedimentación han afectado más o menos profundamente su superficie superior o han interrumpido su continuidad, muestra claramente que sus materiales se depositaron independientemente de las condiciones topográficas de la región. Su superficie inferior sigue todas las ondulaciones del terreno, y el banco, a veces con espesor uniforme, desde el fondo de las depresiones sube a revestir los relieves y desde la llanura se distiende por la falda hasta alcanzar las altas mesetas de las montañas. Los limos, en cambio, forman depósitos lenticulares, más o menos extendidos, pero siempre limitados al fondo de las depresiones, en las cuencas lacustres o palustres y en los cauces fluviales.

Las objeciones que, al respecto, se deducen de algunas observaciones de Keidel (42, pág. 42), pierden importancia si separamos netamente loess y limos en base a los caracteres de su distribución. Las mencionadas observaciones, por lo demás muy exactas, al mismo tiempo que demuestran como, en la región de la Sierra de la Ventana, el loess "entra desde la pampa, casi sin interrupciones, muy adentro de las sierras" agregan que "aunque la distribución originaria del loess era independiente, a lo menos hasta cierto grado, de las condiciones de la superficie, el levantamiento cartográfico (42, mapa geológico al 1:25.000) y la investigación detallada de su composición muestran francamente que su posición y las formas de su superficie son determinadas principalmente por la acción del agua corriente". Insisto sobre este detalle porque Kantor (41, pág. 325) en esta frase cree hallar un válido apoyo a sus opiniones, según las cuales la "tierra pampeana" en todos los casos es "limo arcilloso, o arcilla, o limo laterítico". En la región estudiada por Keidel existen loess, cuya distribución es independiente de las condiciones del relieve, y limos, cuya distribución está íntimamente ligada a las depresiones y al curso de los ríos. Las condiciones reales de la formación loésica, en esta región montañosa, al mismo modo que en las demás regiones análogas de la periferia de la Pampa, en



que, en relación a las condiciones fisiográficas y especialmente en conexión con movimientos ascendentes, muy recientes, durante las fases de más intensas precipitaciones meteóricas, las aguas de escurrimiento pluvial han destruído grandes trechos de mantos loésicos, llevando sus materiales, bajo forma de limos, en el fondo de cauces y cuencas. Los espesos depósitos cenagosos que ocupan los valles fluviales de la región, particularmente en correspondencia del curso inferior de los ríos que descienden de las sierras (Quequén Salado, completado con el Zanjón del Indio Rico, Sauce Grande, Napostá Grande, etc.), parte de los cuales pertenecen al pampiano y parte al post-pampiano (querandino-platense), representan el producto del lavado meteórico de extensos mantos loésicos. Sin embargo, en la misma región han persistido amplios trechos de loess eólico pampiano y especialmente post-pampiano. Un manto de éste, conteniendo cáscaras de *Strophocheilus d'Orbigny* Doer. y *Plagiodontes patagonicus* d'Orb., y de sedimentación post-platense, persiste aún casi continuo. En Bahía Blanca, por ejemplo, desde la depresión del Napostá Grande sube por las laderas del valle y reviste las colinas circundantes.

#### ESTRUCTURA

Otro carácter diferencial se deduce de la estructura de los diferentes depósitos: el loess, homogéneo en su estructura, no presenta vestigios de estratificación, ni de separaciones zonales de materiales, en relación con el volumen y el peso de éstos; el limo, en cambio, presenta una estratificación más o menos evidente, generalmente irregular y a menudo de tipo torrencial, a veces en capas de discreto espesor y otras en capitas finísimas (limos psilogénicos).

Pero, es necesario observar, que, mientras para los bancos de loess la falta de toda estratificación es un carácter absoluto, para los limos la presencia de estratificación es un carácter relativo. En efecto, los limos pueden carecer de una estratificación aparente, especialmente cuando se recogen dentro de pequeñas depresiones, como sedimentos de charcos o pantanos. En estos casos, las continuas remociones de los materiales sedimentados, la presencia de una abundante vegetación o el delgado espesor del velo ácueo, pueden haber obstaculizado el proceso de estratificación. En estos casos debemos tener en cuenta los demás caracteres diferenciales, que siempre nos permitirán reconocer la verdadera facies de estos sedimentos. Además, también en estos casos, un examen directo y prolijo de las condiciones estructurales, muy a me-

nudo nos revelará vestigios de una subestratificación o de separación zonal del depósito en relación con la diferente velocidad de caída, dentro del medio líquido, de las partículas de diferente forma, peso y tamaño.

Por otra parte, en algunos mantos de loess, como, por ejemplo, en el espeso banco del *Bonaerense* de Córdoba, es posible reconocer zonas más compactas, que pueden repetirse en varios niveles del espesor del banco, simulando una estratificación. Pero, en estos casos, los caracteres de las zonas (su paralelismo con las superficies del banco, la identidad de composición petrográfica, la falta de límites netos de demarcación, la indiferencia del contenido paleontológico, etc.) justamente apreciados, excluyen su condición en capas de estratificación y las definen como zonas en relación con fases de mayor humedad y de un correlativo mayor desarrollo de vegetación dentro de un período climático sub-árido.

Exceptuando los casos mencionados, los caracteres deducidos de la estructura de los depósitos son de mucha importancia y, casi siempre, decisivos. La homogeneidad de los bancos de loess contrasta francamente con la heterogeneidad de los sedimentos cenagosos en los cuales, además de una neta estratificación paralela, oblicua o imbricada, muy a menudo hallamos intercalaciones de capas psefíticas o psamíticas.

Esta diferencia estructural entre loess y limos ya fué apuntada por diversos autores. Burckhardt (14, pág. 149-152) para el pampeano entre Rosario de Santa Fe y Baradero, distinguió un "loess amarillo" homogéneo, sin vestigio alguno de estratificación, y un "loess pardo", que muy a menudo muestra pruebas incontestables de la acción de las aguas y una estratificación a veces muy pronunciada. En efecto, en las barrancas del río Paraná, en la región estudiada por Burckhardt, se observan, como componentes estratigráficos principales, un nivel superior formado por loess bonaerense (Pampiano superior) y otro inferior (que descansa sobre una base más antigua) constituido por limo ense-nadense (Pampiano medio): en los puntos en que éste no muestra una estratificación bien definida, presenta, asimismo, una evidente textura caótica, en que "fragmentos de loess, de margas verdosas y de *toscas*, se hallan irregularmente aglomerados", textura que, también para estos puntos, contrariamente a la opinión de Burckhardt, revela la acumulación del depósito mediante el concurso de las aguas.

También Roth (56, págs. 198-200) considera, en la serie pampeana, "depósitos primarios" de loess de estructura uniforme y capas de "loess removido" en que "abundan fragmentos de loess endurecidos así como



granos y rodados de tosca que presentan generalmente ligeras estratificaciones". En ambos casos de "loess estratificado", los respectivos autores se refieren a un mismo horizonte pampiano (Mesopampeano Roth, Pampeano medio *Burckhardt*) de una misma región, donde, generalmente, los limos del *Ensenadense*, bien estratificados y con intercalaciones de capas psamíticas, hasta psefíticas, en la parte inferior, van progresivamente perdiendo nitidez en su estratificación y adquiriendo relativa homogeneidad de estructura. En estos casos, como en casos análogos en las provincias de Entre Ríos, Santa Fe y Buenos Aires, los acantilados de Chapadmalal y Miramar inclusive (36, pág. 290) la mencionada variación vertical en la estructura de los depósitos cenagosos, se debe a una progresiva maduración del relieve y al progresivo encenagamiento de cuencas y cauces. Se trata de un proceso análogo al que se observa también en los depósitos aluvionales de la región cordobesa (34, págs. 150, 151), donde los aluviones, inferiormente más gruesos y bien estratificados, se cargan progresivamente de elementos pelíticos y se transforman, en la parte superior, en un limo arenoso y arcilloso en bancos lentiformes, no estratificados. En estos casos, además de las otras características, la continuidad entre los diversos niveles de un mismo depósito no permite separarlos genéticamente y obliga a considerar como limo la parte superior de los mismos. Cuando esta parte superior sostiene un banco de loess, siempre —como *Burckhardt* (14, pág. 151) ha observado en San Nicolás y en Rosario— una neta superficie de erosión, ora lisa, ora accidentada, separa las dos formaciones.

Aunque estoy de acuerdo con Kantor (41, pág. 299) al no considerar siempre suficiente el criterio estructural para distinguir el limo del loess, no puedo convenir en que el mismo criterio sea despreciable en el mayor número de los casos. La nota que el mismo autor agrega en apoyo de su opinión me parece inadecuada, porque Bodenbender, al mismo tiempo que observa que en todos los depósitos fluviales de las regiones por él estudiadas "se halla indicios de estratificación, aunque a veces no muy evidentes", acto continuo agrega que "donde ella no se presenta, tenemos probablemente a la vista un producto sub-aéreo con el carácter de loess, el que se ha depositado sin intervención de las aguas" (11, págs. 35-36). Y, aunque Bodenbender luego insinúa que la falta de estratificación en estos casos puede también responder a otras circunstancias, insiste en que "las capas pulverulentas arriba mencionadas, notables por la casi completa falta de estratificación y muy parecidas al polvo fino de los médanos, deben indudablemente su origen a los vientos" (11, pág. 37). Los mismos criterios guiaron al mismo

autor en su más reciente reseña (12, págs. 208-209), donde considera que “loess sin estratificación”, de “origen eólico”, no debe confundirse con “loes alterado por las aguas, no siendo siempre posible distinguirlo de ciertos estratos de limo, formado puramente por la acción de las aguas”.

En resumen, el loess forma bancos homogéneos en su estructura y sin vestigios de estratificación; los limos, en general, forman complejos estratificados, con frecuentes variaciones estructurales en el sentido horizontal y vertical.

### TEXTURA

También la textura ofrece para los dos tipos de sedimentos diferencias apreciables. Por de pronto, el loess pampeano, al igual que los demás loess, muestra una textura sumamente uniforme, tanto que se considere en los diferentes puntos de su extensión, como en los diferentes

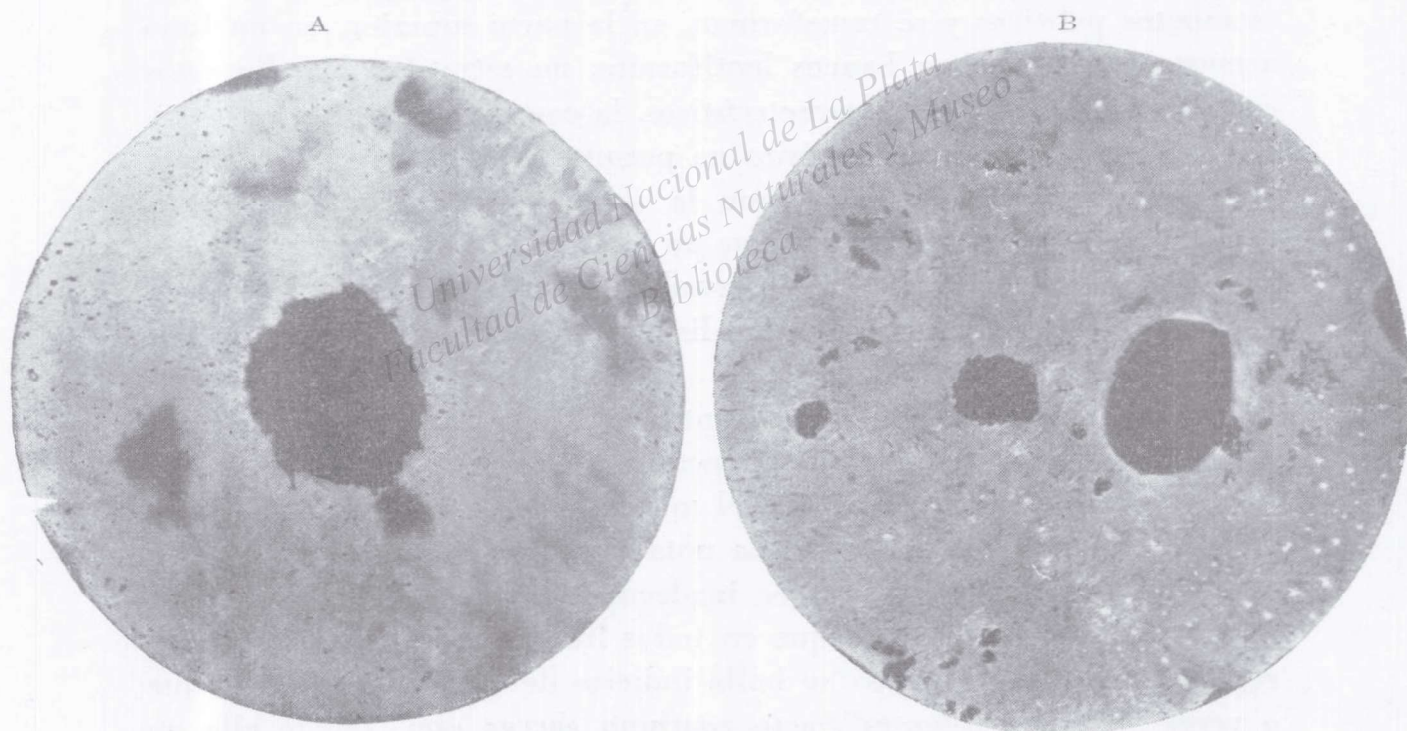


Fig. 1. — Esferulitas del loess pampeano “bonaerense” de los alrededores de Paraná.  
A y B  $\times 100$ .

niveles de su distribución vertical. En cambio, la textura de los limos varía de punto a punto, hasta en el espesor de un mismo depósito observado en una localidad determinada. Y, aun si, como a veces se observa en las pequeñas intercalaciones lenticulares, los limos ofrecen textura uniforme en todo el depósito, el aspecto de esta textura es muy diferente a la del verdadero loess.



El loess muestra una textura migajosa (*Krümelstruktur*) muy característica, pero muy fina, al punto que sus detalles sólo se pueden apreciar con la ayuda de un lente de suficiente aumento. Esta particular textura es debida a un especial estado de aglomeración de las partículas constitutivas, cuya importancia y significado estudiaremos más adelante. Por el momento sólo diré que, en todo loess, las finísimas partículas de sus materiales se reúnen, por simple yuxtaposición o, por lo menos, sin el concurso de un cemento aparente, en forma de esferulitas cuyo diámetro generalmente varía de 0,015 a 0,25 mm en los loess de textura más fina y de 0,15 a 0,65 mm en los de textura más gruesa (Fig. 1). Roth reconoció esta interesante particularidad y publicó, al respecto, algunas fotografías muy demostrativas (56, pág. 166 y fig. 4 *a-b*), sin haber comprendido su alto valor e importancia para la génesis del loess pampeano. Estas esferulitas dejan entre sí cavidades capilares (de no confundir con los canalículos ramificados de que hablaré más tarde), sólo apreciable con fuertes aumentos, y a los cuales se debe la exquisita capilaridad del loess.

En cambio, la textura de los limos loessiformes es irregular y groseramente granulosa. Sólo en algunos casos es fina y compacta por una elevada proporción de materiales arcillosos. Pero, en todo caso, las características esferulitas del loess en los limos no se observan. En una sola circunstancia encontré numerosas esferas en el espesor de un limo que rellenaba la cavidad de una madriguera, conteniendo aún los restos de su antiguo habitador (*Sclerocalyptus perfectus*, Gerv. et Amegh.), y excavada en la parte alta de la barranca del Salto del Guaviyú, al sur de la ciudad de Paraná (E. R.). Estas curiosas aglomeraciones esferoidales, de 10 a 28 mm de diámetro, formadas por los mismos materiales del limo que las contenían, se hallaban distribuídas sin orden y probablemente habían sido engendradas, alrededor de un núcleo más denso, por movimientos vorticosos del limo dentro de la cavidad de la madriguera (Fig. 2). Su forma, tamaño y estructura presentan cierta analogía con las bolillas (*pallottole*) subpisolíticas estudiadas por Lyell en las tobas volcánicas recientes del Vesubio y por Clerici en las tobas volcánicas cuaternarias del Lacio.

Además, los finos intersticios capilares del loess, en los limos están reemplazados por cavidades anfractuosas más grandes, generalmente visibles sin la ayuda de lentes, alcanzando a menudo hasta un centímetro o más de diámetro. Algunas fotografías de limos (no loess) publicadas por Roth (56, figs. 5, 7 *a-b*), muestran claramente la irregularidad de forma, dimensiones y distribución de estas cavidades. Pero, algunas

veces, ellas son más finas, regularmente esféricas o elipsoidales, de superficie lisa, como impresiones de burbujas gasosas en la masa del limo aun suficientemente blando. En algunos limos las cavidades presentan secreciones bolares o concreciones calcáreas, yesosas o limoníticas.

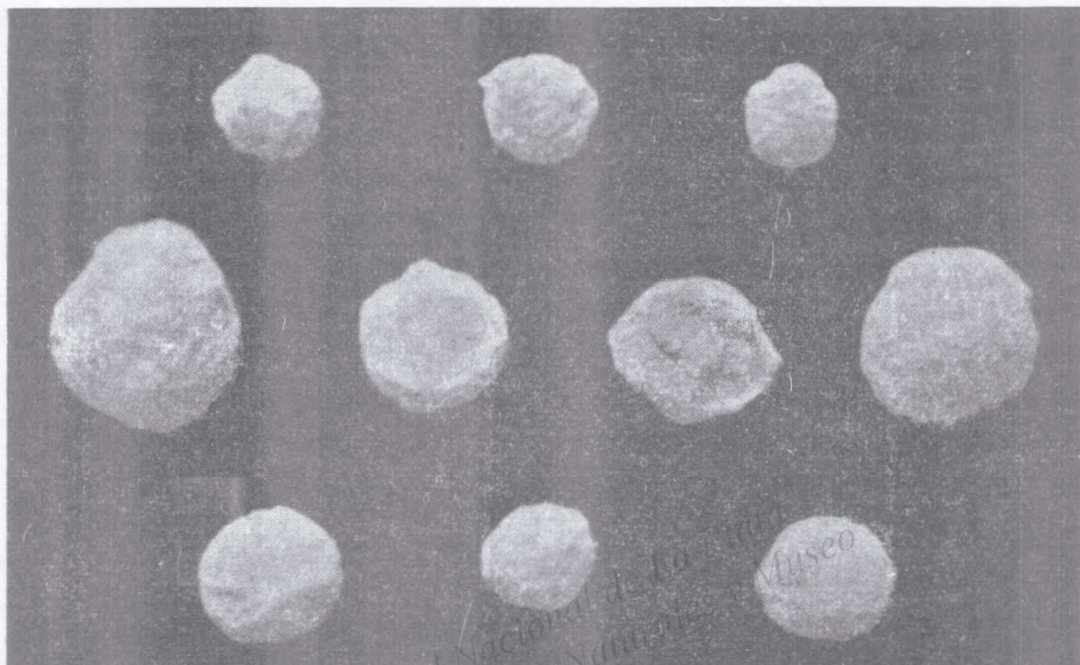


Fig. 2. — Bolillas subpisolíticas de limo pampeano. — Tamaño natural.

#### COLOR

También por lo que se refiere al color el loess es mucho más homogéneo y uniforme que los limos. En todo el espesor y extensión de un banco loésico no se observan variaciones de color, salvo, naturalmente, en los puntos en que han intervenido circunstancias posteriores a la sedimentación del banco mismo y capaces de alterar, más o menos profundamente, su primitivo color. En estos casos (filtraciones especialmente), junto con un cambio de color, observamos también cambios locales en el aspecto, consistencia y densidad en la roca. Prescindiendo de ellos, el color del loess es siempre de un pardo, más o menos claro, uniforme y característico. Este color fundamental sólo cambia de matiz, rojizo, amarillento, grisáceo, pasando de un banco a otro de diferente edad. Generalmente los loess pampeanos más antiguos tienen matices rojizos (*fawn-colored*), los más recientes amarillentos y los post-pampeanos algo grisáceos, a consecuencia de su contenido aun elevado en sustancias orgánicas, no completamente oxidadas.



En cambio, en los limos el color es sumamente variable: no sólo varía el tono y el matiz, sino también el mismo color, que de pardo, pasa a verde y a gris. A veces estas variaciones son rápidas y numerosas, tanto en el espesor como en la extensión de un mismo depósito: los sedimentos de las "Barrancas del Norte" de Mar del Plata, cuyas variaciones de color llamaron ya la atención de F. Ameghino (5, pág. 401) son precisamente limos del *Ensenadense*, los mismos que en Punta Hermengo (Miramar) ofrecen la misma complicación de estructura y de colores (30, pág. 373). Sin embargo, también para los limos pampeanos el color fundamental es el pardo en sus diversas tonalidades: rojizas (*Pfefferkuchenbraun*, Lehmann-Nitsche — 45, pág. 204; *Leberbraun*, Steinmann — 62, pág. 229; *Rehbraun*, Burckhardt — 14, pág. 152; *light-reddish*, Wright a. Fenner — 66, pág. 82; *red-brown*, 9, pág. 362, etc.), para los niveles inferiores y medios; amarillentas o grisáceas, para los medios y especialmente superiores. Pero, en todos los niveles pampeanos, tanto en los más antiguos, como en los más recientes, entre los sedimentos pardos pueden intercalarse capas o lentes de materiales de distintos tonos y matices del verde y del gris. Otras veces, hasta todo el depósito cenagoso puede ser verdoso, con intercalaciones de capas y zonas pardas o sin ellas: estos depósitos, generalmente formados por materiales grumosos o compactos (*marnes verdâtres grumeleuses* de Burckhardt — 14, págs. 154, 167, etc.; *argile sêladonitique* de Doering — 25, pág. 173; *greenish deposits* de Bailey Willis — 8, pág. 23; *greenish loess* de Wright a. Fenner — 66, pág. 64; 41, pág. 315) formaron el "terreno pampeano lacustre" de Ameghino (2, pág. 230) o *lujanense* (4, pág. 33). El color verdoso de estos limos generalmente es más definido y manifiesto cuando la roca está humedecida; al desecarse, se transforma en un gris verdoso o pardusco más o menos claro. En ambos casos se destaca fácilmente sobre el fondo pardo de los sedimentos entre los cuales se encuentra intercalado.

También en los demás casos, por lo común, resulta fácil por el color distinguir los limos del loess, puesto que el pardo en los limos presenta numerosas variaciones en un mismo depósito, en contraste con la uniformidad del color de los bancos loésicos. Solamente en pequeños depósitos cenagosos, por lo común lentiformes e intercalados entre bancos de loess, es posible observar materiales teñidos de un pardo más o menos uniforme; pero en estos casos el limo se destaca siempre por su color más obscuro en relación con el pardo más claro del loess contiguo.

### COMPOSICIÓN LITOLÓGICA

Desde un punto de vista general, el loess es una roca completamente alóctona: con los mismos caracteres petrográficos y conservando una completa independencia litológica, el loess se distiende sobre cualquier terreno, sedimentario o cristalino. Del mismo modo su composición petrográfica no está visiblemente influenciada por los caracteres litológicos de los relieves próximos, cuando el manto de loess se desarrolla en proximidad o en el interior de regiones montañosas.

El carácter exótico del loess pampeano fué ya considerado por varios autores, y especialmente por Burmeister (15, pág. 114), por Steinmann (62, pág. 226) para el argentino y por K. Walther (64, pág. 31) para el uruguayo. Este último autor, contra las hipótesis de Roth (55, pág. 430) sobre un origen autóctono (eluvial) del loess y las afirmaciones del mismo autor sobre la distinta composición del loess en relación a su posición con respecto a una costa o una montaña, observa que el loess, en el Uruguay, conserva la uniformidad de su composición tanto sobre los bordes del mar, o del Río de la Plata, como en el interior, donde se adosa a los afloramientos de la base cristalina (64, pág. 30). Lo mismo se observa en la Argentina, donde el loess conserva su homogeneidad de composición en todas partes, en Córdoba como en Entre Ríos y en la provincia de Buenos Aires. Todo lo que se ha objetado, directa o indirectamente, en contra de esta observación, ha sido basado sobre un examen de limos pampeanos. Estos, sin duda y en contraste con lo que se observa en el verdadero loess pampeano, ofrecen una composición litológica variable, heterogénea e influenciada, más o menos fuertemente, por la naturaleza de las rocas del subsuelo y del relieve regional.

En realidad, también Roth había observado, en la serie pampeana, sedimentos homogéneos y sedimentos heterogéneos; pero, convencido de que el loess es el producto de una transformación local de cualquier clase de materiales, (56, págs. 203-212), hasta la arena y la arcilla, Roth pone en relación genética los dos diferentes tipos de sedimentos y considera que los sedimentos homogéneos derivaron de los heterogéneos por un "proceso de loessificación" y que éstos llegarán a las mismas condiciones de aquéllos cuando su loessificación haya terminado. No pudiendo aquí entrar en los detalles de un examen crítico de las teorías sobre origen del loess pampeano, diré sólo que, siendo imposibles las transformaciones supuestas por Roth, no puede caber duda de que, también desde el punto de vista petrográfico, debemos separar un loess homogéneo de limos heterogéneos.



Naturalmente, este carácter debemos entenderlo en sentido relativo, en cuanto que en la masa fundamental, fina y exótica, del loess podemos hallar cierta proporción de materiales más gruesos, entópicos, cuya presencia puede ser correlacionada con remociones eólicas de rocas locales. En esta categoría podemos considerar, por lo menos, parte de los elementos psamíticos del loess y, en casos especiales, eventuales elementos psefíticos. Es este el caso, por ejemplo, del manto de loess que cubre la meseta patagónica de gran parte del territorio del Chubut, península de Valdés inclusive, y que contiene proporciones variables de pequeños rodados: estos se hallan distribuidos sin orden en el espesor de la masa fundamental pelítica, como almendras o avellanas en la pasta de un turrón, y proceden por deflación de las camadas de "rodados tehuelches". Otro caso, frecuente en los mantos eólicos que se distienden por las faldas de las sierras peripampeanas, es proporcionado por la mezcla, más o menos abundante, de escombros angulosos (*éboulis*) de rocas diversas, derivados de la disgregación meteórica de las cumbres, con el material fino y propio del loess. Pero exceptuando estos casos, que se verifican afuera de la Pampa (en regiones de fuertes gradientes o de abundantes faldeos), en la llanura pampeana y hasta en la periferia de la misma, los elementos que podríamos considerar entópicos son exclusivamente psamíticos: así, por ejemplo, las laminillas de micas y las partículas de rocas cristalinas en el loess de Córdoba y los gránulos calcedónicos en el loess de Entre Ríos, según anteriores observaciones de Roth (16, pág. 174), que seguramente proceden de remociones eólicas, locales y parciales, de sedimentos fluviales más antiguos.

Pero, en todo caso, en el verdadero loess, aun de regiones periféricas profundamente surcadas, el predominio de estos elementos de origen local, debe ser considerado en sentido relativo, esto es, en relación al contenido psamítico del loess mismo. En efecto, tanto en Córdoba, como en Entre Ríos, donde el subsuelo está formado por capas espesas de arenas fluviales y donde, a menudo, entre bancos loésicos, se intercalan lentes psamíticas de dilavación meteórica de las superficies aflorantes de las mismas arenas, el loess no contiene cantidades absolutas de elementos psamíticos sensiblemente mayores que las del loess de las demás regiones de las pampas.

Debemos exceptuar el loess de la costa del Atlántico, en proximidad de antiguas playas arenosas, en el cual los materiales psamíticos pueden aumentar en tal proporción hasta formar la parte predominante del depósito: en estos casos, frecuentes para el *Belgranense* (los "depósitos eolomarinos" de F. Ameghino — 5, pág. 388) y más raros para el *Bonaerense* de la costa marina entre Mar del Plata y Monte Hermoso,

la roca, si bien de acumulación eólica, deja de ser loess y sus depósitos toman la distribución y la estructura característica de las dunas.

Cuando estamos en presencia de un verdadero loess los elementos psamíticos son escasos, en contraste con lo que se observa para los limos, en los cuales estos elementos son siempre abundantes o abundantísimos, a prescindir de todos los casos en que se agregan, además, elementos psefíticos en mayor o menor cantidad.

En los limos la proporción del contenido arenoso es, al mismo tiempo, muy variable de un depósito a otro y en las diversas capas o zonas de un mismo depósito. Finalmente, muy a menudo, los caracteres mineralógicos de este contenido está en relaciones íntimas con la composición petrográfica del subsuelo o de los relieves próximos.

La proporción de arena en los limos es tan abundante que es posible, casi siempre, apreciarla directamente con la vista o, por lo menos, con el tacto: al apretarlo entre los dedos, un trozo de limo se deshace en un polvo desigual y áspero, mientras un trozo de loess se descompone en un polvo finísimo, casi impalpable.

Con mayor exactitud esta diferencia resalta al análisis mecánico. El porcentaje, siempre relativamente elevado de "arena fina" y su amplia variabilidad en los limos pampeanos, se puede apreciar comparando los resultados de los análisis de Herrero Ducloux (39, pág. 164), de Meigen y Werling (41, pág. 314), y de Principi (49, pág. 220), quienes bajo el nombre de "loes", en realidad han estudiado muestras de limos del pampeano inferior y medio de Chapadmalal, Monte Hermoso y Rosario-Alvear, etc.; en estas localidades el espesor de los acantilados está formado totalmente, o casi, por limos del *Hermosense*, *Chapalmalense* y *Ensenadense*.

La extrema fineza de los materiales del verdadero loess pampeano resalta por el análisis de Bade (7, pág. 217), según el cual, en una muestra de La Plata, el 81 % estaba constituido por partículas de diámetro menor de mm 0,05. Según Principi (49, pág. 221), un loess de la meseta más alta de Córdoba (Escuela de Agricultura) tenía un 67,80 % de las mismas partículas. Este autor, al comparar loess pampeano con loess italiano, en realidad ha comparado un limo (Monte Hermoso) del pampeano inferior y un loess (Córdoba) del pampeano superior con el loess de la colina de Turín. Los datos proporcionados por Principi son muy interesantes y los he reunido en el cuadro siguiente por facilitar su comparación. (Véase Apéndice).



| DIÁMETRO DE LOS GRÁNULOS      | CANTIDAD EN PESO — % |         |       |
|-------------------------------|----------------------|---------|-------|
|                               | M. Hermoso           | Córdoba | Turín |
| Debajo de mm 0,01 .....       | 11,72                | 21,19   | 27,49 |
| Entre mm 0,01 y mm 0,05 ..... | 20,96                | 46,61   | 36,60 |
| Entre mm 0,05 y mm 0,1 .....  | 12,61                | 10,57   | 20,24 |
| Entre mm 0,1 y mm 0,2 .....   | 34,82                | 7,08    | 13,30 |
| Entre mm 0,2 y mm 0,5 .....   | 18,83                | 13,79   | 2,32  |
| Arriba de mm 0,5 .....        | 1,06                 | 0,76    | 0,05  |

Comparando estos datos, fácilmente se deduce que las diferencias entre el limo de Monte Hermoso y el loess de Córdoba son mucho más considerables que las diferencias entre este y el loess de Turín. Más aún, podríamos decir que, mientras entre limo y loess pampeanos existe una notable discrepancia en las proporciones de los gránulos de diferente diámetro y en la cantidad de los gránulos finos y gruesos, en cambio, el loess pampeano casi coincide con el de Turín en todas las diferentes proporciones de sus gránulos. Las curvas comparativas del cuadro siguiente (Fig. 3) demuestran claramente estas relaciones. Las curvas de los dos loess, especialmente si se observan en comparación con la curva del limo de Monte Hermoso, muestran diferencias insignificantes, particularmente en lo que se refiere a la parte superior de la curva, que, según Siegert (59, págs. 5-6), es la parte característica para el verdadero loess. Las diferencias mayores afectan, en cambio, la parte inferior de la curva (gránulos de diámetro mayor que mm 0,1) que es inestable para todo loess y, por lo tanto, sin especial importancia. Por otra parte, estas diferencias consisten especialmente en que las proporciones de los gránulos de 0,1 a 0,2 y 0,2 a 0,5 se hallan respectivamente invertidas: para el loess de Córdoba la inversión de los dos términos (7, 08-13, 79) representa en la curva una evidente anomalía y no sería tampoco extraño que se tratase de un error de imprenta.

Las mismas discrepancias que hemos observado en los resultados del análisis mecánico de las dos rocas que Principi consideró como loess, se hallan también en los resultados de Meigen y Werling, quienes también, bajo el nombre de "loess pampeano", analizaron muestras de limos (Tala, Alvear, Córdoba) y de verdadero loess pampeano (Rosario, Malagueño, Pucará).

En resumen, las relaciones granulométricas proporcionan un criterio diferencial de importancia entre loess y limos, esto es, entre los dos tipos principales de “rocas pampeanas”. Este criterio ya había sido aprovechado por Kantor (41, pág. 315), al intentar una diferenciación entre loess europeo y su “roca pampeana”; pero, en realidad, las discrepancias apuntadas por este autor, en contraste con cuanto trató de

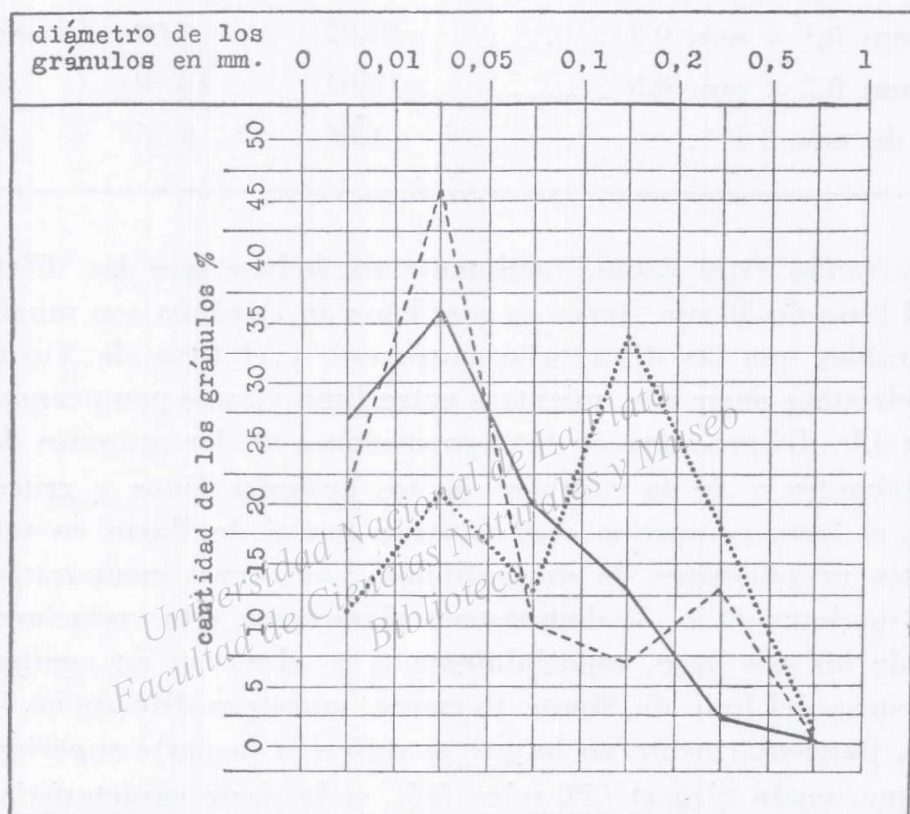


Fig. 3. — Diagrama comparativo entre las relaciones granulométricas del limo de Monte Hermoso (línea de puntos), del loess de Córdoba (línea de trazos) y del loess de Turín (línea continua).

demostrar, pueden aplicarse exactamente a una diferenciación entre loess pampeano y limos pampeanos. Por lo tanto, cambiando los términos de la frase de Kantor, muy bien podemos decir que “el loess pampeano se compone de granos más pequeños y también más uniformes que el limo pampeano, en el que está menos separado el material relativamente más grueso del material fino”.



## COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las diferencias granulométricas apuntadas entre loess y limos corresponden a análogas diferencias en las proporciones de elementos solubles en HCl. Siendo estos elementos solubles (las sustancias zeolíticas de Doering y de Bade) los mismos que forman la mayor parte del material más fino de estas rocas, naturalmente existe una proporción directa entre tenuidad y solubilidad de las mismas: al loess, al cual corresponde una mayor cantidad de gránulos finos (diámetro menor que mm 0,05), corresponde también una mayor cantidad de silicatos hidratados solubles en HCl; viceversa, a los limos, que se caracterizan por una menor proporción de elementos finos, corresponde una cantidad proporcionalmente menor de los mismos silicatos.

En cambio, una proporción inversa se observa por lo que se refiere a las cantidades de gránulos y partículas de minerales no descompuestos por los ácidos (cuarzo, feldespatos, hornblenda, micas, turmalina, granate, magnetita, zircón, etc.), los cuales forman especialmente el contenido psamítico de loess y limos, contenido mayor en estos que en aquéllos.

Lo mismo se observa con respecto a las proporciones de materiales solubles en  $H_2SO_4$  (compuestos caoliniticos), aunque estas sustancias, generalmente escasas en las rocas pampeanas, pueden variar en el loess y en los limos a consecuencia de factores en relación al estado de conservación y a la edad de los diferentes depósitos.

De mayor importancia para un análisis diferencial entre loess y limos pampeanos, es el contenido de estas rocas en carbonato de calcio. Me refiero únicamente al  $CaCO_3$  en partículas finísimas, distribuídas uniformemente en el espesor de la masa. Este falta siempre en los limos pampeanos. En cambio, en el loess pampeano siempre se halla en cantidad generalmente variable del 2 al 7 %, exceptuando las zonas de descomposición en lehm. Esta diferencia nos suministra indicaciones muy útiles, especialmente en los casos en que los demás caracteres no fueran suficientes para separar los dos tipos de rocas, como en el caso de reducidas intercalaciones lentiformes de limos loessóides tenues entre dos bancos loésicos. Como ya notó Rovereto (58, pág. 7), la ausencia de  $CaCO_3$  pulverulento en los limos fluviales y palustres, depende de que éste ha sido disuelto en el medio mismo en que sus materiales han sido transportados o ha sido absorbido por los vegetales (arbustos de acacias especialmente). Al contrario, su conservación en el loess se debe a la circunstancia de que éste se sedimentó bajo un clima seco y un régimen estépico. (Véase Apéndice).

### CARACTERES FÍSICOS

El loess pampeano, al mismo modo que cualquier otro loess, es una roca de escasa cohesión: en todo caso una leve presión de los dedos es suficiente para deshacerlo en un polvo homogéneo, casi impalpable.

En cambio, el limo ofrece un grado de cohesión mucho mayor. No hay duda de que, en algunos casos, también los limos, especialmente los más recientes (post-pampianos), ofrezcan una marcada tenuidad; pero, en la mayor parte de los casos, necesita una fuerte presión de los

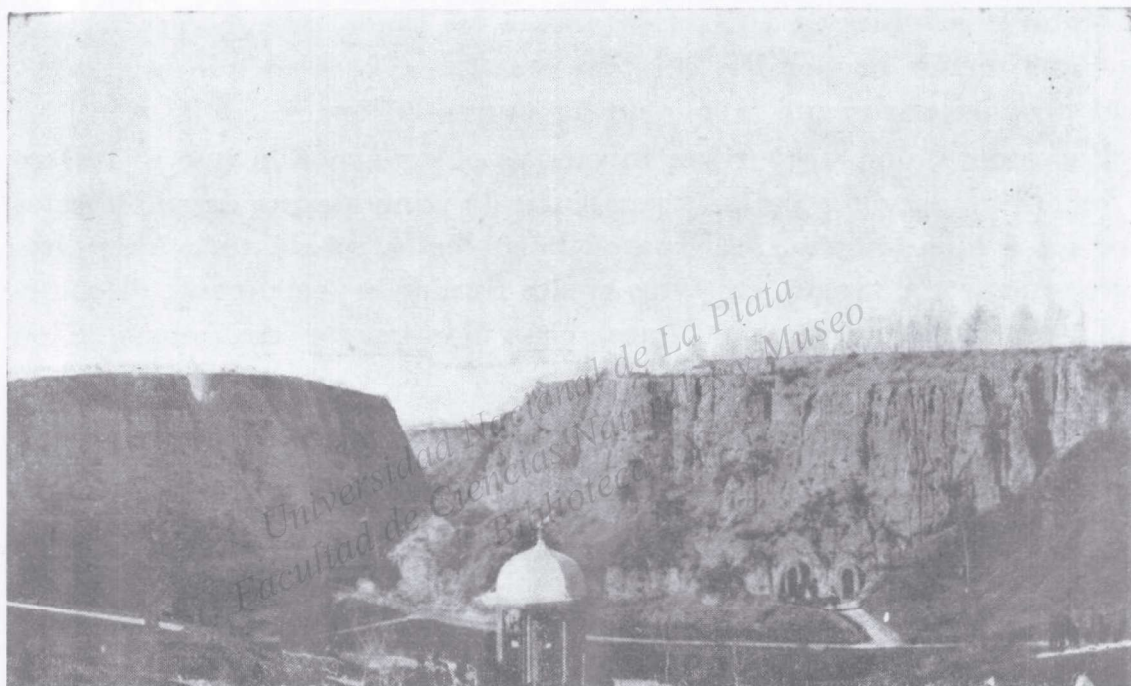


Fig. 4. — Barrancas cortadas en loess pampeano. — Terraza superior (meseta) del valle del río Primero en Córdoba (Jardín Zoológico).

dedos para deshacerlos en un material de aspecto terroso, a veces grueso y mezclado con terroncitos que han resistido a la presión sin disgregarse. Además, a menudo la simple presión de los dedos no es suficiente para disgregarlos, y otras veces, el grado de cohesión de estos limos es realmente notable.

Los “depósitos de loess que presentan el aspecto de peñas”, a los cuales se refiere Roth (56, pág. 170), son en realidad limos, especialmente del pampeano inferior y medio: así, por ejemplo, es el caso del “loess del horizonte mesopampeano del fondo del río de la Plata” que corresponde a un limo conglomerádico del *Ensenadense Cuspidal* de Ameghino; también a un limo del mismo tipo y del mismo nivel es-



tratigráfico corresponde el “loess mesopampeano en la costa al sur de Miramar” del mismo autor (56, pág 173, fig. 8).

Análogas condiciones de homogeneidad y de heterogeneidad, que ya hemos observado desde los demás puntos de vista, diferencian loess y limos también desde el punto de vista de su consistencia. Esta diversidad se manifiesta con evidencia en los acantilados expuestos a acciones degradacionales. En efecto, frente a los efectos de la erosión y de

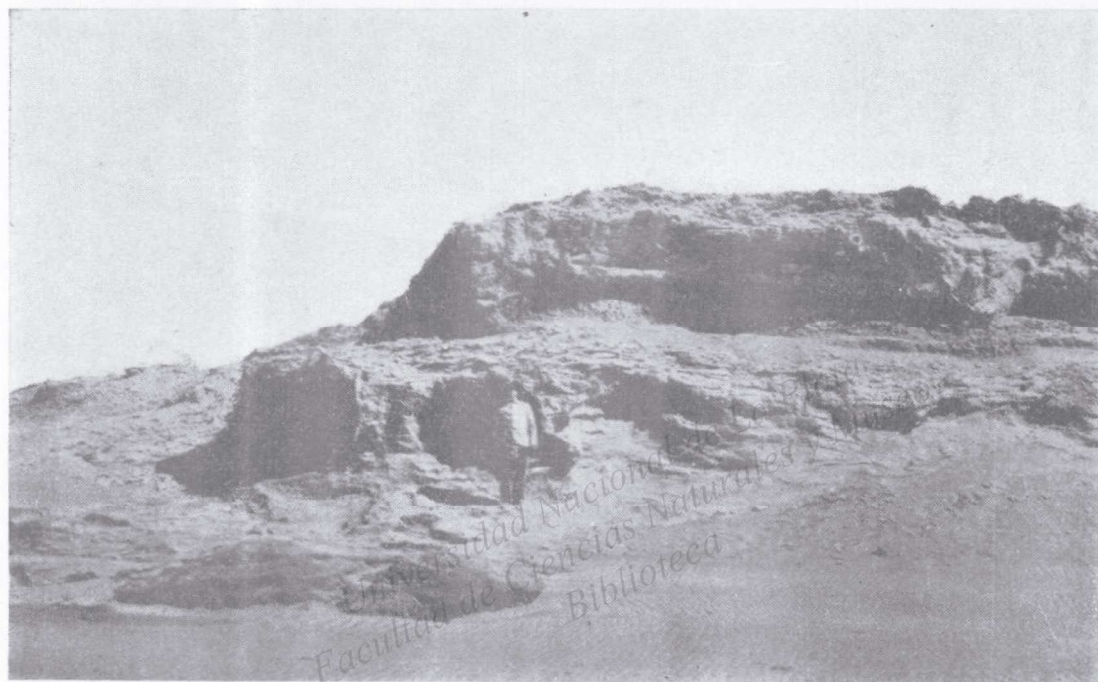


Fig. 5. — Barranca cortada en limos pampeanos (“Chapalmalense” y “Ensenadense”) en la costa atlántica cerca de Miramar.

la deflación, los acantilados formados por loess o la parte de ellos que corresponde a bancos loésicos, se desgastan más o menos uniformemente, conservando la superficie atacada en forma de pared vertical, determinada ya por la tendencia de todo banco de loess a desmoronarse en bloques según planos normales a la superficie de sedimentación (Fig. 4). En cambio, la superficie de los acantilados cortados en depósitos cenagosos, a raíz de los procesos de ablación meteórica, casi siempre resulta sumamente irregular: escurrimientos pluviales y corrosiones eólicas excavan las capas o las partes menos resistentes y dejan sobresaliendo las más compactas. (Figs. 5, 6, 7). Las fotografías publicadas por Roth (56, figs. 8, 9, 10, 11, 13 y lám. XIII) ofrecen ejemplos interesantes de corrosiones y corrasiones en la pared de acantilados cortados en limos pampeanos.

Cuando entre dos bancos de loess se intercalan lentes de limos, éstos, a menudo, sobresalen en forma de cornisas en el perfil de las barrancas.

Los casos anteriores se refieren especialmente a los casos, más frecuentes, de limos más o menos endurecidos por sustancias cementantes (carbonato de calcio, sustancias arcillosas y coloidales, sílice, etc.), los cuales, comúnmente, llevan el nombre de *tosca* (de no confundir con las *tosquillas* o *loesskindeln*).

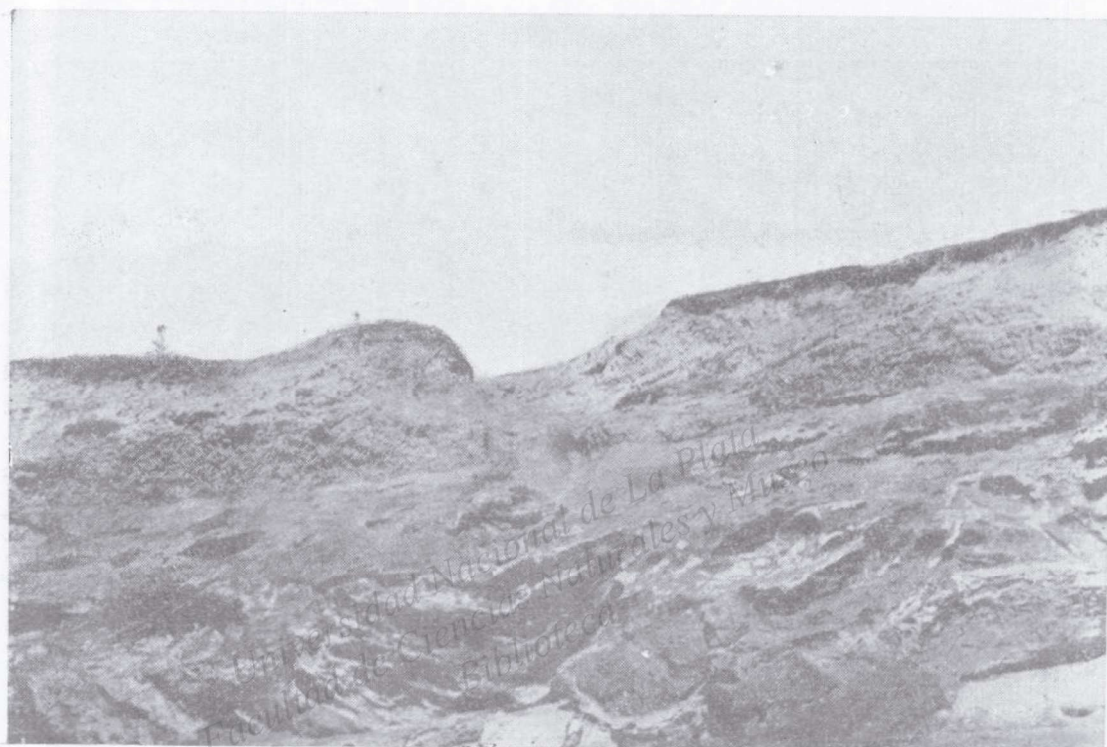


Fig. 6. — Limo pampeano endurecido y expuesto a las acciones meteóricas. Barranca de la costa cerca de Miramar.

Pero, además, existen limos arenosos y limos arcillosos no cementados, que ofrecen un menor grado de cohesión. Frente a las acciones destructivas, los primeros, muy deleznales, se dejan disgregar y socavar fácilmente, determinando el derrumbe en bloques de los bancos de loess superpuestos; los segundos, en cambio, más resistentes, forman vertientes inclinadas, crestas y pirámides de erosión. (Figs. 8, 9, 10).

Un carácter diferencial de importancia nos es suministrado por el estudio de la contracción, nula, o casi nula, en el loess y siempre más o menos marcada para los limos loessóides. Este particular nos permite casi siempre diferenciar fácil y rápidamente los dos tipos de rocas, especialmente cuando ambos existen en el perfil de un mismo corte: la superficie del loess, expuesta al desecamiento, se conserva homogénea y continua, mientras la superficie del limo se agrieta en todo sentido (Fig. 11) y, hasta donde alcanza el desecamiento, la roca queda



dividida en terrones irregularmente poliédricos, más o menos pequeños, en relación al contenido en coloidales del limo mismo. Esta propiedad es importante también desde el punto de vista de algunas aplicaciones, como, por ejemplo, para la selección del material de balasto en regiones

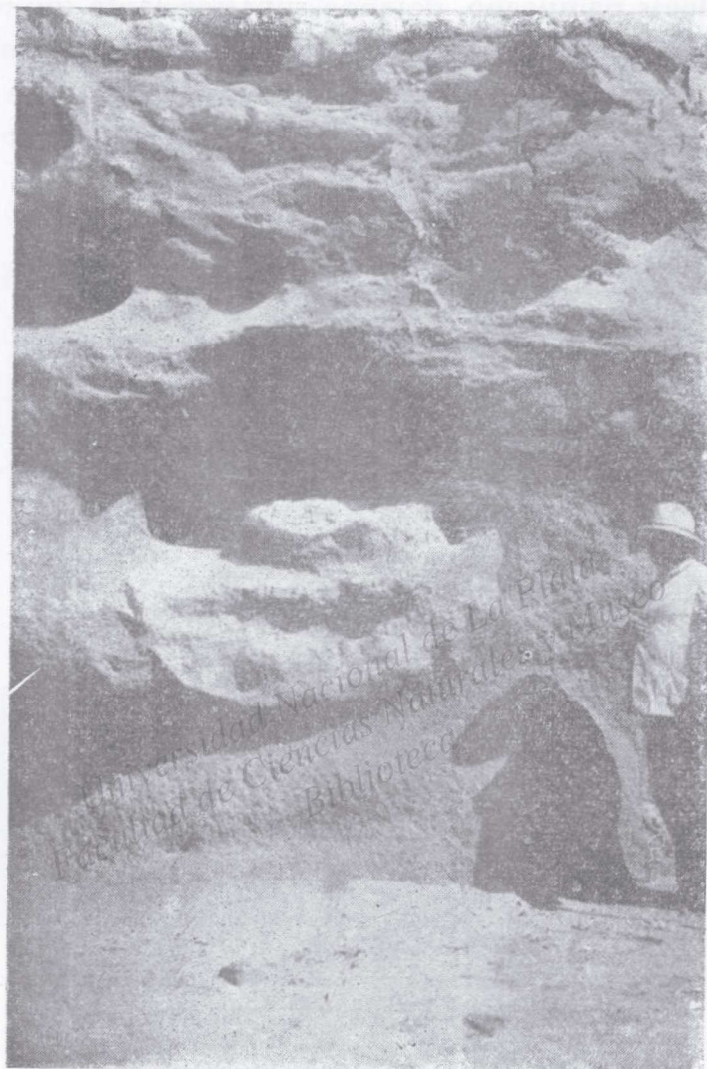


Fig. 7. — Superficie del Chapalmalense expuesta a la deflación en los acantilados marinos de Miramar.

como la llanura pampeana, donde resultaría prácticamente imposible traer materiales más apropiados. Por su coeficiente mínimo de contracción el loess ofrece un buen material para balasto, mientras el limo no: al desecarse, el limo se contrae, separándose de los durmientes, y éstos, por consiguiente, quedan aislados y trementes al paso de los trenes; además, las aguas de lluvia, que se infiltran por las hendeduras, provocan una rápida movilidad del durmiente mismo y la disgregación de todo el balasto.

El mismo comportamiento se observa con respecto al coeficiente de higroscopicidad: mínima para el loess y generalmente elevada para los limos. En relación con la reducida higroscopicidad del loess, si dentro de una cubeta de vidrio con fondo perforado colocamos, bien ajustado, un bloque de loess pampeano, dejando superiormente un espacio para llenarlo de agua, observamos que la roca se satura muy pronto y luego sigue absorbiendo agua con gran lentitud y a medida que el agua va goteando por los agujeros del fondo. Al mismo tiempo, la roca conserva suficientemente su primitiva consistencia. En cambio, en las mismas



Fig. 8. — Barrancas cortadas en limos pampeanos. — Borde izquierdo del río Paraná entre la ciudad de Paraná y Bajada Grande.

condiciones, los limos loessiformes absorben, más o menos rápidamente, un volumen de agua relativamente notable y se deslíen, perdiendo toda consistencia. Este diferente comportamiento está también correlacionado con un diferente grado de capacidad hídrica, mayor en los limos, por su mayor porosidad y mayor contenido en sustancias coloidales.

Estas mismas propiedades determinan un diferente comportamiento de las dos rocas en la superficie del terreno o en la pared de las barrancas, expuestas a las acciones de las aguas de lluvia. En ambos casos, el loess conserva su coherencia, mientras los limos se transforman fácilmente en cieno. En la pared de los cortes, mientras el limo se infiltra de agua, más o menos profundamente, en relación con la cantidad de las precipitaciones, el loess, en cambio, sólo se cubre de una capa de



imbibición relativamente delgada, detrás de la cual el resto de la roca queda completamente seco.

Un carácter diferencial bien marcado y de importancia práctica, se refiere a la compresibilidad de las dos rocas; pero, no tanto a la compresibilidad ensayada sobre las diferentes rocas al estado seco, sino al

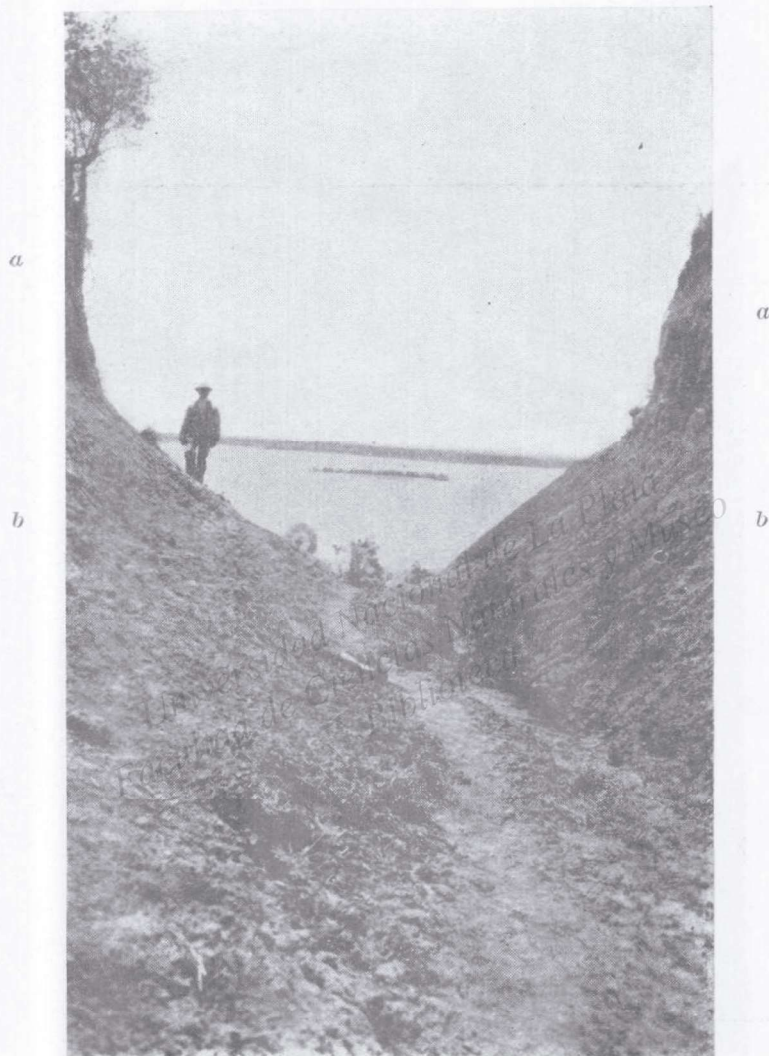


Fig. 9. — Parte superior de la barranca del borde izquierdo del río Paraná en los alrededores de la ciudad de Paraná: *a*, loess; *b*, limo.

estado húmedo. Al estado seco el simple grado de humedad propio de la roca, loess y limos no ofrecen diferencias muy notables, exceptuando algunos casos particulares (compárese, por ejemplo, las dos curvas II y VI, de las figuras 13 y 17, donde se comparan un loess y un limo con humedades propias comparables). En cambio, agregando agua, el loess se deja comprimir en un grado considerablemente menor que el limo.

Debo a la amabilidad del ingeniero Doppler, del ex Ferrocarril Provincial de Santa Fe, los datos al respecto. El Ing. Doppler, con el fin de investigar, entre los sedimentos a su alcance, los mejores materiales para balasto, estudió numerosas muestras de rocas pampianas y post-pampianas de la provincia de Santa Fe y regiones limítrofes. Realizó

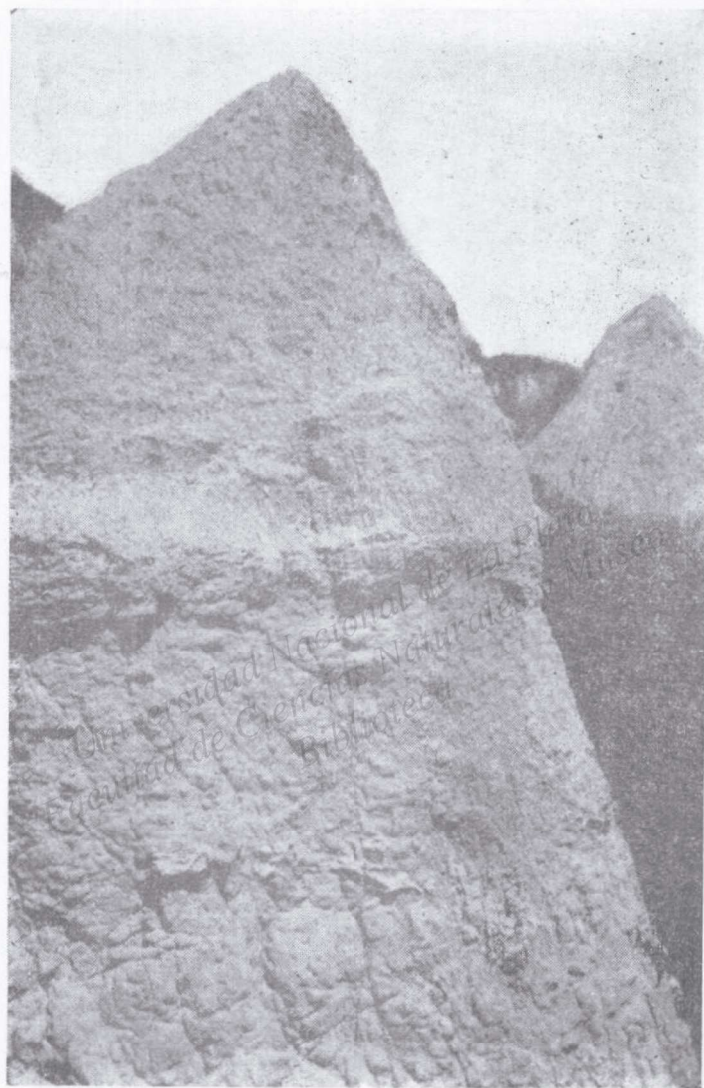


Fig. 10. — Pirámides de erosión sobre limo pampeano. Paraná, en proximidad de Parque Urquiza.

sus ensayos con un aparato Rabut oportunamente modificado, para conseguir presiones comparables con las de las dos ruedas de un eje sobre los rieles y el durmiente relativo. Esta presión la transmitía a un colchón de material, del espesor de 13 centímetros, y registraba sobre un tambor el resultado de las presiones determinadas. Efectuaba cuatro ensayos consecutivos, separados por un intervalo de tiempo suficiente: el primero, con el material provisto de su humedad natural



solamente: los otros tres agregando cantidades de agua destilada que sucesivamente representasen lluvias de 10, 20 y 40 milímetros. Después de cada regadura, antes de efectuar la presión, dejaba el material en descanso por 24 horas, y después de cada compresión reconstituía el nivel del material en ensayo. Cuando una presión había actuado por



Fig. 11. — Superficie de limo pampeano arcilloso expuesta al desecamiento.

un tiempo determinado, levantaba la carga para observar la elasticidad (en todo caso muy pequeña) de los diversos materiales y luego volvía a colocar el mismo peso o pesos mayores.

Entre los gráficos obtenidos por el ingeniero Doppler he elegido sólo aquellos conseguidos con materiales conocidos por mí en su yacimiento y, en parte, ya publicados. Los materiales elegidos son los siguientes:

I. — Loess bonaerense, del desmonte al Km 68,40 de la línea Humboldt a Soledad.

II. — Loess bonaerense de la balastera al Km 296,45 de la línea Vera a Reconquista.

III. — Limo del bañado del río Salado a la altura del Km 13,30 de la línea Santa Fe a Rosario.

IV. — Limo en la base del Cordobense de la balastera ya mencionada.

V. — Limo de la base del Bonaerense de la misma localidad.

VI. — Limo Platense de la misma localidad.

Los gráficos II, IV, V y VI corresponden a los materiales de los niveles indicados respectivamente con las letras *g*, *c*, *h* y *e*, en mis perfiles del valle del río Malabrigo (35, págs. 22-23, figura 11 y lám. III-C.).

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo  
Biblioteca

*Nota para la lectura de los gráficos.* — En los diagramas siguientes, cada división en las abscisas corresponde al tiempo de un minuto primo; y cada división en las ordenadas equivale a 2 milímetros.

Los diagramas *A* corresponden a compresiones sobre materiales con su humedad natural; *B*, a los mismos materiales comprimidos después de un riego de 10 mm; *C*, los mismos comprimidos después de un riego de 20 mm; *D*, los mismos comprimidos después de un riego de 40 mm.

|     |   |                         |      |
|-----|---|-------------------------|------|
| a'' | = | carga de Kilos          | 1330 |
| a'  | = | „ „ „                   | 2120 |
| a   | = | „ „ „                   | 3432 |
| b   | = | „ „ „                   | 4485 |
| c   | = | „ „ „                   | 5532 |
| d   | = | descarga (decompresión) |      |



I

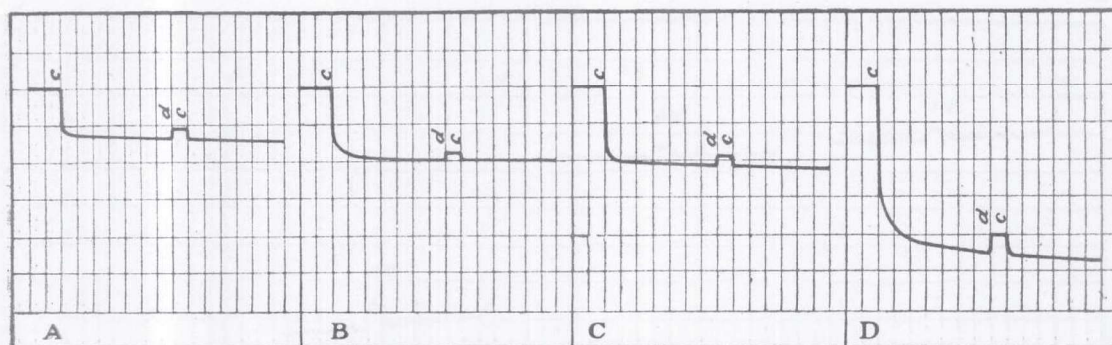


Fig. 12.

II

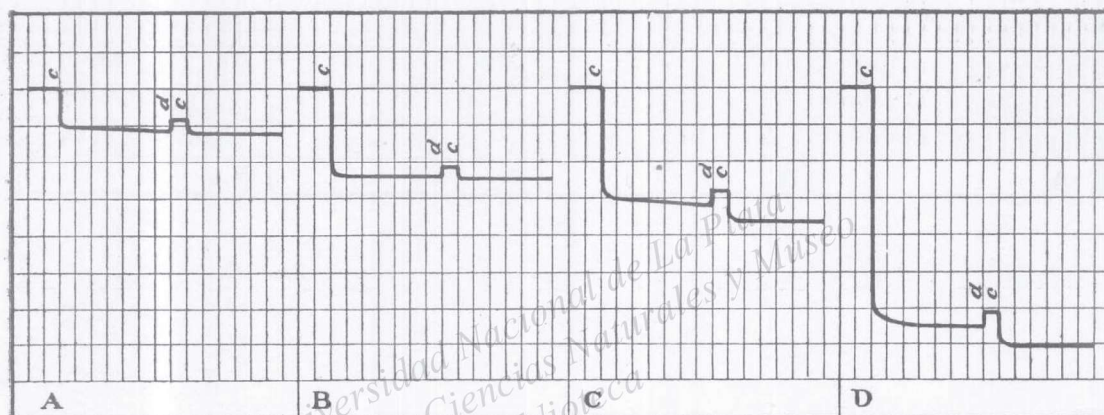


Fig. 13.

III

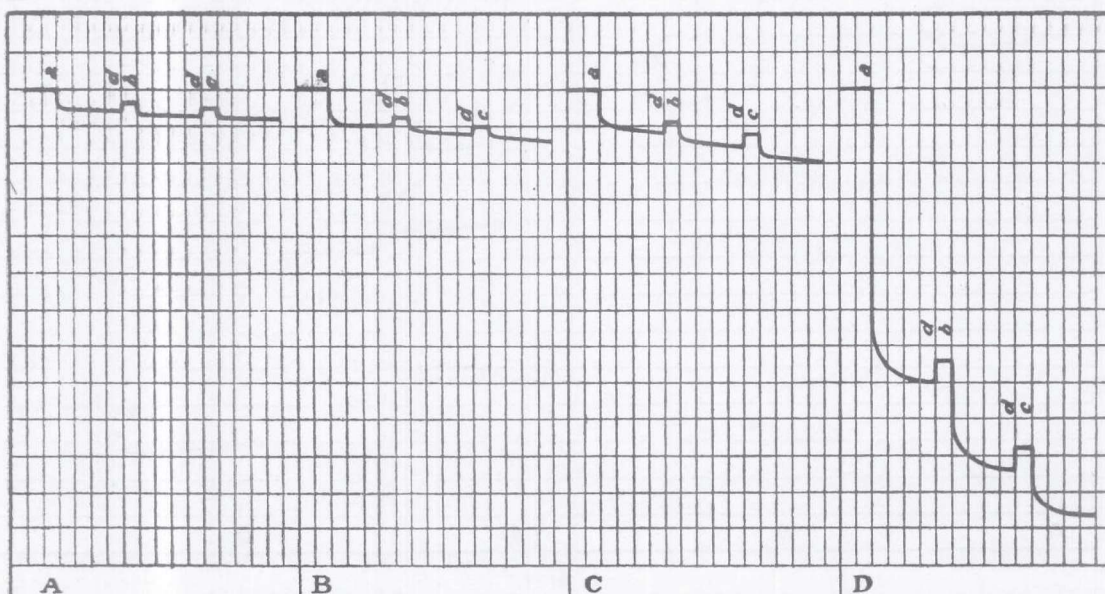


Fig. 14.

IV

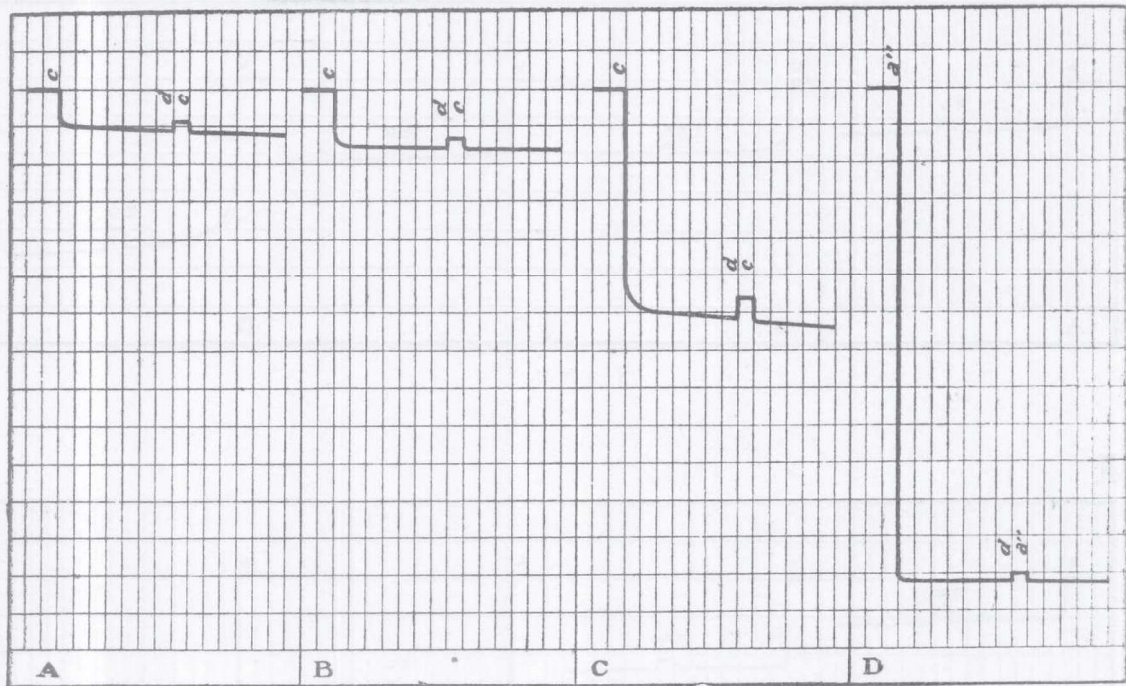


Fig. 15.

V



Fig. 16.



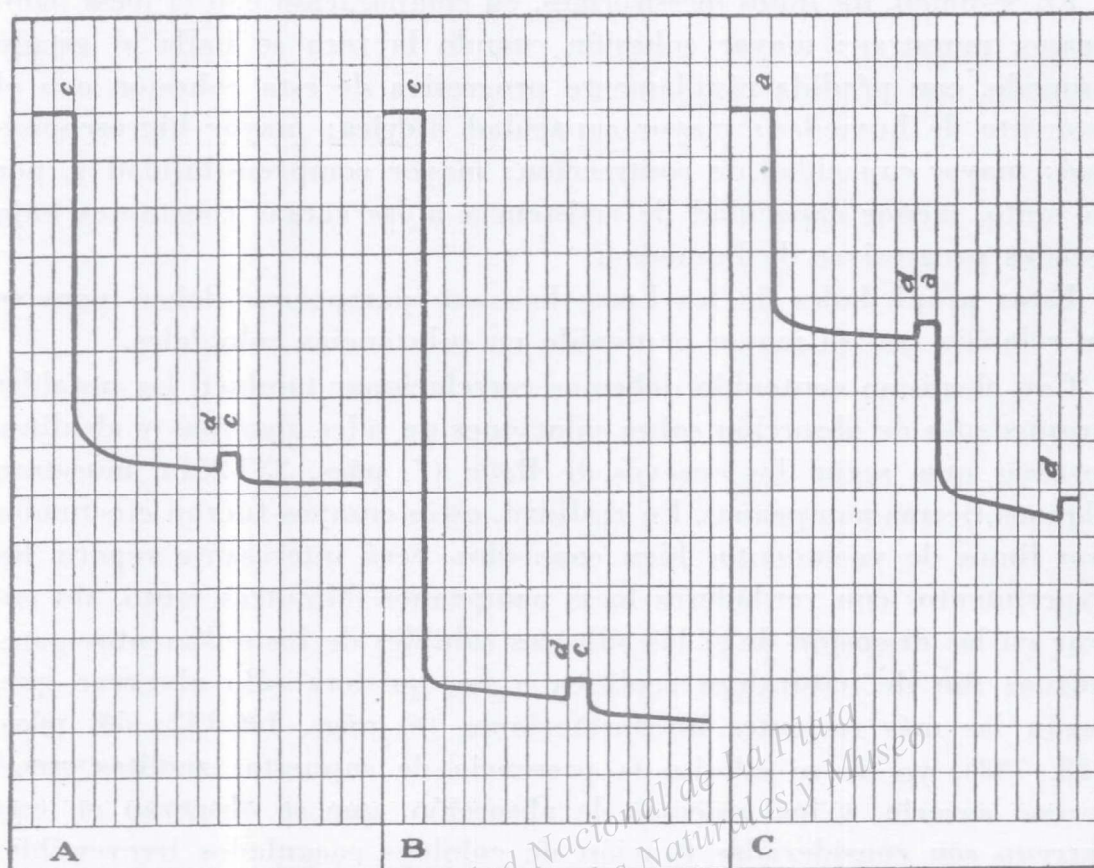


Fig. 17

Dejando todas las demás consideraciones que sugiere el estudio de los gráficos, me limitaré solamente a llamar la atención sobre lo que más interesa por el momento, esto es, sobre la diferente capacidad de resistencia, a las cargas constantes, del loess y de los limos. Desde este punto de vista los gráficos son muy demostrativos: mientras el loess, bajo grados de humedad progresivos, modifica poco sus condiciones de compresibilidad, los limos, en cambio, van perdiendo rápidamente su capacidad de resistencia en forma progresiva (gráficos IV, V) o crítica (gráfico III). Es notable el caso del gráfico IV en el cual, bajo una regadura de mm 40, el material se había hecho tan comprensible que no fué posible someterlo a la carga con la cual se había comenzado el experimento: sometido a una carga de sólo Kg 1330, todavía había sufrido una compresión de mm 26,4; mientras, en las mismas condiciones de humedad, el loess había sostenido cargas de 5523 kilos, comprimiéndose tan sólo por 9 a 14 milímetros. Aun más llamativo es el caso del gráfico VI, por el cual el ensayo fué suspendido puesto que, ya con una regadura de mm 10, una carga de 5523 kilos determinaba una compresión de mm 27,5. Este comportamiento tiene gran importancia también en los problemas de fundación de obras.

En resumen, los limos loessiformes, en comparación con el loess pampeano, muestran: mayor cohesión cuando la roca se halla al estado húmedo, con pérdida rápidamente progresiva de esta cohesión con el aumento de humedad; mayor capacidad hídrica; mayor higroscopicidad; mayor capacidad de contracción; mayor comprensibilidad y, por lo tanto, menor capacidad de resistencia a las cargas constantes bajo estados progresivos de humedad.

Estas propiedades de los limos loésicos pampeanos deben ponerse en relación con su mayor contenido en sustancias coloidales.

Con el mismo contenido debemos correlacionar también las notables propiedades de absorción sobre soluciones de sales alcalinas y alcalino-terrosas que, según los ensayos de Bade (7, págs. 237-251), muestran algunas tierras pampeanas. En realidad, estos ensayos fueron efectuados con limos de yacimientos bien conocidos. Será interesante repetir los experimentos con verdaderos loess pampeanos. Mientras tanto, sin entrar en la discusión de si los silicatos solubles de los sedimentos pampeanos son de naturaleza zeolítica o no, quisiera sólo observar que, según las más recientes interpretaciones (6, págs. 140-142; 50, págs. 728, 783), ya no se admite la presencia de supuestas zeolitas en el terreno agrario, y los procesos de absorción, que se observan en este terreno son considerados función de coloides coagulados irreversibles (minerales de las arcillas).

Desde un punto de vista práctico, podemos concluir que, mientras por las propiedades físicas recordadas, el loess representa un buen material para balasto y un suelo agrario malo, los limos, viceversa, constituyen un pésimo material para balasto y, a no mediar condiciones desfavorables de otra índole (climatológicas y topográficas especialmente), un buen terreno agrario.

#### MODIFICACIONES DIAGENÉTICAS Y METASOMATÓICAS

Otros criterios para basar una diferenciación entre loess y limos loessiformes pampeanos pueden deducirse de las distintas modificaciones sufridas por los dos diferentes tipos de sedimentos.

En primer término, podemos considerar la zona de descomposición en lehm. Esta característica zona superficial de alteración, esencialmente meteórica, es propia de los bancos loésicos y en la parte superior del loess pampeano se observa siempre, naturalmente exceptuando los casos en que fué llevada por denudaciones posteriores a su formación. Ella se halla en incremento en los bancos cuya superficie está aún expuesta a la acción de los agentes atmosféricos. Probablemente, Roth



(56, pág. 205) se refería a la misma cuando escribía que entre la tierra vegetal y el loess “la transición es tan gradual que no es posible fijar el límite entre una y otro”.

En los limos intercalados en la serie pampeana no se observa una análoga costra de alteración debida a los mismos procesos.

De mucha importancia es el estudio de las concreciones y de su distribución en el espesor del sedimento. No quiero referirme sino de paso a los bancos calcáreos que se intercalan a diversas alturas en el espesor de la serie estratigráfica o de determinados depósitos. El origen y la distribución de estos son diferentes en los diversos casos. A veces representan costras análogas a las que, en la actualidad, se forman en la superficie del suelo, en regiones subtropicales de clima seco, y que, según Lacroix, Gentil, Perrier de la Bathie y Carle (17, pág. 569), se originan por ascenso capilar de soluciones calcáreas desde el subsuelo y su concrecionamiento en presencia del oxígeno del aire, y tal vez también por la intervención de organismos edáficos: estas costras, sobre las cuales, por vez primera en la Argentina, ha llamado la atención A. Doering (22, pág. 512-515; 26, págs. 308, 320), cubren indiferentemente limos y loess, así como también capas de cenizas volcánicas y acumulaciones detríticas de cauces o de faldas, cuyos elementos cementan parcialmente en forma de conglomerados y brechas. Otras veces representan “zonas de cementación” ligadas a antiguas napas freáticas, especialmente situadas sobre la superficie de depósitos de limos poco permeables, a través de los cuales la formación calcárea puede prolongarse inferiormente en forma de tabiques, como relleno de viejas fracturas de contracción del terreno subyacente: el proceso de formación de estos bancos calcáreos para la serie pampeana fué ya esbozado, desde tiempo, por F. Ameghino (1; 3, p. II, pág. 103) y luego por Fröh (14, pág. 154) quienes justamente las pusieron en conexión genética con filtraciones de aguas calcaríferas, procedentes desde arriba. Otras veces, finalmente, formaciones calcáreas, a menudo más o menos netamente estratificadas, corresponden a lechos de tobas y cretas lacustres o fluvio-palustres, cuyo origen es bien conocido (37, I, pág. 97) y cuya interpretación genética para los terrenos pampeanos fué intentada, ya desde tiempo, por Puiggarí (51, pág. 140), por F. Ameghino (3, p. II, págs. 106-107) y por Bodenbender (10, pág. 55): en estos sedimentos el carbonato de calcio casi siempre contiene o cementa cantidades variables de elementos pelíticos, psamíticos y psefíticos propios de los limos pampeanos (toscas calcáreas); contiene, además, a veces en cantidades considerables, microfósiles característicos para estos depósitos, esto es, células silíceas de gramíneas, espículas de esponjas, caparazones de rizópodos, frústulos de diatomeas, etc.

Solamente los bancos calcáreos correspondientes a estas últimas condiciones tienen importancia desde nuestro punto de vista, en cuanto que ellos caracterizan exclusivamente los depósitos de limos pampeanos en cuyo espesor forman, a menudo, uno o varios niveles distribuidos a diferentes alturas. En cambio, faltan siempre en el espesor de los bancos de loess verdadero y, una vez más, he de insistir sobre el hecho de que los sedimentos inferiores en las barrancas de la costa entre Mar del Plata y Miramar, donde Roth (56, págs. 196-198) justamente ha señalado la existencia de estos lechos calcáreos (*bancos de tosca*), corresponden a depósitos de limo y no de loess.

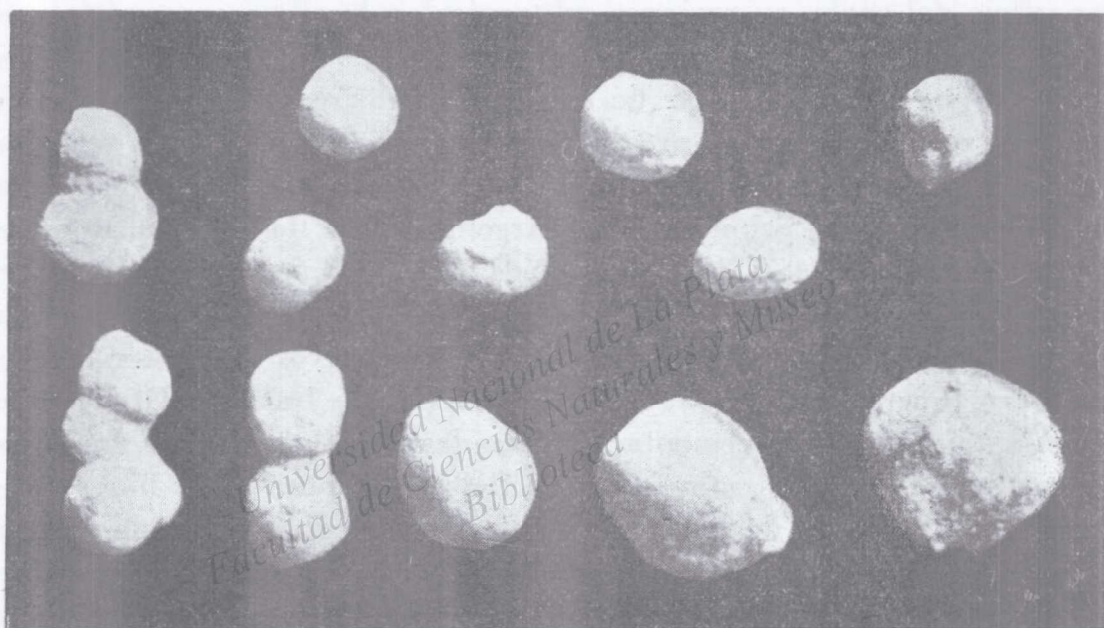


Fig. 18. — Tosquillas nodulares del loess pampeano —del "Bonaerense" de Santo Tomé (Santa Fe). Tamaño natural.

Pero, por el momento, quiero insistir especialmente sobre las concreciones calcáreas, generalmente aisladas en el espesor de los sedimentos tenues de la serie pampeana y que comúnmente llevan el nombre de "tosquillas" (*loesskindeln, poupées du loess, calcarelli*).

En el loess las tosquillas son raras o escasas. En los bancos que no han sido afectados por acciones destructivas superficiales, ella empiezan a aparecer debajo de la zona terminal de lehm, distribuidas sin orden en el espesor del depósito y en cantidad evidentemente proporcionada con la importancia de la zona decalcificada. Su forma es redondeada u ovalada (*tosquillas nodulares*) y su volumen generalmente pequeño, alcanzando el tamaño de una arveja hasta el de una nuez (Fig. 18). Su superficie es levemente mamelonada y su interior más o menos poroso, pero sin cavidades. El material que las forma es una



caliza pardusca mezclada con proporciones variables de elementos pé-  
líticos propios del loess. Su origen se debe probablemente al concre-  
cionamiento del carbonato de calcio que las aguas meteóricas de filtra-  
ción, cargadas de oxígeno y de anhídrido carbónico, habían quitado  
a la parte superior del depósito: las aguas filtrantes, saturadas, al atra-  
vesar el espesor del sedimento poroso, antes de llegar a la napa freática  
abandonan parte de las sales calcáreas alrededor de determinados cen-  
tros de atracción, según un proceso ya conocido y sobre el cual, para  
las tosquillas pampeanas, ya ha insistido F. Ameghino (3, pág. 107).

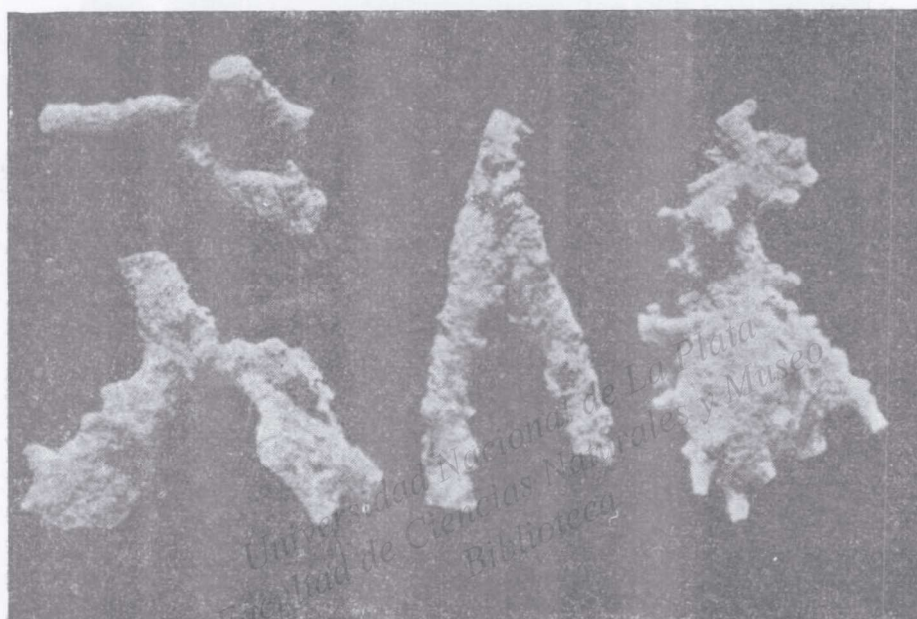


Fig. 19. — Tosquillas calcáreas de limos pampeanos — del "Ensenaden-  
se" de Santo Tomé (Santa Fe).

En los limos las tosquillas asumen formas y aspectos diferentes, pero  
en todo caso diversos de aquéllos de las tosquillas de loess. En los  
casos más frecuentes son de forma irregularmente cilíndrica, casi siem-  
pre ramificada (*tosquillas botrioides* o *ramificadas*). Sobre la diferente  
forma de las tosquillas del loess y del limo, en cierto modo, ya ha  
llamado la atención Burckhardt (14, págs. 151, 152) al representar los  
diferentes tipos de "toscas" del "loess amarillo" y del "loess pardo".  
Además en los limos las tosquillas son, por lo común, numerosas y,  
a veces, numerosísimas, recorriendo el depósito en todo su espesor y  
con su mayor eje dirigido normalmente al plan de sedimentación del  
depósito mismo. Su volumen es sumamente variable: a veces son muy  
pequeñas, otras alcanzan un diámetro de varios centímetros y una  
longitud de algunos decímetros. Cuando el depósito es zonado o estra-  
tificado, las tosquillas pasan de una capa a la otra independientemente

de la estructura del sedimento. Su decurso es más o menos tortuoso y su superficie irregular. En su interior, como ya observó Doering (23, pág. 208), a veces se observa una cavidad tubuliforme, fina, que sigue aproximadamente el eje de la concreción. Se componen de una caliza compacta o porosa, pardusca o grisácea, asociada con cierta cantidad de fosfato de calcio y mezclada con elementos pelíticos y arena, a menudo en proporciones considerables (Fig. 19).

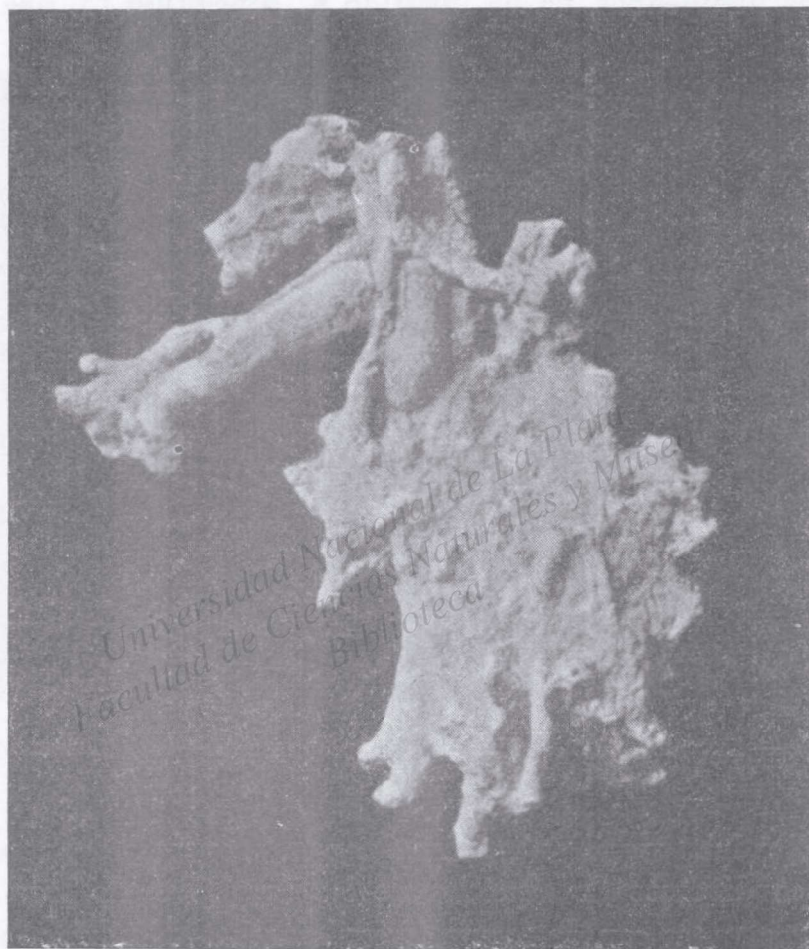


Fig. 20. — Tosquilla calcárea de limos pampeanos — del "Lujanense" de Esperanza (Santa Fe).

Por el conjunto de sus caracteres, las tosquillas de los limos, diferentemente de lo que se observó para las tosquillas del loess, representan el molde de cavidades residuadas por la destrucción de raíces de plantas (Fig. 20), probablemente acuáticas, como ya ha anotado A. Doering (27, pág. 222). Deben considerarse como productos diagenéticos, contemporáneos a la formación del depósito que las encierra. El hecho de que estas tosquillas representan siempre el molde de raíces y nunca de tallos, demuestra que las concreciones se iban formando, en el limo del



fondo de lagos o pantanos, alrededor de las raíces en descomposición de plantas acuáticas muertas<sup>1</sup>. En estos casos la precipitación del carbonato de calcio evidentemente fué determinada, o, por lo menos, favorecida por la presencia de sustancias orgánicas en descomposición y con la intervención de actividades biológicas (microbiológicas), especialmente de bacterios anaerobios del tipo del *Bacterium calcis* de Drew, capaces de fijar, bajo forma de carbonato, el calcio disuelto en forma de cloruro y sulfato (Joudry)<sup>2</sup>.

Al mismo proceso evidentemente corresponden las concreciones calcáreas, del mismo aspecto, pero de forma irregular, que muy a menudo incrustan o rellenan las cavidades de los huesos de mamíferos de los limos. Estas incrustaciones calcáreas, a menudo manchadas por hidróxidos de hierro y manganeso, también son características para los restos fósiles de los limos y faltan siempre alrededor de los mismos restos contenidos en el loess.

La contemporánea formación del depósito cenagoso y de las tosquillas ramificadas, está demostrada también por la circunstancia de que, muchas veces, cuando el sedimento ha sido surcado temporariamente por revivificaciones erosivas, las mismas tosquillas han sido rotas, transportadas y acumuladas en forma de lechos psefiticos en el espesor del mismo sedimento.

En los limos, especialmente de los niveles pampeanos inferiores, se pueden observar también concreciones calcáreas nodulares y tuberosas, que difieren de las tosquillas nodulares del loess por su volumen mayor y por su composición: alcanzan a menudo el tamaño de un puño, hasta el de una cabeza humana o más, y, como ya F. Ameghino observó para su *Chapalmalense* (5, pág. 370), se componen de una caliza más compacta, más densa, más dura, de fractura subconcoide, conteniendo una elevada proporción de arcilla y de sílice. Estas toscas tuberosas contienen en su espesor numerosas cavidades lenticulares de contracción, a veces tapizadas por pequeños cristales de calcita. Otras veces toman el aspecto de verdaderas septarias esferoidales o discoidales.

Finalmente, sobre todo en las intercalaciones lentiformes de limos pardos y especialmente grises, las tosquillas pueden presentarse en forma de pequeñas masas de estructura terrosa y en tanta abundancia que

<sup>1</sup> Observaciones posteriores demostraron que se forman también alrededor de raíces vivientes (véase mi trabajo: Sulle concrezione calcaree intorno alle radici di vegetali viventi, en Boll. Soc. Geol. Italiana, vol. XLV, pág. 85-90, 1926).

<sup>2</sup> Bodenbender (10, pág. 33) las consideró formadas "por infiltración de agua, cargada con carbonato de cal". Doering (25, pág. 190) supone que "ces masses concrectionnaires de *tosca* de la formation pampéenne et autres, ne sont pas toutes, forcément, des infiltrations directes de bicarbonate de calcium, comme dans les stalactites; mais que beaucoup d'entre elles peuvent avoir leur origine dans une métamorphose de concrétions de plâtre, due à l'action sur le sulfate de calcium des carbonates alcalins qui se forment dans la décomposition chronique des silicates et leur transformation en argile".



la roca toma el aspecto característico de la llamada "caliza grumosa" (*calcaire grumeleux*).

Además de las concreciones calcáreas, en los limos frecuentemente se observan concreciones de yeso y de limonita.

Las concreciones de yeso, en casos especiales, pueden hallarse también en el loess. Las he observado exclusivamente en el *Bonaerense* (capa g de Doering) donde este banco leésico está recubierto por cenizas volcánicas del tipo  $\beta$  de Doering y donde ya fueron señaladas por este autor (25, pág. 178): se hallan bajo forma de pequeños nódulos



Fig. 21. — Tosquillas de yeso de los limos querandineses del arroyo de las Brusquitas (Miramar). Tamaño natural.

granulosos, subcristalinos en su interior, o de pequeñas rosetas formadas por la reunión de pequeños cristales. En estos casos, el yeso procede, por filtraciones meteóricas (lixiviación y recristalización), desde las cenizas superpuestas, las cuales contienen en abundancia sulfato de calcio amorfo y cristalizado.

En cambio, en los limos el yeso forma agregados de cristales de selenita, o capitas de estructura fibrosa, o concreciones cristalinas irregularmente cilíndricas. En los dos primeros casos, se trata evidentemente de cristalizaciones análogas a las que se observan en lagos y pantanos de tipo estépico. En el tercer caso se trata, en cambio, de concreciones formadas, con toda probabilidad, alrededor de raíces de plantas acuáticas en descomposición, por un proceso análogo a aquél que hemos ya visto para las tosquillas ramificadas de los limos pampeanos (Fig. 21).



Estas concreciones no son frecuentes, pero muy interesantes. Fueron ya observadas por A. Doering en los sedimentos lacustres de los alrededores de la laguna del Bebedero y de las escarpadas del río Desagüadero (San Luis), relleno de cavidades de antiguas plantas y raíces (25, pág. 190). Yo las he hallado en abundancia en los limos querandineses de las barrancas del arroyo de las Brusquitas, cerca de Miramar (Buenos Aires). Son de forma groseramente cilíndrica, tortuosa, a veces ramificada, y se componen de un agregado de cristales generalmente pequeños y de caras curvas. En su interior casi siempre se observa

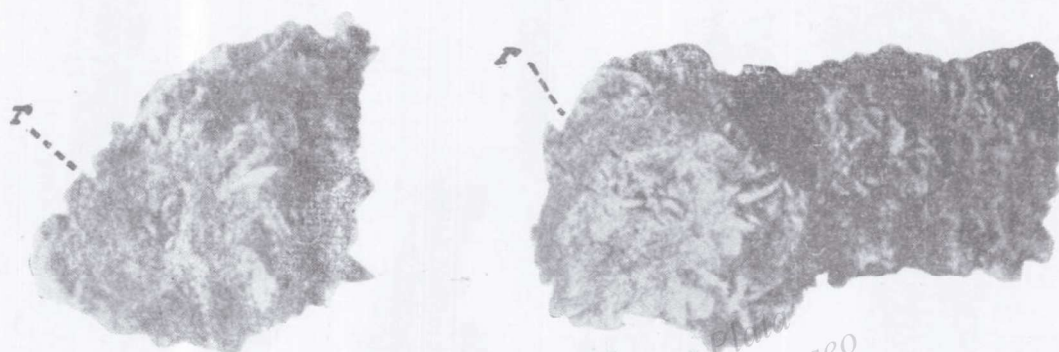


Fig. 22. — Tosquillas de yeso con restos de raíces (r) en el canalículo axial — del limo querandinense en el arroyo de las Brusquitas. — Algo ampliadas.

un canalículo axial, a veces muy fino, donde en algunos casos persisten aún los restos de la raíz (Fig. 22), alrededor de la cual la concreción se ha formado. Probablemente su origen es debido también a las acciones microbiolíticas dentro de los procesos diagenéticos y tal vez a la actividad de los tiobacterios (*Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Rhodobacteriaceae*) que no viven solamente donde existen surgentes sulfurosas, sino, en general, también en todas las aguas donde, a consecuencia de descomposiciones orgánicas, se produce ácido sulfhídrico que oxidan en azufre el cual, a su vez, viene oxidado en ácido sulfúrico (Winogradsky): luego éste, reaccionando sobre los carbonatos, determinará la formación de diferentes sulfatos, entre los cuales el yeso. Al mismo resultado llevaría también la actividad de bacterias de acción reductora sobre el azufre o sobre sus sales oxigenadas, esto es, *Vibrio hydrosulfureus*, *Spirillum desulfuricans*, *Bacterium sulfureum*, *Microspira desulfuricans*, *Microspira aestuarii*, etc., cuya acción, a menudo simultánea con la anterior, se efectuaría por la presencia de gases reductores (hidrógeno, metano) según Petri y Massen, o a expensa del carbono de su protoplasma, según Murray e Irwine.

Las concreciones limoníticas son propias de los limos y su presencia adquiere un significado aún más decisivo para una diferenciación entre



loess y limos pampeanos. Se presentan en forma de nodulitos esferoidales, de color pardo muy oscuro, del diámetro desde algunos milímetros hasta un centímetro aproximadamente, distribuidas sin orden en espesor del depósito; o en forma de masas más grandes, irregulares, de color pardo herrumbroso, cementando abundantes materiales de la roca englobante; o en forma de tosquillas limoníticas alrededor de



Fig. 231. — Tosquillas limoníticas de limos pampeanos.

raíces (Fig. 23); o, finalmente, en forma de eflorescencias ocráceas sobre las impresiones de raíces, de tallos o de hojas de plantas acuáticas (monocotiledóneas especialmente). También estas mineralizaciones de hierro, muy abundantes en muchos limos y ya señaladas por muchos autores después de Reid (52, pág. 89), deben considerarse como productos organógenos (*hierro de pantanos*) dentro de los sedimentos del fondo de lagos y pantanos: los “ferrobacterios” de Winogradsky (*Chlamydothrix ochracea*, *Cladothrix dichotoma*, *Crenothrix polyspora*, *Gallionella ferruginea*, *Clonohrix fusca*, etc.), oxidan el bicarbonato de hierro disuelto en las aguas y, probablemente, también los compuestos ferrosos orgánicos, transformándolos en hidrato férrico insoluble, provocando así directamente o favoreciendo la formación de la limonita.

Por actividades del mismo orden, esto es, por reducción bacterica del sulfato de hierro (que se encuentre en disolución o que derive de actividades bactericas) en sulfuro ferroso, el cual, a su vez, quita el azufre al ácido sulfhídrico, que se desarrolla contemporáneamente, pueden



haberse formado las concreciones de pirita, que, según Zeballos (67, pág. 21), fueron señaladas en algunos limos de la provincia de Buenos Aires.

Otra mineralización de hierro exclusiva de los limos es la vivianita (fosfato ferroso hidratado —  $\text{Fe}_3 (\text{PhO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), generalmente terrosa, ya mencionada por Zeballos (67, pág. 20), Bodenbender (10, pág. 33), Doering (25, pág. 179), etc. Se presenta en forma de manchas dendríticas, especialmente sobre los restos fósiles del esqueleto de mamíferos, o, más comúnmente, tapizando en negro azulado las cavidades radiciformes de la roca. Bodenbender (12, pág. 221) supone que ella “procede de la descomposición (bajo influencia de la vegetación) de la apatita (fosfato de calcio) contenida casi en todos los granitos, etc., de la sierra”. Gránulos de apatita son muy raros en la mayor parte de los limos pampeanos (47, pág. 177; 66, pág. 57 *et passim*); pero es más probable que la vivianita de estos limos represente un producto organógeno, esto es, derivado, por acciones microbiológicas, desde los tejidos fosforados de plantas y animales, así como también el fosfato de calcio que, tal vez bajo forma de dahllita, se halla, a veces en proporciones relativamente considerables, en las tosquillas ramificadas y en la tosca que incrusta los restos fósiles de los mismos limos y que Wright y Fenner (66, pág. 64) ya han supuesto derivado de los huesos contenidos en estos depósitos. Creo que para los fosfatos de los limos pampeanos, con mayor razón puede repetirse lo que Haug (37, I, pág. 120) dice para las concreciones fosforíferas marinas: “l'eau de la mer ne contient d'ailleurs que des traces minimales de phosphate, que les animaux sont capables de fixer dans leur organisme, comme ils fixent le carbonate de chaux, mais que ne peuvent être précipités directement que dans des conditions tout à fait exceptionnelles”. En todos estos casos, según los autores modernos, los fosfatos no derivan de la apatita de las rocas cristalinas disueltas por las aguas, como anteriormente se consideraba, sino de la reacción del fosfato de amonio, producido en la descomposición de sustancias orgánicas, sobre restos del esqueleto o del caparazón calcáreo de varios animales.

Finalmente, he de observar que no debemos confundir las manchas y las eflorescencias de vivianita terrosa con las manchas y las eflorescencias de hidróxidos de hierro y manganeso que también, y con mayor frecuencia caracterizan, en contraste con el loess, los limos pampeanos.

En fin, podemos concluir que las numerosas mineralizaciones y concreciones de los limos pampeanos encuadran dentro de aquel orden de procesos químicos que, generalmente con la intervención de microorganismos, se efectúan en los sedimentos inmediatamente después de

su depósito, en el fondo mismo de las cuencas, debajo de las aguas de las cuencas mismas y al abrigo de la acción directa de los agentes atmosféricos, esto es, dentro de aquel grupo de fenómenos que se reúnen bajo el nombre de “diagénesis”.

En cambio, en el loess pampeano podemos hallar solamente modificaciones debidas a la acción física y química de los agentes atmosféricos, a las aguas meteóricas de filtración especialmente, y determinadas desde la superficie del sedimento después de su formación, esto es, aquellos procesos que caracterizan la “zona de alteración” superpuesta a las napas freáticas y que se reúnen bajo el nombre de “metasomatosis”.

Habría sido superfluo insistir sobre la definición de diagénesis y de metasomatosis, si los autores que más recientemente se ocuparon de cuestiones pampeanas no hubiesen confundido los dos diversos órdenes de fenómenos.

Así, por ejemplo, bajo diagénesis Roth ha incluido procesos metasomatósicos y hasta metamórficos cuando, para remontar al origen del loess, ha sostenido que éste no representa sino una tierra vegetal, de cualquier composición y procedencia, que ha sufrido una transformación diagenética y que “así como la arcilla plástica se transforma en pizarras o la arena suelta en arenisca y hasta en cuarcita, a causa de procesos diagenéticos, el loess está sometido también a análogas alteraciones en el transcurso de los tiempos geológicos” (56, págs. 203-211).<sup>1</sup>

Contra estas interpretaciones, Kantor (41, pág. 319) ha objetado que “es evidente que en la formación del depósito pampeano han intervenido procesos diagenéticos, pero el alcance de esta intervención no debe ser exagerado”; y agregaba que “bajo diagénesis comprendemos las transformaciones mecánicas y químicas (diferentes del metamorfismo) en las rocas sedimentarias substraídas a la acción de los agentes geológicos que actúan en la superficie”.

Pero, si desde el punto de vista teórico, las observaciones de Kantor, basadas sobre las definiciones de Andrée y de J. Walther, se pueden considerar exactas, desde el punto de vista práctico no veo diferencias substanciales entre los procesos diagenéticos de Roth, que transformarían cualquier sedimento en loess, y los procesos diagenéticos de Kantor que formarían “toscas”, “escorias”, y “tierras cocidas” en el seno de una roca derivada por un proceso, aun fuera parcial, de laterización, esto es, en una roca que en parte “debería llamarse limo laterítico” (41, pág. 318) y que “podría muy bien resultar que se tratara de un

<sup>1</sup> Una interpretación algo similar fué propuesta por Russell (1944) para el loess del Mississippi; la misma no ha sido aceptada por la mayoría de los investigadores norteamericanos.



material descompuesto *in situ* debido a un proceso laterítico" (41, pág. 328). Es verdad que Kantor luego agrega que la roca pampeana "debe considerarse como subacuática y no como subaérea (eólica)" (41, pág. 329); pero, entonces, difícil sería imaginar un proceso, aun parcial, de laterización, esto es, de un proceso de disgregación esencialmente meteorico. Podría replicarse que en el caso de la "roca pampeana" no se trata de una laterita primaria (eluvial) sino secundaria (aluvial), pero entonces no podríamos darnos una razón cabal de los casos frecuentes en que falta todo vestigio de la acción de las aguas en el proceso de sedimentación de esta roca o de su larga permanencia en el fondo de cuencas ácueas, los productos diagenéticos inclusive. Así, por ejemplo, en el "loess neopampeano" de algunas regiones, para el cual el mismo Kantor (40, pág. 105) se había visto obligado a exhumar la "teoría eolomarina" de Bravard, considerándolo como el producto de transformación (mediante "procesos diagenéticos") de las dunas costaneras formadas por una arena, que el autor suponía de composición petrográfica y química muy parecida a la del loess. En realidad, las arenas de las dunas del litoral atlántico de la provincia de Buenos Aires son formadas esencialmente por gránulos de cuarzo y feldespatos, aun si algunos elementos accesorios, y especialmente granate rosado, magnetita, ilmenita, partículas de conchillas, estén representados en proporciones elevadas.

Pero no quiero insistir demasiado sobre interpretaciones que el mismo autor ha ya abandonado; sólo quiero observar que sería más fácil continuar sosteniendo semejante transformación de arena en loess que reconocer un origen diagenético para las "escorias" y las "tierras cocidas" de los sedimentos pampeanos. Kantor (41, nota 1, pág. 320) prometió de tratar el tema en un próximo trabajo y, en verdad, hubiera sido muy interesante una solución, desde tal punto de vista, de un problema que hasta ahora ha provocado tantas controversias, sin lograr una solución definitiva. Mientras tanto permítaseme mantener un profundo escepticismo sobre la suposición (41, pág. 320) o la afirmación (41, pág. 329) de que "escorias" y "tierras cocidas" son productos diagenéticos. Sin volver a la discusión sobre la génesis de estos interesantes productos (por no tener nuevos elementos de juicio capaces de llevarme a conclusiones más terminantes que aquellas formuladas en otra oportunidad (30, págs. 444-452), observaré solamente que todos los autores, tanto los que los han considerado como materiales volcánicos (Heusser y Claraz, Moreno, Steinmann, Bücking, Outes), como los que los supusieron productos de la acción del fuego sobre loess o limos pampeanos, como restos de fogones alimentados por el hombre (Ameghino), o a

consecuencia de incendios intencionales (Ameghino), u ocasionales (Lehmann-Nitsche), o como restos de alfarerías (Roth), o, finalmente, como el resultado del contacto de intrusiones lávicas sobre los mismos limos (Wright y Fenner), todos han coincidido en poner de relieve caracteres físicos, químicos o petrográficos, que excluyen terminantemente la suposición de Kantor.

Para las escorias, limitando el examen a los caracteres más importantes, Herrero Ducloux (47, pág. 175) y Wright y Fenner (66, pág. 90, 94, 95) han demostrado que ellas tienen la misma composición química del limo que las encierra y desde el punto de vista estructural, en nada difieren de las escorias conseguidas con el mismo limo sometido a una alta temperatura. Desde el punto de vista petrográfico, según las investigaciones de Bücking (47, pág. 185-186) y Wright y Fenner (66, págs. 72, 89, 90), se componen de una masa vidriosa estriada, desigualmente teñida en pardo claro por óxido de hierro, que incluye gránulos de plagioclasas, cuarzo, piroxenos, olivina y magnetita, pequeños cristales de plagioclasa y piroxenos pardo-verdosos, con disposición francamente fluidal, y microlitos piroxénicos formando esferulitas fibroso-radiadas y reunidos irregularmente en grupos de cristales aciculares. En fin, se trata de un vidrio microlitífero, con inclusiones de fragmentos de cristales propios derivados, por recristalización, del magma vítreo. Los caracteres del magma vidrioso fundamental y los silicatos cristalizados que éste engloba, bien pudieran justificar la opinión de aquellos autores que consideraron las escorias como lavas andesíticas, si a ello no se opusieran las razones ya consideradas por Wright y Fenner (66, pág. 90) quienes justamente llegaron a la conclusión de que: "The microscopic and thermal evidence practically proves, however, that the scoriae have been produced by the melting down of an original clastic material which resembled in all its details the loess of this region. The observed facts indicate in brief that the scoriae are simply fused loess, melted under conditions which protected the molten mass from oxidation" (66, pág. 95).

Ahora bien, los mismos caracteres se oponen a un origen diagenético de las mismas escorias. En los procesos de la diagénesis, especialmente los que se efectúan en el fondo de los mares, se observa una considerable descomposición de silicatos anhidros complejos, procedentes de la disgregación de rocas cristalinas metamórficas y eruptivas (feldespatos, andalusita, cianita, peridota, anfíbol, piroxenos, etc.), dando lugar a la formación de sales menos complejas y a varios silicatos hidratados (caolina, serpentina, epidota, zoisita, glauconita y zeolitas, especialmente phillipsita y christianita). En cambio, nunca se ha comproba-



do un proceso inverso, que de compuestos no silicados y de silicatos hidratados llegase a la formación de silicatos anhidros complejos, ni, menos aún, a la formación de vidrios silíceos con cristales macrómeros y micrómeros de feldespatos y piroxenos, orientados según estructura fluidal.

Para las "tierras cocidas", todos los autores que las han examinado química y petrográficamente, esto es, Herrero Ducloux (47, pág. 175), Zirkel (45, pág. 454), Wright y Fenner (66, págs. 61-63, 84, 88, 93), están de acuerdo en considerarlas de composición idéntica a la del "loess" (más exactamente "limo"), del cual difiere únicamente por cierto grado de endurecimiento y enrojecimiento, como consecuencia de la deshidratación, con transformación de la limonita en hematita, del material original bajo la acción del fuego: en otros términos, "the specimens of tierra cocida are, for the most part, composed simply of loess fragments which have been indurated and reddened by heat action between 850° and 1050°" (66 pág. 93). Entre los productos diagenéticos solamente concreciones de "hierro de pantanos", a raíz de un examen superficial, podrían confundirse con fragmentos de "tierras cocidas", puesto que ambos productos, en los limos pampeanos, se presentan como materiales en que los elementos de la roca incrustante se hallan cementados por una substancia arcilliforme teñida por óxido de hierro. Pero, mientras en el "hierro de pantanos" la substancia intersticial está representada por abundante limonita (sesquióxido de hierro hidratado), en las "tierras cocidas" la substancia cementante contiene una cantidad relativamente reducida de hematita roja (sesquióxido de hierro anhidro). Las condiciones en que, en las "tierras cocidas", se halla el óxido de hierro anhidro pueden excluir que ellas representen el producto de diagénesis, en que, naturalmente, los procesos de hidratación predominan sobre los de oxidación. En el caso especial, es muy fácil diferenciar "hierro de pantanos" y "tierras cocidas" puesto que, conservando los caracteres propios de cada uno de estos dos productos, ellos se encuentran, a menudo, asociados en el espesor de un mismo depósito. Agregaré que el mismo Bücking (47, pág. 186), quien, no sé si por no haber suficientemente examinado la muestra o por no haber dispuesto de un espécimen apropiado, ha considerado el cemento ferruginoso de las "tierras cocidas" como "hidróxido de hierro e hidróxido de aluminio, o bien arcilla", en cambio de inclinarse a considerarlas como concreciones del tipo del "hierro de pantanos", ha preferido determinarla como una toba volcánica. En fin, contra la suposición de Kantor existe también el hecho de que el origen de las "tierras cocidas" debe considerarse junto con el origen de las "escorias", no sólo porque en los limos del pampeano inferior los dos

elementos se hallan íntimamente asociados, sino también porque ambos tienen la misma composición química y porque ambos pueden obtenerse experimentalmente sometiendo el limo pampeano a la cocción en diferentes condiciones y temperaturas.<sup>1</sup>

## CONTENIDO PALEONTOLÓGICO

Finalmente, el contenido paleontológico de los limos y de los loess, examinados comparativamente, ofrece importantes criterios para diferenciar los dos tipos de rocas.

Conviene estudiar separadamente los macrofósiles y los microfósiles.

### *Macrofósiles*

Los macrofósiles en los terrenos pampeanos, a prescindir de los sedimentos marinos sobre la costa del Atlántico y del estuario platense, están representados por restos de animales continentales e impresiones de vegetales.

Los restos de animales consisten en partes del esqueleto de mamíferos, más o menos abundantes, y de aves, peces, reptiles y anfibios, generalmente raros, fragmentos del caparazón de crustáceos de agua dulce y de insectos, también raros, y más frecuentes cáscaras de moluscos terrestres y acuáticos. Para que estos restos puedan proveernos de datos diferenciales entre limos y loess, debemos estudiarlos en sus condiciones de frecuencia, distribución, yacimiento y estado de conservación.

<sup>1</sup> En una discusión, Kantor ha vuelto a sostener esta opinión sin agregar nuevos hechos probativos al respecto. Pero, por lo que al problema pudiera referirse, señala, en la base de la barranca de Diamante (prov. de Entre Ríos), "limo pampeano removido, denudado en la época reciente de la barranca principal, y que tiene una potencia de 2,50 metros, que encierra ladrillos, pedazos de vidrio y otros objetos, amoldándose perfectamente a ellos..." El sedimento en cuestión se repite con idénticas características en muchos lugares análogos en la provincia de Entre Ríos, próximos al borde del Paraná y a centros habitados. Así, por ejemplo, en el cauce del arroyo Antoñico, en proximidad de la ciudad de Paraná. Se trata de sedimentos de los cauces actuales en que los aluviones arrastran los desperdicios de la vida humana, junto con los materiales sueltos de las rocas vecinas. En el Antoñico, además de ladrillos, vidrios, etc., hallamos también... botines viejos y restos más o menos macabros del cementerio vecino, como ya he señalado en otra oportunidad. Estos materiales se acumulan en los bordes del río Paraná, en correspondencia de los conos de deyección de cauces y cañadones, y en los cauces mismos durante las fases de creciente del río, formando depósitos sumamente heterogéneos, que luego quedan cortados en forma de bajas terrazas durante las bajantes del mismo río, cuando, por alcanzar el nivel de base descendido, las aguas de arroyos y cañadones se hallan obligadas a surcar, más o menos profundamente, los sedimentos de los mismos cauces. Es evidente que en una discusión sobre las propiedades de los "limos pampeanos" no debemos introducir semejantes depósitos. En cambio, Kantor se basa sobre estos para pretender demostrar una notable "capacidad plástica del limo que puede encerrar piezas diversas, sin que pareciera que hubiesen sido colocadas allí, especialmente". (36. Discusión, pág. 377). Creo que, dadas las premisas establecidas por Kantor en anteriores oportunidades y en la misma discusión, habría sido más lógico que este autor hubiese llegado a la conclusión de que los ladrillos de Diamante, al mismo modo que los vidrios, botines, cruces del cementerio del Antoñico, etc., representasen... productos diagenéticos.



En primer lugar, en el loess los restos fósiles son generalmente raros. Evidentemente, durante las fases de acumulación loésica y especialmente en las regiones de más intensa acumulación, las condiciones mesológicas se opusieron a un gran desarrollo de faunas. Las mismas condiciones probablemente contribuyeron también a la extinción de muchos elementos faunísticos especialmente en conexión con las considerables lluvias de cenizas volcánicas que, generalmente, coincidieron con el final de las fases loésicas. No hay duda de que la extinción de elementos faunísticos y la consecutiva rareza de restos fósiles en el loess pueden correlacionarse con la caída de estas cenizas. A pesar de que su importancia, particularmente por lo que se refiere a la génesis del "loess" pampeano, a menudo ha sido exagerada, en la serie pampeana de toda la superficie de las pampas y regiones limítrofes, se intercalan varios niveles de cenizas cuyo espesor, desde algunos centímetros puede alcanzar los dos metros: en Córdoba, en Entre Ríos y todavía en proximidad del borde atlántico sur de la provincia de Buenos Aires, especialmente en las depresiones, es frecuente observar mantos que alcanzan 1.50 a 1.80 metros de espesor. En la región de la desembocadura del arroyo del Malacara he observado una cueva de *Scelidotherium*, conteniendo aún los restos del animal, completamente colmada por estas cenizas. Pero, la extinción de elementos faunísticos no fué debida tanto a una acción directa sobre los elementos faunísticos mismos, como indirectamente sobre la vegetación herbácea, de la cual los gigantes herbívoros pampeanos se alimentaban. Según informes, bastó la pequeña lluvia de cenizas volcánicas reciente (enero de 1921) para provocar, en algunas regiones al sur de la provincia de Buenos Aires, una sensible mortandad entre los animales en la imposibilidad de sustentarse con los vegetales cubiertos de cenizas y también por la formación de bolos y oclusiones intestinales por la ingestión con el pasto de grandes cantidades de cenizas. Sin duda, mayores proporciones han de haber alcanzado estas consecuencias cuando lluvias de cenizas mucho más copiosas cubrieron la llanura pampeana, ya transformada en estepa bajo condiciones de clima áridas o sub-áridas.<sup>1</sup> También la aridez

<sup>1</sup> Durante la sedimentación pampeana, las proyecciones de cenizas volcánicas, por número e importancia, son mucho mayores que lo supuesto por Kantor (41, pág. 323). Pero, no es éste el lugar para insistir, como simple digresión, sobre un problema que reviste suma importancia. Sólo permítaseme observar que, si es cierto que todos los depósitos pampeanos no pueden ser "un producto de constantes lluvias volcánicas", también es cierto que estas cenizas entran como factor de importancia petrográfica y estratigráfica en la estructura de la serie pampeana. Por lo tanto, no se puede lógicamente llevar a un extremo la reacción contra la tendencia de algunos autores que, como Doering, Steinmann y Roth, especialmente para los niveles inferiores, han creído poder atribuir a estas cenizas un rol genético preponderante; ni, menos aún, es posible recurrir a hipótesis todavía menos aceptables con el simple fin de sustraerse a la sugestión de tales tendencias. Por otra parte, tampoco es justo, en mi entender, atribuir el valor de un fenómeno puramente transitorio y local a las lluvias de estas cenizas y al mismo tiempo suponerla "en relación con la rapidez de la evolución de la fauna pampeana" (41, pág. 324).

del clima, la misma que favoreció el fenómeno loésico, debe haber influido en forma sensible sobre la escasez de faunas y la consiguiente rareza de restos fósiles en los mantos de loess. Y, en verdad, sería superfluo insistir sobre la importancia de este factor, cuyas grandiosas consecuencias se hacen sentir aún en la actualidad por la inmensa llanura argentina a cada período de sequía, a pesar de que sus proporciones, inclusive las del “gran seco” recordado por Darwin (20, pág. 119), no pueden compararse con aquellas de los largos anaclimas cuaternarios.

En cambio, en los limos pampeanos, los restos fósiles pueden ser abundantes, a veces sumamente abundantes. Los depósitos inferiores de los acantilados de Monte Hermoso, Miramar y Chapadmalal, la “tosca” del Río de la Plata, los sedimentos verdosos reunidos bajo la denominación de “lujanense”, los depósitos querandinos, etc., justamente reputados por la abundancia de sus fósiles y que han proporcionado la mayor parte de los mamíferos y moluscos pampeanos hasta ahora conocidos, son constituídos por limos fluviales, lacustres o palustres.

En segundo lugar, en el loess los raros restos fósiles se hallan distribuidos sin orden en el espesor del depósito. Los huesos de mamíferos generalmente se hallan enteros, pero separados y dispersados en la misma forma en que, en la actualidad, se desparraman las varias partes de un esqueleto abandonado, en la superficie del suelo y especialmente sobre la arena de los médanos, a las intemperies y a la voracidad de los carniceros. Muchas veces, la superficie de los huesos muestran las huellas de los dientes de carnívoros y, a menudo, también de roedores. Otras veces, los huesos largos de mamíferos de talla mediana se encuentran reducidos en astillas, evidentemente como residuos de presas de los mismos carnívoros y no siempre como desperdicios de comidas humanas, a las cuales fueron atribuidos por su parecido con las astillas óseas de los “paraderos” recientes.

En los depósitos cenagosos podemos hallar estos restos en condiciones idénticas; pero, al lado de estos, hallamos también y a menudo esqueletos enteros, con los diversos segmentos articulados en su posición originaria: evidentemente, ellos pertenecen a animales empantanados, como ya observara Burmeister (15, pág. 113) y F. Ameghino, (3, II, págs. 150-151), quien justamente advertía también que “casi todos los esqueletos completos de animales fósiles que hemos encontrado en la formación pampeana fueron por nosotros retirados de los depósitos lacustres y se encontraban en la misma posición que los que quedan enterrados en los pantanos actuales”. Esqueletos enteros y articulados nunca se



hallan en sedimentos de verdadero loess (eólico): los depósitos arenosos, incluidos en el “terreno areno-arcilloso rojizo” de que hablan los antiguos autores y atribuidos por algunos de estos (Bravard, Ameghino) a acumulaciones consecutivas a “tormentas de polvo y arena”, son también limos arenosos intercalados, en lentes, dentro de sedimentos cenagosos más finos; y las larvas de dípteros, cuyas celdillas, halladas en la roca que envolvía esqueletos enteros de grandes mamíferos pampeanos, dieron lugar a discusiones entre Bravard, Heusser y Claraz, Burmeister y Ameghino (3, pág. 152-157), mejor ambiente, para su desarrollo, pudieron haber encontrado en el limo de las ciénagas que en la arena seca de los médanos.

Sin duda, los esqueletos enteros de grandes mamíferos se encuentran siempre sepultados en limos tenues de pantanos y esteros o de cauces fluviales de escasa corriente, divagante por terrenos pantanosos y anegadizos. En los depósitos de cauce, formados por detritus más gruesos o en aquéllos en que los elementos pelíticos y psamíticos se mezclan con cantidades variables de elementos psefíticos, los huesos fósiles de especies grandes y pequeñas se hallan normalmente sueltos, a menudo fragmentarios y distribuidos caóticamente entre los materiales de acarreo. Generalmente, en estos sedimentos es donde los fósiles abundan y aparecen tanto más frecuentes como más conglomeradiformes resultan los sedimentos mismos; así, por ejemplo, en las capas conglomerádicas del *Chapalmalense* de Miramar, en los lechos conglomerádicos de la “tosca” del Río de la Plata y en los conglomerados del *Ensenadense* de Entre Ríos. Esqueletos enteros pueden hallarse también en el espesor de estos limos cuyos elementos psefíticos están, en su mayor parte, formados por fragmentos rodados de limos pampeanos y prepampeanos endurecidos; pero exclusivamente esqueletos de excavadores de madrigueras, sorprendidos en su misma cueva durante rápidos desbordes fluviales o repentinas inundaciones pluviales. En estos casos, frecuentes en los sedimentos de amplios llanos de aluvión en cuyo ámbito, durante los estiajes, habían sido excavadas las madrigueras, los esqueletos aparecen envueltos en limos caóticos o estratificados en capas delgadas, pero generalmente de caracteres diversos de aquellos de la roca encajonante.

En los mismos limos conglomerádicos, especialmente en los de regiones periféricas más elevadas, donde las fases erosivas adquirieron mayor intensidad, como, por ejemplo, en Córdoba y en Entre Ríos, al lado de restos fósiles propios, podemos hallar también fragmentos rodados de fósiles procedentes de terrenos más antiguos: así en Entre Ríos, junto con restos de la fauna pampiana típica, es frecuente el hallazgo de

fragmentos rodados de moluscos marinos de tipo entrerriano y de mamíferos mesopotamienses. En cambio, fósiles removidos faltan absolutamente en todo banco de loess.

Un criterio de mucha importancia se deduce de la diferente naturaleza de los restos faunísticos contenidos en limos y loess. En éste hallamos restos de animales de hábitat exclusivamente terrestre y pertenecientes a mamíferos, aves y moluscos. Los mamíferos del loess se reducen casi por completo a Gliptodóntidos, Sclerocalíptidos, Dasípidos, Miodóntidos, Scelidotéridos, Megatéridos, Cérvidos, Equidos, Didélfidos, Carnívoros y Roedores cuniculícolas, especialmente *Lagostomus* y *Ctenomys*. Entre las aves se hallan con relativa frecuencia sólo restos de *Rhea* y fragmentos de cáscara de sus huevos. Los moluscos pertenecen a los géneros *Strophocheilus*, *Bulimulus*, *Protoglyptus*, *Odontostomus*, *Plagiodontes*, *Scolodonta* y *Eurycampta*, pero reducidos al loess de las regiones marginales de las montañas y de los grandes ríos, que, durante las fases áridas del Pampiano, pudieron conservar de cualquier modo su caudal (ríos alóctonos). En las demás regiones el loess carece de ellos, probablemente a raíz de condiciones análogas a las que también en la actualidad, determinan la impresionante rareza de moluscos terrestres en las pampas. En varias localidades, a los géneros de moluscos recordados, sin embargo, debemos agregar *Succinea*, que vive en parajes húmedos, y hasta *Planorbis*, de agua dulce; la presencia de estos moluscos de cáscara muy liviana puede explicarse por un proceso análogo al que, por ejemplo, en los alrededores de Miramar, incluye en abundancia entre las arenas de los médanos cáscaras de los mismos *Planorbis* y *Succinea*, esto es, por deflación desde los depósitos de más antiguas lagunas y pantanos, donde abundan estos moluscos. Así, por ejemplo, debemos considerar en condición de fósiles heterópicos los ejemplares de *Succinea meridionalis* d'Orb., que con relativa frecuencia se hallan en la base del loess bonaerense de los alrededores de Córdoba, descansando sobre lentes de limos ricos en cáscaras del mismo molusco.

En cambio, en el espesor de los limos pampeanos, junto con los restos de los animales terrestres mencionados, arrastrados en cauces y cuencas por las aguas corrientes de escurrimientos y desbordes, hallamos también otras numerosas formas de hábitat acuático. Entre los mamíferos, es característica la presencia de *Toxodon* e *Hydrochoerus*, como ya observó F. Ameghino (3, pág. 149). A éstos debemos agregar los géneros *Myocastor*, *Typotherium*, *Antaodon*, etc.; entre los moluscos, *Ampullaria*, *Ancylus*, *Chilina*, *Planorbis* y *Littoridina*, a menudo en crecidas cantidades.

En los mismos limos, frecuentemente encontramos, además, restos



de peces, quelonios, batracios y crustáceos, que faltan siempre en el verdadero loess.

Para una diferenciación entre loess y limos es muy importante, finalmente, un estudio prolijo de las condiciones de conservación de los diferentes fósiles.

Los fósiles del loess, y particularmente los restos de mamíferos, son siempre livianos, porosos, frágiles, de color blanco o amarillento. Evidentemente, estas condiciones responden, en parte, a la porosidad de la roca que mal se presta a la conservación de fósiles, y en parte a la circunstancia de que, por su larga exposición a las intemperies, los restos del loess quedaron enterrados después de una notable decalcificación.

En cambio, los fósiles de los limos son más pesados, compactos, resistentes y su color varía desde el amarillo al pardo y al rojizo, y desde el gris al negro, en relación con la diferente naturaleza del sedimento que los encierra. El grado de estas condiciones y los colores para estos fósiles pueden variar también dentro de un mismo depósito, en relación con las variaciones petrográficas, horizontales y verticales, propias de los sedimentos fluviales y fluviopalustres. Dentro de los mismos, las variaciones de aspecto y de color pueden afectar, y a veces en grado sensible, restos próximos o contiguos, independientemente de las condiciones del sedimento en que yacen, pero en evidente relación con el estado de los diferentes restos orgánicos al momento de su enterramiento; sin duda, la cantidad de sustancias orgánica contenida en ellos al momento en que fueron incluídos en los sedimentos del fondo de cuencas o cauces, y los caracteres del substratum para los consecutivos procesos diagenéticos, han influído sobre las condiciones de fosilización de los diferentes restos de un mismo depósito.

En evidente relación con la intensidad y la calidad de los procesos diagenéticos sufridos por los fósiles de los limos, estos se hallan más o menos mineralizados e incrustados con concreciones calcáreas (entoscados); la mineralización a veces se reduce a dendritas y manchas de hidróxidos de hierro y manganeso, que afectan la superficie y el espesor de los restos fósiles, y otras veces consiste en grados diversos de impregnación calcárea, silícea o metálica, que pueden llegar hasta una epigénesis completa. En este último caso, los fósiles, por substitución silícea de su primitiva estructura y contemporánea imbibición de hidróxidos metálicos, adquieren aspecto vidrioso y color pardo oscuro hasta negro.

Por lo que se refiere a las impresiones de vegetales, también podemos considerarlas de importancia para un análisis diferencial. En el loess estas impresiones se reducen exclusivamente a los característicos cana-

lículos radicales, finísimos, dejados por manojos de raíces filiformes o capilares de pequeñas plantas herbáceas, gramíneas especialmente; estos canalículos, por lo común, permanecen vacíos y sólo algunas veces se rellenan de eflorescencias de caliza terrosa.

En los limos, en cambio, las impresiones radicales son generalmente más numerosas y más gruesas: al lado de las filiformes hallamos siempre otras cuyo calibre alcanza varios milímetros y, a veces, también algunos centímetros de diámetro. Estas, evidentemente, indican una vegetación más abundante y de mayor porte, con raíces más grandes y, a veces, rizomatosas. Además, en los limos, estas cavidades casi siempre están tapizadas en negro por hidróxidos de hierro y manganeso, por vivianita terrosa o por secreciones bolares grumosas.<sup>1</sup> A menudo, también, están rellenas de concreciones calcáreas (tosquillas), de yeso o de limonita.

Otro carácter propio de los limos es que, junto con las impresiones radicales, podemos hallar también impresiones de tallos y de hojas, casi siempre de monocotiledóneas, generalmente acuáticas. Estas impresiones, sobre las cuales por primera vez F. Ameghino (3, II, pág. 143) ha llamado la atención, a veces son numerosísimas y reunidas en grandes grupos, recordando en su conjunto el aspecto de espesos juncas; así, por ejemplo, en la mayor parte de los limos de las terrazas querandinas de la provincia de Buenos Aires. También estas impresiones algunas veces quedan vacías y otras se rellenan de materiales concrecionarios y, particularmente, de ocre amarillo.

Finalmente, en los limos, además de las impresiones, podemos hallar verdaderos restos de vegetales, representados por semillas (aquenios), segmentos de tallos y oogonios de algas calcáreas (*Chara*, *Nitella*), musgos y hojas de *Carex* formando capitas de turba.

#### *Microfósiles*

Los fósiles microscópicos del loess y de los limos pampeanos pertenecen a los "poligástricos" y "fitolitarios" de la vieja clasificación de Ehrenberg. Entre los primeros se incluían las diatomeas y los rizópodos de caparazón silíceo (*Thecamoebida*, *Heliozoa*, *Radiolaria*) y entre los segundos las células silíceas de vegetales superiores (gramináceas, equisetinas, etc.), y las espículas parenquimáticas de esponjas silíceas (*Silicospongiae*), las cuales, más tarde, fueron separadas por J. W. Bailey (1856) bajo el nombre de "zoolitarios".

<sup>1</sup> Supongo que son estas secreciones bolares las que Romero (54, pág. 31) ha considerado como "elementos residuales de organismos que, sin duda alguna constituyen deyecciones de anélidos".



A pesar de que ellos son frecuentes en los sedimentos pampeanos y de importancia desde varios puntos de vista, estos fósiles pasaron desapercibidos completamente, o fueron apenas mencionados de paso por algunos autores (Ameghino, Zeballos, Doering, Roth, Früh), sin concederles mayor importancia. Solamente Darwin (21, págs. 138, 145, 149), basado sobre determinaciones de Ehrenberg, señaló varios "poligástricos" y "fitolitarios" en los limos inferiores de Monte Hermoso y en los limos adheridos a restos fósiles de Punta Alta y de Gorondona; trató, además, de acuerdo con el hábitat de estos microorganismos (21, pág. 150), remontar al origen de los sedimentos pampeanos. Agregaré que F. Ameghino (3, II, pág. 81), al discutir las opiniones de Darwin, recordó estos microfósiles bajo el nombre de "infusorios", y más recientemente Wichmann (65, pág. 17), transcribió la lista dada por Darwin para los limos de Monte Hermoso, considerando todos los microfósiles correspondientes como "bacilariáceas", *Lithodontium* y *Spongolithis* inclusive, dos de los muchos géneros de "fitolitarios" establecidos por Ehrenberg y que corresponden a células silíceas de gramíneas, el primero, y a espículas de sílicesponjas, el segundo.

La causa porque estos elementos no fueron tomados en debida consideración, en mi entender, se debe al hecho de que ellos, en las preparaciones microscópicas hechas con materiales no oportunamente tratados, quedan por decir así, diluidos entre la masa preponderante de los elementos pelíticos propios de los sedimentos pampeanos y, en los materiales tratados con el reactivo de Lunge y Millberg, quedan destruidos por el hidrato de sodio que el mismo reactivo contiene. Para estudiarlos, en el mayor número de los casos, se necesita concentrarlos, eliminando los elementos arenosos y arcillosos mediante procesos mecánicos, y eliminando los silicatos solubles mediante ataques químicos, como dije en un escrito especial (35<sup>a</sup>).

Anticipando, para las necesidades del caso, algunas conclusiones entre las muchas que me ha sugerido el resultado de largas investigaciones sobre estos microfósiles, observaré que su estudio ofrece importantes criterios para diferenciar limos y loess.

En el loess, ellos son frecuentes, pero se reducen principalmente a los "fitolitarios" de los tipos *Lithostylidium*, *Lithodontium*, *Lithomesites*, etc., de Ehrenberg, esto es, a elementos celulares silificados de la epidermis y del parénquima de las gramíneas. A éstos se asocian, con menor frecuencia, espículas de esponjas de agua dulce, del tipo *Spongolithis* de Ehrenberg, siempre fragmentarios y corroídos. En fin, se asocian también raras diatomeas.

Como ya tuve la oportunidad de recordar (31, pág. 8), éstas pertenecen casi exclusivamente a pequeñas variedades de *Hantzschia am-*

*phioxys* Ehr. (vars. *xerophila* Grun. y *minor* Per.) y de *Pinnularia borealis* Ehr. (vars. *genuina* y *mundivaga* Ehr.), las especies más comunes entre las llamadas "diatomeas terrestres" por vivir, fuera de las aguas, sobre el suelo y las plantas, y las que más constantemente se hallan en los polvos meteóricos y en el pulvíscolo del aire de todas partes del mundo. Junto con las dos especies mencionadas raramente podemos hallar frústulos de pequeñas especies de *Melosira*, *Cyclotella*, *Navicula*, etc., y raros fragmentos de especies mayores.

La escasez de las diatomeas en el loess y su casi exclusiva limitación a las especies más típicamente terrestres, confieren a los depósitos de loess el carácter de acumulaciones de polvos meteóricos en forma de suelo y, sobre todo, de suelo bajo un régimen de clima seco. En efecto, las especies recordadas son también aquéllas que muestran mayor capacidad de resistencia al desecamiento, ya tan notable en las diatomeas en general. Por otra parte, sabemos que en los suelos de las regiones húmedas y en los polvos atmosféricos actuales, *Hantzschia amphioxys* y *Pinnularia borealis* se asocian a otras numerosas especies continentales y, a veces, también marinas, como han demostrado las investigaciones de muchos autores y especialmente de Ehrenberg, quien se ocupó del problema por casi medio siglo de indagaciones constantes.

En los limos los microfósiles son siempre mucho más abundantes y variados (Fig. 24). Hasta en los depósitos lenticulares de pantanos y charcos, al parecer temporarios, junto con las formas mencionadas para el loess se encuentran otras numerosas propias de las cuencas ácuas. Todavía más numerosas y más variadas se hallan en los depósitos cenagosos de cuencas lacustres y de cauces fluviales. Entonces, junto con las células silíceas de las gramíneas, las espículas de esponjas generalmente enteras, y los frústulos de las diatomeas, hallamos también elementos silíceos de *Equisetinae* y restos de Rizópodos de agua dulce, ya sea en forma de bastoncitos, escamas y placas (generalmente derivadas de la alteración y deformación del frústulo de pequeñas diatomeas) características de la cápsula de los Nebélidos (*Nebela*, *Diffflugia*, *Quadrula*, *Heleopera*, *Trinema*, etc.), o en forma de pequeños caparazones lageniformes de un tipo nuevo<sup>1</sup>, muy difundido en estos sedimentos pampeanos, como también en el fondo de las cuencas actuales de algunas regiones argentinas.

En muchos limos estos restos silíceos forman la parte principal de la roca o casi la totalidad de la misma: así, por ejemplo, en los limos verdes del *Querandinense* y especialmente en los grises del *Platense*. Un

<sup>1</sup> Al mismo tipo corresponden las formas de los sedimentos del lago Ferto (Neusiedler See) en Hungría, que Pantocsek, considerándolas como diatomeas, ha reunido bajo el género *Carnegia*. En un principio considerados por mí como caparazones silíceas de *Trachelomonas*, fueron luego reunidas bajo el nombre de Crisostomatáceas.



caso notable, desde este punto de vista, nos es proporcionado por el material gris-verdoso de las numerosas lentes intercaladas en el *ensenadense* de Ameghino (5, pág. 380) o *mesopampeano* de Roth (56, pág. 210, fig. 17), que haré motivo de una próxima publicación. En este limo, formado casi exclusivamente de partículas de sílice organizada

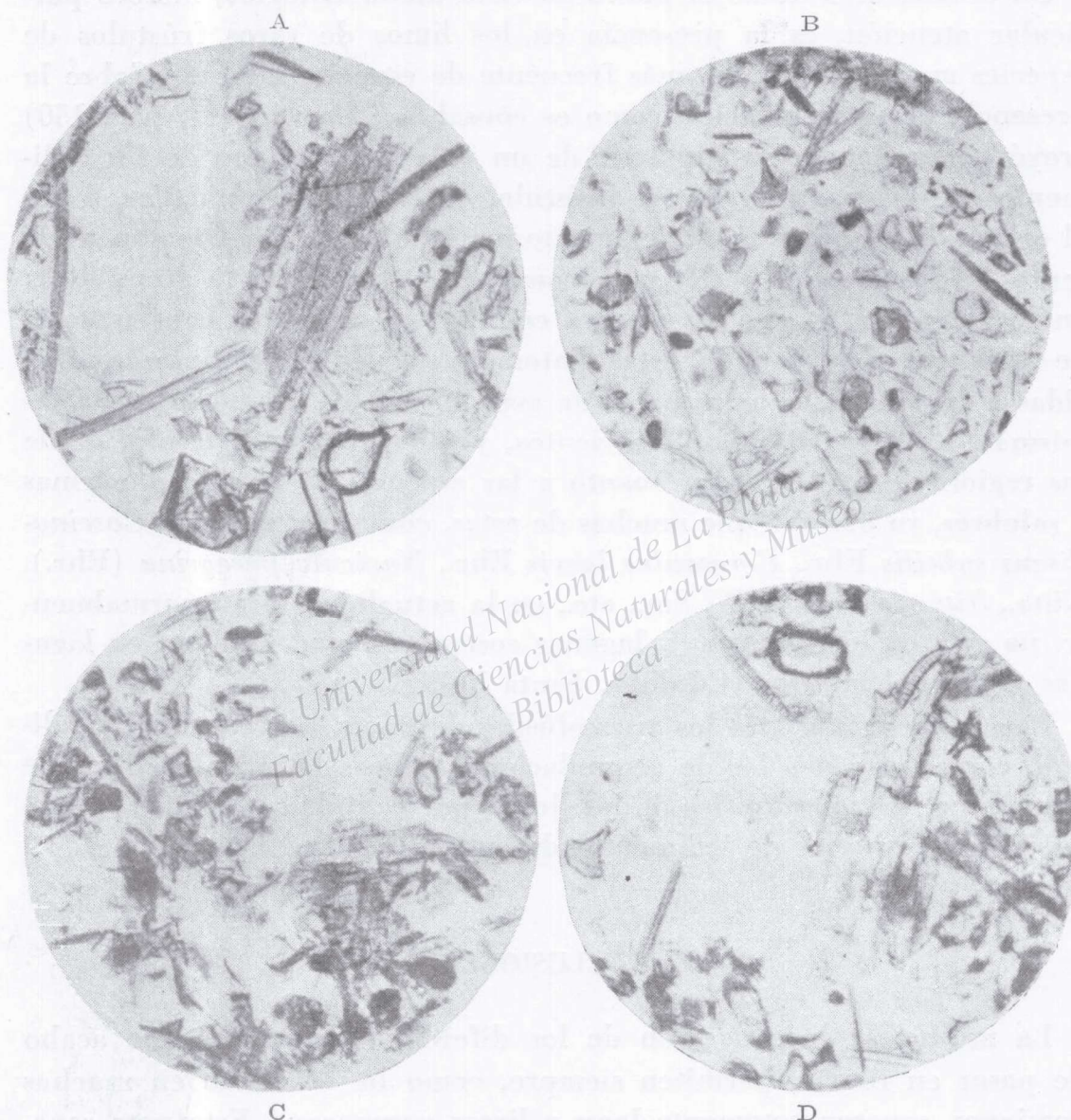


Fig. 24. — Residuo insoluble de limos pampeanos. — Células síliceas de gramíneas, espículas de esponjas, diatomeas, etc., del "Prebelgranense" de Miramar ("Ensenadense" de Ameghino). — A, x 250; B, x 100; C, x 75; D, x 150.

(células de gramíneas, tejido silificado de equisetos, espículas de potamo-esponjas, frústulos de diatomeas), las diatomeas, por número y especies, forman un conjunto sumamente interesante. De mucha importancia es la presencia entre ellas de *Neidium magellanicum* Cleve y de muchas otras especies exclusivas de los ríos y lagunas de Tierra del



Fuego, lo que, de acuerdo con los resultados del examen de materiales pampeanos sedimentados en condiciones análogas, confirma cuanto ya he sostenido en otras circunstancias (28, pág. 220) acerca de un régimen de clima más húmedo y más frío que el actual durante la sedimentación de los limos pampeanos.

Un detalle que, desde el punto de vista diatomeológico, merece particular atención, es la presencia en los limos de raros frústulos de especies marinas y mucho más frecuente de especies salobres. Sobre la presencia de estas especies, como es consabido, Darwin (21, pág. 150) creyó poder apoyar su hipótesis de un origen estuario de los sedimentos de las pampas. Ya he insistido, en otras oportunidades, sobre el origen de las especies estrictamente marinas de los limos pampeanos, tanto de los parajes costaneros, como del interior de la República: análogamente a lo que se observa en muchos depósitos continentales de otras partes del mundo, estas diatomeas pueden haber llegado adheridas a las plumas y a las patas de aves, o con los excrementos de las mismas, o arrastradas por los vientos, junto con el pulvíscolo, desde las regiones costaneras. En cuanto a las especies de aguas submarinas o salobres, ya observé que muchas de estas, como por ejemplo *Coscinodiscus subtilis* Ehr., *Cerataulus laevis* Ehr., *Navicula peregrina* (Ehr.), Kütz., *Nitzschia sigma* W. Sm., etc., en la actualidad viven normalmente, no sólo en los estuarios y lagunas costaneras, sino también en lagunas y ríos del interior (Córdoba, Santa Fe).

En resumen, mientras los microfósiles del loess, por cantidad y calidad, corresponden a los de acumulaciones eólicas bajo un régimen de clima seco, los microfósiles de los limos, por cantidad y calidad, pertenecen a los propios de sedimentos de cuencas y cauces.

### CONCLUSIONES

La minuciosa investigación de los diferentes caracteres que acabo de pasar en reseña, permiten siempre, como he afirmado en muchas ocasiones, separar netamente loess y limos pampeanos. Esta neta separación, que para la mayor parte de los autores ha podido parecer superflua y hasta ociosa, es, según mi modo de ver, absolutamente imprescindible para interpretar correctamente la génesis de los sedimentos pampeanos, sus relaciones estratigráficas y su edad.

Dejando para otra oportunidad un análisis crítico de las diversas opiniones emitidas hasta ahora por los diferentes autores, por el momento insistiré en afirmar que las profundas discrepancias que separan las diferentes interpretaciones propuestas, dependen esencialmente de



no haber separado con prolijidad limos y loess, y de no haber suficientemente apreciado el diferente significado estratigráfico y genético de estos dos tipos de rocas.

No hay duda de que todos los datos considerados para diferenciar limos y loess, desde el punto de vista de su composición, separarán netamente también los dos tipos de sedimentos desde el punto de vista de su origen, y demuestran cuanto carecen de fundamento todas aquellas interpretaciones que consideran toda la serie pampeana como formada exclusivamente de depósitos eólicos (loess) o de sedimentos acumulados con el concurso de las aguas (limos).

En realidad, como hemos visto, en la serie pampeana existen sedimentos eólicos y sedimentos ácueos (palustres, fluviales y límnicos). Los caracteres de homogeneidad del loess, su composición, estructura y textura, su distribución y su contenido paleontológico, tanto apreciados en relación con los caracteres de los limos, como avalorados en su significado absoluto, son demasiado elocuentes y no permiten, de ninguna manera, dudar del origen eólico del loess. Naturalmente, en la génesis del loess debemos separar diversos momentos, cada uno de los cuales debe ser considerado por separado:

1. — Origen de sus elementos constitutivos;
2. — Transporte de estos materiales;
3. — Fijación de los mismos en forma de suelo;
4. — Transformaciones de los mismos después de su sedimentación.

Reservando para una publicación *ad hoc* un examen detenido de estos diversos momentos principales, basado sobre los caracteres recordados y a guisa de conclusiones, creo desde ya poder afirmar lo siguiente:

1. — El loess pampeano es una roca formada principalmente por silicatos solubles, pelíticos, evidentemente derivados de un proceso de alteración hidrolítica de rocas volcánicas y tobáceas, del este y noroeste argentino,<sup>1</sup> feldespáticas especialmente, bajo un clima relativamente cálido y seco. Este proceso alterativo, según cuanto ya ha sido constatado por Bade (7, pág. 214), consistió en un proceso de laterización parcial, pero no efectuado sobre materiales ya sedimentados en la

<sup>1</sup> El autor que por primera vez supuso que los materiales pampeanos derivasen de la descomposición de las rocas cristalinas de las montañas, fué Burmeister, primero (1867) en forma vaga (15, pág. 112), y luego (1876) en forma más precisa, afirmando que el origen de la "marne diluvienne" debía considerarse como una acumulación en la llanura de materiales derivados de la alteración meteórica de los granitos, sienitas y especialmente de los gneiss calcíferos, que forman el fundamento de todas las montañas centrales de la República Argentina (16, pág. 208).



superficie de las pampas y regiones limítrofes, sino sobre las rocas madres *in situ*, esto es, en los relieves periféricos, especialmente del oeste y noroeste, formados principalmente por rocas metamórficas y eruptivas antiguas y recientes. En estas regiones, en la actualidad, y más aún durante los anaclimas cuaternarios, hallamos las condiciones climáticas aptas para los mencionados procesos alterativos, y la consecutiva formación de productos eluviales sublateríticos. Para que se efectuase la alteración de los elementos originarios, no es necesario admitir condiciones de humedad análogas a aquéllas bajo las cuales se realiza la formación de la laterita típica, ni menos aun, su permanencia bajo las aguas, bastando las saltuarias precipitaciones meteóricas asociadas a la profunda disgregación física de las rocas y el grado elevado de disociación hidrolítica de las aguas meteóricas bajo un régimen subdesértico.

2. — Desde las regiones periféricas de origen, estos materiales fueron transportados por vía eólica, junto con partículas pelíticas y psamíticas de cuarzo, silicatos insolubles y otros elementos no descompuestos químicamente, mezclándose también con proporciones variables de cenizas volcánicas. La ablación eólica de estos materiales, tanto puede haberse realizado directamente desde la parte alta de los relieves montañosos donde los materiales mismos se habían formado, o desde los conos de deyección de los bolsones, de los valles intermontáneos o del *vorland* de las sierras, tal como lo han insinuado Keidel (42, pág. 45) y Kühn (44, pág. 22), aunque contra esta interpretación, cuando quisiera dársele una importancia preponderante, se podría objetar que un proceso de levigación por deflación sobre las acumulaciones de vertiente habría sido limitado e interrumpido bien pronto por la formación de una capa residual de elementos gruesos, un *Steinpflaster*, que hubiera protegido el depósito de ulteriores ablaciones. Es, evidentemente, por esta razón que los grandes depósitos de acarreo en las regiones áridas andinas y preandinas, inclusive el *jasí* mencionado por Rovereto (58, pág. 12), conservan aún elementos pelíticos loessiformes en tal abundancia “que se pueden llamar loess, con la misma razón como muchos de los depósitos denominados así en el litoral” (42, pág. 45). Pero, no se puede tampoco desconocer en estas acumulaciones de acarreo fluvial y de *Gehängeschutt* (acarreo eluvial de las pendientes), a menudo grandiosas, una importancia considerable como fuente de materiales loessícos pampeanos, y comparable con la importancia que tuvieron las acumulaciones morénicas como fuente de materiales para el loess europeo. Por otra parte, las dificultades que, especialmente en comparación con los sedimentos eólicos actuales más característicos (médanos), se oponen



a la interpretación del loess como el resultado de transportes directos o sucesivos de materiales de deflación, quedan, por completo, eliminadas si renunciarnos a la intervención de aquellos tremendos ventarrones y de aquellas intensas y prolongadas remociones de que hasta ahora nos han hablado los sostenedores de una teoría eólica del loess. La atmósfera, además que por el dinamismo de las corrientes inferiores, puede transportar materiales finos mediante las corrientes superiores de mayor alcance e importancia. Es de extrañar como hasta ahora no se ha tomado en la debida consideración esta forma peculiar dinamismo atmosférico para el transporte a considerable distancia de las partículas que forman el loess pampeano, tanto más que en la estructura superficial de las pampas hallamos tan amplia y abundante distribución de cenizas volcánicas, las cuales seguramente reclaman la intervención de estas corrientes aéreas superiores para su transporte desde los lejanos centros volcánicos y su consecutiva sedimentación en la llanura pampeana. Del mismo modo que las cenizas, los elementos pelíticos del loess habrían alcanzado las capas aéreas superiores, para caer, luego, en forma de lluvia de polvos meteóricos. Para que se realizasen estas condiciones se necesita considerar que, durante los apacimias cuaternarios sobre las regiones montañosas y áridas del oeste y noroeste, área de intensa producción de materiales loésicos, se hubiese determinado un área ciclónica vertical, esto es, una corriente ascendente y su consecutiva expansión hacia las pampas. Para aceptar este mecanismo tenemos suficientes elementos de analogía y datos directos. Sin extenderme mayormente sobre este interesante argumento, diré sólo que el fenómeno se observa aún en la actualidad, aunque en menor escala, en las regiones de acumulación loésica y, al respecto, es muy interesante la observación de Kühn (44, pág. 20) acerca de los mantos de loess que en la provincia de Catamarca cubre, a veces hasta gran altura, solamente las faldas de las sierras que miran al este y al sur: evidentemente, el polvo de disgregación y alteración meteórica, levantado por las corrientes ascendentes que se originan desde el fondo de los valles y la pendiente de las montañas, y desparramado por las regiones circundantes a consecuencia de la expansión de las mismas corrientes, vuelve, con camino inverso, hacia las montañas y "se deposita en las vertientes, contra las que sopla el viento, y por la humedad y la vegetación de gramíneas se transforma en loess de material exótico, en el sentido local, mientras que en sentido genético debemos decir que este material de las llanuras de aluvión, que proviene de las montañas, vuelve así al lugar de su origen bajo otra forma" (44, pág. 22). Mayores proporciones debió alcanzar el fenómeno durante las fases pampeanas de mayor incremento loésico, durante las cuales los polvos de disgregación y alteración me-



teórica, del mismo modo que las cenizas volcánicas, debieron alcanzar mayor altura y mayores distancias, para luego caer sobre las pampas por un proceso análogo a aquél que determina, en la actualidad, la lluvia de polvos meteóricos por extensas zonas alrededor de los desiertos. Lo que se observa alrededor del Sahara, el centro actual de mayor dispersión de estos polvos, según Ehrenberg y Dinklage, puede darnos una idea del fenómeno. En efecto, según las observaciones de los autores mencionados, así como también de Thoulet, Palmieri, Hellmann, Meinardus, Clerici, etc., sabemos que las corrientes ascendentes que se originan en el ámbito de estas áreas desérticas llevan hasta las altas capas atmosféricas grandes cantidades de polvo finísimo, el cual, transportado por las corrientes aéreas superiores, después de un recorrido más o menos largo, a veces larguísimo, caen sobre el mar y los continentes circundantes, abarcando áreas de dispersión considerables. Según Hellmann y Meinardus (38), la cantidad de polvos caída en Europa durante la gran lluvia del 1901 (Marzo) habría sido aproximadamente de 1.800.000 toneladas, de las cuales las dos terceras partes al sur de los Alpes; desde las costas de Africa, estos polvos alcanzaron los alrededores de Kostroma y de Perm, en Rusia, salvando un recorrido de 4.000 Kms. La caída de estos polvos (*Staubfall*) algunas veces es acompañada de lluvia; pero, durante las estaciones secas, se efectúa en seco, enturbiando el aire (*nebbie asciutte, brouillards*) y recubriendo el suelo de una capita de polvo rojizo o pardusco, casi impalpable, análogo al que cubre las superficies reparadas durante nuestras "tormentas de polvo". La caída de estos polvos, que en las altas capas atmosféricas se comportan, en cierto modo, como los vapores, necesita condiciones meteóricas determinadas que provoquen su condensación. Esta, para los polvos meteóricos, se manifiesta en forma de progresiva aglutinación de partículas pelíticas, formando esferulitas que caen cuando hayan adquirido suficiente peso y volumen. Para los polvos caídos en Italia (*polveri sciroccali*) y para las cenizas del Krakatoa caídas en Batavia, esta interesante particularidad de aglutinarse en esferulitas fué estudiada especialmente por Clerici (18, 19), quien, para la génesis de éstas supone un proceso de concentración dentro de gotitas de agua, a veces condensada sobre pelos y fibras vegetales. Pero en los casos en que no existe en la atmósfera una saturación suficiente para determinarse una condensación de vapor de agua en gotitas, es posible que el fenómeno responda a procesos de ionización de las partículas. Tal vez, para que se verifiquen los fenómenos de aglutinación recordados y para que las esferulitas adquieran suficiente cohesión, basta la condensación del agua contenida en las partículas minerales y orgánicas que constituyen los polvos. He insistido sobre este particular, porque evidentemente las



esferulitas del loess pampeano, ya recordadas, responden a un fenómeno idéntico y, a mi modo de ver, constituyen una prueba directa del origen meteórico de este loess. Las esférulas del loess, debido a la exigua coherencia actual de las partículas y tal vez también a remociones eólicas posteriores a su sedimentación, raramente conservan una superficie netamente esférica como aquella de los polvos meteóricos recién caídos; pero, en muchos casos, su forma y aspecto son perfectamente comparables con los de las esferrulitas fotografiadas por Clerici (18, pág. CLXXI) y que yo mismo, discípulo suyo, he podido observar directamente en ocasión de la gran lluvia de 1901. Una estrecha analogía entre las esferrulitas de las "polveri sciroccali" y las del loess pampeano, se puede sostener también en base a la composición química y mineralógica, según los datos publicados por el mismo autor, si bien en las primeras, inversamente que en las segundas, prevalece el cuarzo sobre los demás elementos petrográficos; en cambio, observamos una notable identidad por lo que se refiere a la cantidad y calidad de los elementos accesorios, y al contenido en limonita, alúmina, cal, ácido fosfórico, etc. Finalmente, ambas contienen los mismos microorganismos, diatomeas y espículas de esponjas especialmente. Estas constataciones sugieren la suposición de que también el loess de otras partes del mundo se haya acumulado en condiciones análogas, tal como implícitamente había admitido Richthofen para el loess de China, suponiendo que, mientras las arenas cuarzosas permanecían en los desiertos formando los médanos, las partículas más finas, permaneciendo largamente en suspensión, iban a depositarse muy lejos del área de origen; análoga suposición ha sido hecha también por Virlet para el loess de México. Un mecanismo análogo había sido supuesto por Keilhack para el loess en general, pero con la considerable diferencia de que para este autor los polvos constitutivos, caídos desde las capas aéreas superiores, eran de origen extraterrestre. Supongo que esta interpretación ha podido ser sugerida por la opinión de aquellos autores que también consideraron de origen cósmico los polvos meteóricos recordados anteriormente o tal vez por la antigua hipótesis de Ehrenberg, quien supuso la existencia de un anillo de polvos suspendidos en las altas regiones atmosféricas desde tiempo incalculable y como efecto de la rotación de la tierra. Contra un origen cósmico del loess y de los polvos meteóricos está decididamente el hecho de que ambos carecen de partículas de hierro metálico, níquel y cobalto, elementos que han podido justificar un origen extraterrestre para algunos sedimentos, como por ejemplo, la kryokonita de Nordenskjöld, que cubre la inlandsis groenlandica; para las "polveri sciroccali" un origen meteorítico o cósmico había sido basado precisamente sobre antiguos análisis (Tissandier, Meunier, Tacchini, Silvestri,



Macagno, Ricc6) según los cuales ellas habrían contenido estos característicos elementos; pero el dato no fué confirmado por ulteriores investigaciones (18).

3. — Por el conjunto de sus caracteres, su textura en esferulitas inclusive, el loess pampeano demuestra que después de su sedimentación no ha sufrido remociones ni ácueas, ni eólicas. Demuestra, en cambio, haber permanecido ahí donde quedó fijado en forma de suelo. Según los mismos caracteres, la fijación y el incremento del depósito en forma de loess bien pudieron efectuarse bajo un régimen de estepa, como se ha admitido para el loess de otras regiones (Richthofen, Wüst, Freudenberg, Bayer, Obermayer, Obrutchev, Virlet, etc.) y como ya ha sido aceptado para el loess pampeano por varios autores y especialmente por Rovereto (57, pág. 91; 58, pág. 7). Las opiniones contrarias vertidas recientemente por Roth no pueden oponerse eficazmente contra el concepto de una “estepa creadora del loess”. Ellas se basan sobre consideraciones que están muy lejos de poderse aceptar sin graves reservas. Así, por ejemplo, ya hemos considerado las reservas que se oponen al criterio básico de Roth, según el cual las acciones diagenéticas serían capaces de transformar en loess cualquier clase de sedimento, criterio que no se puede aceptar ni aún reducido dentro de límites mucho menos amplios por otra afirmación del mismo autor, según la cual “el loess pampeano tiene el mismo origen que la tierra vegetal; es tierra vegetal que ha perdido las sustancias orgánicas” (56, pág. 211). Esta afirmación podría, en cierto modo, conciliarse con los sostenedores del origen estépico del loess, si el mismo autor no se opusiera a ello afirmando que “el loess se forma en todos los lugares donde hay tierra vegetal, no solamente en estepas como siempre se supone” (56, pág. 207). Como objeción aquí cabe solamente observar que en la actualidad el característico *sol châtain* de los geógrafos franceses, el suelo que mayor analogía presenta con el loess, se forma sólo en las estepas salinas, donde vive exclusivamente una vegetación xerófila y salinícola y donde la sequedad del clima, en conexión con los caracteres fisiográficos de la región, determina justamente un suelo casi exclusivamente mineral con un mínimo contenido de humus. Del mismo modo, en la Argentina, un suelo loésico en la actualidad se halla en incremento solamente en las regiones del noroeste donde las condiciones morfológicas, fitográficas y climáticas resulten favorables para la formación de este suelo; así, por ejemplo, en las pampas del Campo de Singuil y del Campo del Pucará (Catamarca), donde, según observaciones de Kühn (44, pág. 47), el suelo loésico se desarrolla en llanuras subáridas recubiertas de estepa de pasto duro. No hay duda de que para



la formación del loess en general se necesitaron condiciones de clima árido y subárido y no es necesario insistir sobre hechos ya completamente demostrados. Sólo estimo útil observar que la existencia de una fauna de grandes mamíferos herbívoros durante la sedimentación del loess pampeano no se opone al concepto de “la estepa creadora del loess”, ni demuestra una contemporánea existencia de una abundante vegetación, como la que supusieron Bailey Willis (8, pág. 19) y Roth (56, pág. 205). Me bastará recordar al respecto las antiguas, pero exactas observaciones de Darwin, sobre el hecho de que “no hay correlación entre la lujuria de la vegetación de un país y el tamaño de los mamíferos que lo habitan” (21, pág. 174). “Ha sido una suposición general, que ha pasado de un libro a otro, la de que los grandes animales tengan necesidad de una vegetación exuberante; pero, no vacilo en decir que esta opinión es completamente falsa y que ha inducido los geólogos a errar respecto a algunos puntos de grande importancia en la historia del mundo antiguo” (20, pág. 80). La convicción de Darwin de que en los parajes estériles de las pampas habrían podido vivir muchos y gruesos cuadrúpedos, así como en la actualidad en los *karrus* de Africa meridional, más estériles aun, se alimentan gran número de rinocerontes y elefantes, está completamente justificada.

4. — En cuanto a las modificaciones sufridas por el loess, los mismos caracteres demuestran que ellas fueron mínimas. En muchos casos se reducen a una simple costra de descomposición léhmica, la que muchas veces ha de haber limitado o retardado ulteriores y más profundos procesos alterativos. De todo modo, éstos se reducen a limitados procesos metasomáticos: descomposición superficial en lehm, oxidación de sustancias orgánicas, disolución de sales solubles a las filtraciones meteóricas, concentración de éstas en forma de concreciones (tosquillas). Las profundas alteraciones físicas y especialmente químicas (descomposición hidrolítica) que originaron los elementos petrográficos del loess, son evidentemente anteriores a la sedimentación y fijación de los mismos elementos. Estas constataciones demuestran infundada toda hipótesis que considera el loess pampeano como el resultado de profundas modificaciones locales de materiales originarios diversos, ya sea que estas modificaciones representen el resultado de una loessificación en el sentido de Roth, o de profundas descomposiciones subacuáticas en el sentido de Kantor.

En cuanto a lo que a los limos pampeanos se refiere, los caracteres estudiados demuestran claramente que su masa pelítica se compone de los mismos elementos del loess, llegados directamente desde las regiones

de producción por vía eólica o fluvial, o indirectamente por remociones de bancos loésicos ya sedimentados; durante su transporte, estos elementos se juntaron con materiales heterogéneos diversos, y en el fondo de cuencas y cauces se mezclaron con los restos de organismos propios de estos medios y permanecieron expuestos a las modificaciones de procesos diagenéticos.

Estas conclusiones, a mi juicio, demuestran como todas las teorías hasta ahora propuestas para explicar el origen del loess pampeano están basadas sobre datos insuficientemente apreciados. Los sostenedores de las diferentes teorías eólicas, al mismo modo que los sostenedores de las teorías aluvionales, evidentemente basaron sus conclusiones sobre observaciones parciales; si algunos de ellos, como Steinmann y Roth, mencionaron capas de "loess aluvial", "loess removido" y "loes de transporte secundario", luego no atribuyeron mayor importancia a estos sedimentos al momento de arribar a conclusiones generales. Los más eclécticos, como Burmeister (15, pág. 112; págs. 208-210), Ameghino (3, II, pág. 93) y Roth (55, pág. 445) quienes consideraron los sedimentos pampeanos como el resultado de factores diversos, no separaron el rol que correspondiera a cada uno de ellos en el espacio y en el tiempo, con consiguiente perjuicio para una más exacta interpretación genética y estratigráfica de los diferentes términos de la serie. Solamente separando con prolijidad los sedimentos que corresponden a factores distintos es posible llegar a un mejor resultado, porque veremos que loess y limos adquieren también un significado estratigráficamente bien definido.

Esto no es posible si con Ameghino consideramos los terrenos pampeanos como el resultado de la acción combinada de las aguas y de los vientos; no es posible tampoco si con Roth (56, pág. 201) apreciamos las variaciones verticales de facies como simples interposiciones, sin mayor importancia y sin distribución determinada, dentro de una masa principal de aspecto eólico; ni si con Rovereto (57, pág. 88) interpretamos todos los sedimentos lacustres y fluvio-lacustres como facies sincrónicas de respectivos bancos loésicos, considerando como loess estépico y desértico niveles, como el *Chapalmalense*, el *Hermosense*, el *Preensenadense* y el *Ensenadense* cuspidal de Ameghino, que en las localidades clásicas resultan sedimentos típicamente fluvio-palustres (limos de llanos de aluvión).

Más próxima a la realidad de los hechos considero la interpretación de aquellos autores que en la serie pampeana distinguieron dos fases consecutivas: una inferior aluvional y otra superior eólica. Entre éstos Bodenbender (11, pág. 37; 12, pág. 209) para el pampeano de la cuenca



de Córdoba, sostuvo que las acciones eólicas actuaron recién al final del período sedimentario y acumularon un banco de loess sobre varios niveles fluvio-lacustres consecutivos. Del mismo modo Burckhardt, para el pampeano de la margen derecha del Paraná inferior, llegó a la conclusión de que los niveles inferiores (*loess pardo*) se componían especialmente de sedimentos ácueos, mientras el nivel superior (*loess amarillo*) debía considerarse esencialmente eólico (14, págs. 150, 152). A conclusiones análogas llegaron también, según Reizler (53, pág. 429), las observaciones de Andersson en China, donde el loess eólico formaría un banco superpuesto a una espesa serie de arcillas coloradas fluviales.

Por lo que se refiere al loess pampeano, mis investigaciones me sugieren la suposición de que las conclusiones de Bodenbender y de Burckhardt derivan de observaciones limitadas exclusivamente en cauces fluviales. En estos cauces, especialmente de los ríos mayores, líneas de drenaje que persistieron por lo menos desde el más antiguo cuaternario, los aluviones finos y gruesos están distribuidos en forma de terrazas, como ya tuve la oportunidad de insistir en otras circunstancias (33, págs. 247-253; 34, págs. 147-154). No siempre esta distribución en terrazas es fácilmente apreciable, porque no siempre las causas que las han determinado actuaron con suficiente intensidad como para establecer un neto escalonamiento entre los diferentes niveles; muchas veces, especialmente en la llanura, entre los diversos lechos cenagosos, generalmente muy extendidos, existen desniveles mínimos, frecuentemente borrados por los mantos loésicos de posterior sedimentación. Por las mismas circunstancias, a menudo camadas cenagosas, correspondientes a fases aluvionales diversas, se superpusieron parcial o totalmente. Pero aquí conviene insistir particularmente sobre el hecho de que los mantos loésicos, que eventualmente se extendieron en el ámbito de estos cauces, raramente pudieron conservarse debajo las camadas aluvionales o entre ellas; en el mayor número de los casos, estos mantos fueron destruidos durante las fases de incremento fluvial y sus materiales arrastrados y sedimentados nuevamente en forma de limos. Por lo tanto, donde los ríos en la actualidad hunden otra vez sus cauces y donde las erosiones laterales cortan barrancas en el espesor de sus más antiguos sedimentos, se observan perfiles casi constantemente formados inferiormente por uno o varios niveles aluvionales superpuestos y superiormente por uno o varios niveles loésicos sucesivos (Fig. 25). Son éstos los perfiles descritos por la mayor parte de los autores, quienes por lo común estudiaron la serie pampeana exclusivamente en los cauces, donde, por otra parte, los perfiles son más netos y más accesibles a la observación.

Pero si nos alejamos suficientemente de los cauces fluviales y con investigaciones largas y prolijas, llevadas con método y especialmente separando atentamente loess y limos, tratamos de reconstruir la serie pampeana, vemos que ya no es posible establecer las dos secciones, aluvional y eólica, mencionadas. Aquí la serie resulta esencialmente for-



Fig. 25. — Barrancas de la margen izquierda del río Paraná, en proximidad de la ciudad de Paraná; a, loess; b, limos pampeanos.

mada por una sucesión de bancos eólicos (loess) correspondientes a fases sedimentarias diversas y sucesivas, descansando sobre una base de más antiguos sedimentos. Muy raramente los varios niveles pasan, uno a otro, en aparente transición gradual, de modo que “únicamente por los fósiles es posible determinar a qué piso (cada uno) corresponde”, como, generalizando, insinuaba Roth (56, pág. 198). Al contrario,



en el mayor número de los casos, cada nivel está más o menos netamente separado por accidentes estratigráficos que indican una prolongada suspensión del proceso de sedimentación eólica y consiguiente exposición de la superficie del banco a la acción de los agentes externos; estos consisten o en la conocida costra de descomposición en lehm, o en una superficie de denudación, o en las lentes de limos pardos o grises sobre los cuales ya he insistido muchas veces. Estas representan o sedimentos de pequeños cauces temporarios o depósitos de charcos y pantanos de poca profundidad, de fondo playo, pero a menudo muy extendidos. El escaso valor vertical de estos depósitos (de acumulación cenagosa dentro de cuencas playas y sin desagüe) está compensada por su valor horizontal y por estar distribuidos según niveles estratigráficos determinados y constantes. La determinación de estos niveles y la evaluación de su importancia estratigráfica no es posible si nosotros, con Kantor, nos limitáramos a cambiar el nombre de loess en el de limos, sino solamente separando limos y loess. De este modo será posible también establecer correlaciones entre estas lentes cenagosas, intercaladas entre bancos loésicos, y los depósitos de terrazas en los cauces fluviales, generalmente de mayor desarrollo e importancia.

Esta correlación, por la cual el valor estratigráfico de las lentes cenagosas resultará aún más importante, no siempre es posible establecerla sobre datos paleontológicos, por la simple razón de que, mientras en los depósitos de terraza a menudo abundan restos faunísticos, en las lentes cenagosas, lejos de los cauces, los macrofósiles a menudo faltan o están reducidos a restos de moluscos acuáticos, que por su uniformidad en todo el espesor y extensión de la serie pampeana, no se prestan a definir niveles. Por lo tanto, debemos recurrir casi siempre al método estratigráfico, esto es, a una exacta determinación de la posición que ocupan las lentes cenagosas con respecto a los bancos de loess sub y superpuestos, y a una atenta correlación entre los bancos de loess que cubren las lentes, por un lado, y que revisten la superficie de las terrazas, por el otro.

De este modo, la serie general de los niveles pampeanos resultará formada por una regular alternancia de bancos de loess y de lentes de limos o de sedimentos de acarreo fino y grueso en los cauces fluviales.

Estas conclusiones, a las cuales podremos arribar sólo mediante una neta separación entre loess y limos, no solamente tienen importancia decisiva por lo que se refiere a la génesis y a la estructura estratigráfica de los terrenos pampeanos, sino también por lo que se refiere a las condiciones climáticas bajo las cuales los mismos sedimentos se acumularon y a su edad relativa.

Si no puede caber duda de que las espesas camadas aluvionales en los cauces y las extensas y numerosas lentes de limos en las llanuras corresponden a fases de clima tan húmedo como para determinar notables incrementos fluviales y un gran desarrollo de lagos, charcos y pantanos, no hay duda tampoco de que los mantos de loess corresponden a fases de clima suficientemente seco como para determinar una considerable reducción de la red hidrográfica, el desecamiento de las cuencas y la invasión de una estepa sobre las áreas anteriormente ocupadas por las aguas. Por lo tanto no insistiré sobre hechos conocidos y bien fundados. Me limitaré sólo, y una vez más, a la constatación de que la mencionada alternancia de limos y loess representa entonces una sucesión rítmica de fases húmedas y secas. Mediante una neta separación entre limos y loess llegamos así, y sobre una base más racional, a la misma conclusión a la cual, por caminos diversos, arribaron Ameghino (3, pág. 90), Doering (24, págs. 279-287), Bailey Willis (8, págs. 21-26) y Rovereto (57, pág. 95; 58, pág. 17), esto es, que durante la formación de la serie pampeana en la llanura argentina y regiones limítrofes se sucedieron varias fases de clima alternativamente húmedas y secas.

Si las fases húmedas corresponden también a un correlativo descenso de la temperatura y si las fases secas se acompañaron, en cambio, con un aumento de la misma, es cuestión que para las fases pampeanas puede considerarse resuelta.<sup>1</sup> Vale la pena mencionarla sólo porque, en Europa, Sauer, Tietze, Krause, Wieggers, Werth, Lauterborn, Gegel, Brockmann-Jerosch y, últimamente, Soergel, sostuvieron que el loess se acumuló durante las fases frías (glaciales) del cuaternario y no durante las más cálidas (interglaciales) como han sostenido la mayor parte de los autores. La misma opinión ha sido sostenida recientemente por Solger para el loess de China. Para el loess pampeano, las razones aducidas por los diversos autores, y especialmente por Rovereto, me parecen terminantes, y yo mismo, aplicando a nuestras regiones la hipótesis de Penck sobre oscilaciones de los límites de las zonas climáticas, he tratado de demostrar que en la pampa, situada en el ámbito de oscilaciones de un límite polar de sequía, el fenómeno loésico no podía manifestarse sino durante fases anaclimáticas de clima seco y al mismo tiempo cálido (32). Por lo que se desprende del examen absoluto y

<sup>1</sup> En su erudita exposición sobre el método a seguir en el estudio del pampeano (método que, por otra parte, corresponde al que, desde tiempo, yo mismo he tratado de introducir), Keidel (36, Discusión, pág. 370 y sigs.) nos habló también sobre las condiciones climáticas bajo las cuales podrían haberse sedimentado los terrenos cuaternarios argentinos, llegando a conclusiones algo diversas. A pesar de su indudable importancia, los argumentos al respecto traídos por Keidel no dejan de ser simples suposiciones, basadas sobre elementos de analogía situados fuera del límite de la región pampeana, prescindiendo en absoluto de las condiciones reales de los sedimentos pampeanos en las pampas y regiones inmediatamente periféricas.



comparativo del loess y de los limos pampeanos, debemos llegar a las mismas conclusiones. Para los limos son elocuentes especialmente los datos proporcionados por los microfósiles (diatomeas sobre todo) y para el loess adquiere particular significado la presencia de moluscos subtropicales en los sedimentos cenagosos sincrónicos de los estuarios, sobre la cual ya han llamado la atención F. Ameghino, von Ihering y yo mismo (34, págs. 170-172). Factores biológicos aparte, a las razones de diferente orden ya aducidas, para un régimen de clima cálido durante las fases de mayor producción de materiales loésicos, de más intenso transporte de los mismos y de mayor sedimentación, hablan decididamente sus caracteres sublateríticos y su amplia distribución. Con respecto a esta última condición, debo agregar que ella fué posible, no sólo por una suficiente sequedad del aire, sino también por una elevada temperatura que provocó la formación de corrientes ascendentes suficientemente intensas y permitió una larga permanencia de las partículas en el aire. De lo contrario, tanto una limitada elevación de las partículas, como su rápido enfriamiento, seguido por condensación de agua en su superficie y consecutiva aglomeración en grupos más pesados, habría determinado la caída de las mismas no muy lejos del punto donde se habían levantado. Sin duda, es ésta una de las muchas razones que, en la actualidad y en nuestras regiones, húmedas y templadas, se oponen a la formación del loess. También por las mismas razones, en las pampas una larga permanencia de polvos enturbiando el aire, es posible sólo durante las sequías estivales, y, en las regiones cordilleranas del oeste y noroeste, según Kühn (43), este fenómeno adquiere grandes proporciones, especialmente durante las horas más cálidas de la tarde, cuando las corrientes aéreas levantan grandes cantidades de polvo, que llenan la atmósfera y, a pesar de la serenidad del cielo, envuelven las montañas en densas nubes amarillentas.

Por lo que se refiere a la edad de la serie pampeana, no hay duda de que la rítmica alternancia de limos, sedimentados bajo un régimen de clima húmedo y frío, con bancos de loess, acumulados durante fases de clima seco y cálido, refleja, en forma llamativa, las alternativas climáticas cuaternarias, "las características pulsaciones del clima cuaternario", según una feliz expresión de Rovereto (57, pág. 95). Por lo tanto, este método nos permite agregar también este dato, de no dudosa importancia, a los otros de índole estratigráfica, tectónica y paleontológica, sobre los cuales bien puede fundarse una edad pleistocena del Pampiano.

Pero tal vez no es superfluo que insista, una vez más, sobre la necesidad de considerar el Pampiano dentro de los límites que le asignara

su fundador, A. d'Orbigny. Y agregaré que, aun si quisiéramos dar a esta denominación un sentido prevalentemente petrográfico, en el sentido de Roth y Bodenbender, asimismo quedaría excluída aquella espesa serie de sedimentos colorados, seguramente terciarios, que estos autores incluyeron en la "formación pampeana"; y esto por la sencilla razón de que sus caracteres petrográficos, prolijamente examinados, resultan diferentes de aquellos de los sedimentos pampeanos y diferentes resultan también las condiciones de sedimentación, especialmente desde puntos de vista climatológico y tectónico, a pesar de representar, ellos también, el resultado de intensas acumulaciones de análogos productos de un proceso de destintegración, especialmente hidrolítica, de las rocas de las montañas. Pero, para arribar a esta conclusión es necesario un previo conocimiento de los caracteres propios y diferenciales de limos y loess pampeanos.

Eliminaremos así la razón por la cual algunos autores han afirmado que por lo menos una parte del Pampiano debía considerarse terciario; afirmación que descansa sobre una exagerada apreciación del espesor del Pampiano mismo o del loess en general, el cual desde algunos metros (d'Orbigny, Burmeister), llegó a algunas decenas (Ameghino), luego a algunos centenares (Bodenbender, Roth, Kantor) y, finalmente, a millares de metros (Keidel). En realidad, la formación pampeana adquiere algunas decenas de metros de espesor solamente en el cauce de determinados ríos (prescindiendo naturalmente de los conos de deyección y de los depósitos de bolsones en las regiones de montañas) y el loess, sobre la llanura y las terrazas fluviales, alcanza sólo a pocos metros. Condiciones análogas, según Andersson, se observarían en China, donde también el loess cuaternario, en capas de algunos metros, descansa sobre una espesa serie de capas de arcillas coloradas terciarias, de modo que "l'opinion commune de l'épaisseur considérable des couches de loess est, selon Andersson, un mythe, une fiction" (53, pág. 429). Para la formación loésica en la Argentina, contra las mismas exageraciones ya se pronunciaron Ameghino (5, pág. 364, nota), Borchert (13, pág. 10) y Burckhardt (14, pág. 149), con razones bien fundadas. Por lo tanto, terminaré comprobando que, si basados sobre los diferentes criterios pasados en reseña, tratamos de determinar con exactitud el loess pampeano y de separarlo de sedimentos a primera vista similares, también el loess pampeano, a la par que todos los demás loess, representa una "roca guía" para el Cuaternario, en el sentido de Keilhack.



## BIBLIOGRAFÍA

1. — AMEGHINO F., *El origen de la tosca*. "La Aspiración", Nº 7, Septiembre 16 de 1875. Mercedes.
2. — AMEGHINO F., *La formación pampeana o estudios de los terrenos de transporte de la cuenca del Plata*. 370 pp. París y Buenos Aires, 1880.
3. — AMEGHINO F., *La antigüedad del hombre en el Plata*, t. I (628 pp.), t. II (549 pp.). París y Buenos Aires, 1880-81. Reimprimido por "La Cultura Argentina", en 2 tomos (t. I, 346 pp.; t. II, 308 pp.). Buenos Aires, 1918.
4. — AMEGHINO F., *Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina*. Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. VI. Texto de 1027 pp. y Atlas de 98 láminas. Buenos Aires, 1889.
5. — AMEGHINO F., *Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapalmalán*. Anales del Museo Nacional de Buenos Aires, serie III, t. X, pp. 343-428. Buenos Aires, 1908.
6. — ARTINI E., *I minerali*. 2ª edición, 518 pp. Edit.: U. Hoepli. Milano, 1921.
7. — BADE F., *Investigaciones petroquímicas del loess pampeano*, en 56, pp. 213-251. Buenos Aires, 1920.
8. — BAILEY WILLIS, *General geologic Notes*, en: Ales Hrdlička, *Early Man in South America*; Bureau of American Ethnology, Smithsonian Instit., Bull. 52, pp. 15-41. Wáshington, 1912.
9. — BAILEY WILLIS, *Monte Hermoso, Geologic Notes*. Ibíd., pp. 361-364. Washington, 1912.
10. — BODENBENDER G., *La cuenca del valle del Río I en Córdoba*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XII, pp. 5-54. Buenos Aires, 1890.
11. — BODENBENDER G., *La llanura al este de la Sierra de Córdoba*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XIV, pp. 21-54. Buenos Aires, 1894.
12. — BODENBENDER G., *Reseña hidrogeológica de la cuenca del Río Primero en Córdoba*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XXV, pp. 205-238. Córdoba, 1921.
13. — BORCHERT A., *Die Molluskenfauna und das Alter der Parana-Stufe*. Beiträge zur Geologie und Paläontologie von Südamerika von G. Steinmann; Neues Jahrb. f. Miner., Geol. u. Paläont., Beil. Bd. XIV, 1901, pp. 171-245. Stuttgart, 1901.
14. — BURCKHARDT C., *La formation pampéenne de Buenos Aires et Santa Fe*, en 45, pp. 146-171. Buenos Aires, 1907.
15. — BURMEISTER G., *Fauna argentina*: p. I, introducción, Descripción del terreno fosilífero. Anales del Museo Público de Buenos Aires, t. I, pp. 81-120. Buenos Aires, 1864-69.
16. — BURMEISTER H., *Description physique de la République Argentine*. Trad.: E. Daireaux, t. II, pp. 412. París, 1876.
17. — CARLE G., *Les croutes du sol*. "La Géographie", t. XLI, 5, pp. 568-581. París, 1924.
18. — CLERICI E., *Le polveri sciroccali cadute in Italia nel marzo 1901*. Boll. Soc. Geologica Italiana, v. XX, pp. CLXIX-CLXXXVIII. Roma, 1901.

19. — CLERICI E., *Ancora sulle polveri sciroccali e sulle pallottole dei tufi vulcanici*. Boll. Soc. Geologica Italiana, v. XXI, pp. XXXIX-XLI. Roma, 1902.
20. — DARWIN C., *Viaggio di un naturalista intorno al mondo*. Trad.: M. Lessona, pp. 464. U. T. E., Torino.
21. — DARWIN C., *Geological observations on South America*. Voyage of H. M. S. "Beagle". London, 1846. Trad.: A. Escuti Orrego. Impr. "Cervantes", Santiago de Chile, 1906.
22. — DOERING A., *Informe oficial de la Comisión científica agregada al Estado Mayor General de la expedición al Río Negro (Patagonia)*. Geología, pp. 299-530. Buenos Aires, 1882.
23. — DOERING A., *Las toscas calcáreas y su aplicación para la fabricación de cementos y cales hidráulicas*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XII, pp. 203-319. Buenos Aires, 1891.
24. — DOERING A., *Estudios hidrognósticos y perforaciones artesianas en la República Argentina*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. VI, pp. 252-340. Buenos Aires, 1884.
25. — DOERING A., *La formation pampéene de Córdoba*, en 45, pp. 172-190. Buenos Aires, 1907.
26. — DOERING A. y LORENTZ P. G., *Recuerdos de la Expedición al Río Negro (1879)*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XXI, pp. 301-386. Buenos Aires, 1916.
27. — DOERING A., *Nota al estudio sobre la constitución del subsuelo en la cuenca de Córdoba, del doctor Joaquín Frenguelli*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XXIII, pp. 221-227. Buenos Aires, 1918.
28. — FRENGUELLI J., *Notas preliminares sobre la constitución geológica del subsuelo en la cuenca de Córdoba*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XXIII, pp. 203-220. Buenos Aires, 1918.
29. — FRENGUELLI J., *Contribución al conocimiento de la geología de Entre Ríos*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XXIV, pp. 55-256. Buenos Aires, 1920.
30. — FRENGUELLI J., *Los terrenos de la costa atlántica en los alrededores de Miramar (provincia de Buenos Aires)*. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, t. XXIV, pp. 325-485. Buenos Aires, 1921.
31. — FRENGUELLI J., *Loess pampeano*. Revista Universitaria, año I, Nos. 2-3. Paraná, 1922.
32. — FRENGUELLI J., *Edad del loess pampeano dentro del ciclo glacial-interglacial*. "Prometeo", año I, Nº 16, pp. 3-9. Paraná, 1922.
33. — FRENGUELLI J., *Algunos datos sobre la falla del río Paraná y la estructura de sus labios*. Revista Universitaria de Buenos Aires, t. XLIX-L, pp. 189-278. Buenos Aires, 1922.
34. — FRENGUELLI J., *Apuntes de geología cordobesa*. Anales de la Facultad de Ciencias Educ., t. I, pp. 113-175. Paraná, 1923.
35. — FRENGUELLI J., *Estudio geológico del valle del río Malabrigo*, en: J. Frenguelli y F. de Aparicio, *Los paraderos de la margen derecha del río Malabrigo (Departamento de Reconquista provincia de Santa Fe)*, Anales de la Facultad de Ciencias Educ., t. I, pp. 9-35. Paraná, 1923.
- 35a. — FRENGUELLI J., *Partículas de sílice organizada en el loess y en los limos pampeanos*. Anales Soc. Cient. Santa Fe, t. II, pp. 65-112, Santa Fe, 1930.



36. — FRENGUELLI J. y OUTES F. F., *La posición estratigráfica y la antigüedad relativa de los restos de industria humana hallados en Miramar*. "Physis", t. VII, pp. 277-301. Buenos Aires, 1924.
37. — HAUG E., *Traité de Géologie*. Deuxième tirage. Edit.: A. Colin. París, 1911.
38. — HELLMANN G. und MEINARDUS W., *Der grosse Staubfall vom 9 bis 12 März 1901 in Nordafrika, Süd und Mitteleuropa*. Abhandl. des Kön. Preussischen Metereolog. Inst., Bd. II, Nº 1. Berlín, 1901.
39. — HERRERO DUCLOUX E., *Estudio químico de las "escorias" y "tierras cocidas"*, en 47, pp. 162-184. Buenos Aires, 1908.
40. — KANTOR M., *Recherches océanographiques sur le litoral maritime de la province de Buenos Aires*. Anales de la Sociedad Científica Argentina, t. LXXXVI, pp. 85-107. Buenos Aires, 1918.
41. — KANTOR M., *Monte Hermoso en relación con el origen y loess pampeano*. Revista del Museo de La Plata, t. XXVI, pp. 281-332. Buenos Aires, 1922.
42. — KEIDEL J., *La geología de las sierras de la provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas de Sud-Africa y los Andes*. Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, t. XI, Nº 3, pp. 78. Buenos Aires, 1916.
43. — KÜHN F., *Aus den Hochkordilleren von San Juan*. Dr. A. Petermann's Mitteilungen, II, Nº 7, pp. 10-15, Nº 8, pp. 79-84, Nº 9, pp. 133-137. Gotha, 1913. Versión castellana: Estudios geográficos en las Altas Cordilleras de San Juan. Ministerio de Agricultura, Boletín Nº 8, serie B. (Geología), pp. 44. Buenos Aires, 1914.
44. — KÜHN F., *Contribución a la fisiografía de la provincia de Catamarca*. Publicaciones del Instituto Nacional del Profesorado Secundario en Buenos Aires, Nº 7, pp. 56. Buenos Aires, 1914.
45. — LEHMANN-NITSCHKE R., *Nouvelles recherches sur la formation pampéene et l'homme fossile de la République Argentine*. Revista del Museo de La Plata t. XIV, pp. 143-491. Buenos Aires, 1907.
46. — MEIGEN W. und WERLING P., *Ueber den Löss der Pampas Formation Argentinens*. Berichte d. Naturforsch. Gesellschaft zu Freiburg, Bd. XXI (tiraje aparte pp. 1-26). Naumburg a. d. S. 1915.
47. — OUTES F. F., HERRERO DUCLOUX E. y BUCKING H., *Estudio de las supuestas "escorias" y "tierras cocidas"*. Revista del Museo de La Plata, t. XV, pp. 138-197. Buenos Aires, 1908.
48. — PENCK A., *Die Formen der Landoberfläche und Verschiebungen der Klimagürtel*. Sitzungsber. d. Königl. preuss. Akad. d. Wissenschaften, Bd. IV, pp. 77-97. Berlín, 1913.
49. — PRINCIPI P., *Alcune osservazioni sul loess del territorio argentino*. Boll. Soc. Geologica Italiana, v. XXXIV, pp. 219-224. Roma, 1915.
50. — PRINCIPI P., *Trattato di Geologia applicata*, pp. 862. Edit.: F. Vallardi. Milano 1924.
51. — PUIGGARÍ M., *Datos relativos a perforaciones practicadas en el lecho del Plata*. Anales de la Sociedad Científica Argentina, t. I, pp. 137-141. Buenos Aires, 1876.
52. — REID W. E., ZEBALLOS E. S. y MORENO F. P., *Una excursión orillando el río de la Matanza*. Anales de la Sociedad Científica Argentina, t. I, pp. 89-92. Buenos Aires, 1876.
53. — REIZLER S., *Recherches géologiques et paléontologiques en China*. "La Géographie", t. XXXIII, Nº 5, pp. 428-430. París, 1920.

54. — ROMERO A. A., *El Homo pampaeus*. Anales de la Sociedad Científica Argentina, t. LXXXVI, pp. 5-48. Buenos Aires, 1918.
55. — ROTH S., *Beobachtung über Entstehung und Alter der Pampas formation in Argentinien*. Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesell., t. XL, pp. 377-464. 1888.
56. — ROTH S., *Investigaciones geológicas en la llanura pampeana*. Revista del Museo de La Plata, t. XXV, pp. 135-342. Buenos Aires, 1920.
57. — ROVERETO G., *Studi di geomorfologia argentina (IV). La Pampa*, parte I. Boll. Soc. Geologica Italiana, v. XXXIII, pp. 75-128. Roma, 1914.
58. — ROVERETO G., *La Pampa*, parte II. Boll. Soc. Geologica Italiana, v. XXXIX, pp. 1-49. Roma, 1920.
59. — SIEGERT L., *Ueber den Pariser der Travertine von Taubach*. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Gesellsch., t. XLV, 1912.
60. — SOERGER W., *Loesse, Eiszeiten und Paläolithische Kulturen*. Jena, 1919.
61. — SOLGER F., *Vier Jahre als Geologe in Peking*. Berlín, 1920.
62. — STEINMANN G., *Ueber Diluvium in Südamerika*. Monatsberichte der Deutsch. Geol. Gesellsch., Bd. LVIII, pp. 215-229. 1906.
63. — VIGLINO A., *Il loess del Shan-Si settentrionale*. Boll. Soc. Geologica Italiana, v. XX, pp. 311-338. Roma, 1901.
64. — WALTER K., *Sobre la edad y el carácter geológico de la formación pampeana en el Uruguay*. Publicaciones del Instituto Nacional de Agronomía, pp. 35. Montevideo, 1915.
65. — WICHMANN R., *Geología e hidrogeología de Bahía Blanca y sus alrededores (provincia de Buenos Aires)*. Anales del Ministerio de Agricultura, sección Geología, t. XII, Nº 1. Buenos Aires, 1918.
66. — WRIGHT E. and FENNER C. N., *Petrographic Study of the Specimens of loess, tierra cocida and scoria collected by the Hrdlicka-Willis Expedition*, en 8, pp. 55-98. Washington, 1912.
67. — ZEBALLOS E. S., *Estudio geológico sobre la provincia de Buenos Aires*. Anales de la Sociedad Científica Argentina, t. II, pp. 258-268, 309-321; t. III, pp. 17-35, 71-80. Buenos Aires, 1876-77. Tiraje aparte: pp. 66. Edit. F. Coni. Buenos Aires, 1877.



## A P E N D I C E

por

MARIO E. TERUGGI

### *Composición granulométrica de loess y limos.*

Las diferencias entre estos dos tipos de sedimentos son en realidad muy pequeñas, según se desprende de los análisis mecánicos de muestras típicas de loess y limos pampeanos recogidas e identificadas por el propio doctor Frenguelli. Tanto unos como otros son limos (*silts*) arenosos, muy raramente arcillosos, o bien arenas limosas.

La fracción arena es variable en los limos, pues a veces llega a un 70 %, en tanto que otras desciende a 15 ó 20 %. La característica esencial de esa arena, sin embargo, es su extrema finura, al punto que la mayoría de ella se encuentra prácticamente en el límite entre arena muy fina y limo (0.062 mm); este hecho determina que, a pesar de la abundancia de esta fracción, el sedimento no tenga aspecto arenoso, sino más bien limoso. La arena mediana y gruesa es por lo común muy escasa; en algunos niveles, sin embargo, suele haber un poco de material de este tipo, que al parecer se ha incorporado a los depósitos por otros agentes de transporte (fluvial, marino). La característica más esencial es, a pesar de todo, la gran abundancia de arena finísima, que término medio constituye la mitad de estos sedimentos; por este motivo resulta muy empinada la parte correspondiente a ella en las curvas acumulativas. Como resultado, la selección es regularmente buena o muy buena, salvo algunas pocas excepciones.

En los loess, en cambio, no están neto el predominio de la arena muy fina, que por lo general constituye un 20 ó 30 %, llegando en los casos extremos a casi un 50 %. Tampoco se hallan bien representadas las fracciones correspondientes a arena mediana y gruesa, por lo que estos sedimentos se hallan compuestos en su mayor parte por limo grueso y mediano. La fracción arcilla, por su parte, es pequeña y mucho menos variable que en los limos. También debe señalarse que la selección en los loess es menos perfecta.

En consecuencia, puede establecerse, en base a los datos hasta ahora disponibles, que los loess pampeanos son más homogéneos, menos arenosos y más limosos que los correspondientes limos.

### *Contenido en carbonato de calcio.*

Una de las características mencionadas por Frenguelli para distinguir entre loess y limos pampeanos consiste en la abundancia de carbonato de calcio disperso en los primeros y la ausencia del mismo en los segundos. Este criterio ha sido también utilizado por Russell (1944), quien sostiene que en los loess verdaderos el contenido en carbonato no es nunca inferior a algo así como el 10 %, en tanto que en el material loessoide (limos) es escaso o insignificante.

Esta diferencia parece mantenerse, con modificaciones, en los sedimentos pampeanos. En los limos, el contenido de carbonato, exceptuado el que se presenta bajo la forma de concreciones y nódulos, es inferior al 1 %, y en la mayoría de los casos no alcanza siquiera al 0.5 %. En los loess, en cambio, dicho contenido es constantemente mayor, pues oscila entre 3 ó 4 % y un 10 %. Debe notarse, sin embargo, que nunca se registran en el loess pampeano —por lo menos en los que

se han estudiado— valores tan altos como en el loess norteamericano, en el que porcentajes de 15 a 20 % son comunes, o como en el alemán, que contiene entre 25 y 30 %.

Pese a que esta diferencia en el contenido de carbonato de calcio es poco marcada en los sedimentos argentinos, parece ser constante. Hacen falta mayor cantidad de determinaciones para establecer si la presencia del carbonato está relacionada con la distribución geográfica, o si existen otras diferencias, aparte de las señaladas, entre loess y limos.

#### *Composición mineralógica.*

La mineralogía de los sedimentos pampeanos presenta características muy definidas. Las más importantes son:

1) Constancia en la composición mineralógica. Los loess y limos del Cuaternario argentino (región bonaerense) están constituidos por una asociación de minerales que, salvo variaciones pequeñas, es siempre la misma. Esto indica, por consiguiente, una continuidad en los procesos sedimentarios que les dieron origen.

2) La gran mayoría de los minerales presentes es de origen alóctono, o sea que provienen de rocas extrañas al ámbito pampeano. La principal excepción la constituyen la calcita, y más raramente el yeso, que se han formado *in situ* por procesos epigénicos; el primero de ellos es el componente de las capas de tosca y de los nódulos de diversas formas que se encuentran en estos sedimentos.

3) Los minerales que, por sus dimensiones, constituyen la fracción arena de loess y limos están siempre extraordinariamente frescos, sin presentar señales de alteración ni haber sufrido procesos diagenéticos intensos. La única excepción la constituyen los feldespatos potásicos, siempre alterados, y algunos de los minerales pesados, que han sido afectados por la solución interstratal, desarrollando extremos aserrados muy característicos (augita, hipersteno).

4) La naturaleza de los minerales de la fracción arena, y parte de los de la fracción limo, indica que provienen de rocas predominantemente volcánicas, en especial mesosilíceas y básicas (andesitas y basaltos). El cuarzo es constantemente escaso, no constituyendo más del 20 % del total de esas fracciones. Las plagioclasas son los minerales dominantes; prevalecen las labradoritas, seguidas de andesitas y, en menor cantidad, oligoclasas. Hay también cantidades menores de albita. La estructura zonal y las inclusiones de distinto tipo no son raras. Todas las plagioclasas están frescas y su origen debe atribuirse a basaltos y andesitas. Esta suposición es confirmada por la abundancia, a veces en cantidades considerables, de pastas de rocas volcánicas de esa naturaleza. Los feldespatos potásicos, cuyo porcentaje es apreciable pero notablemente inferior al de las plagioclasas, están representados por ortoclasa alterada; este hecho, unido a la presencia de pastas de rocas felsíticas ácidas, indicaría que provienen de riolitas o pórfidos cuarcíferos descompuestos. El vidrio volcánico fresco, de naturaleza ácida, es otro componente constante, aunque nunca es muy abundante, salvo en las intercalaciones tobáceas. En uno o dos niveles hay también abundancia de un vidrio castaño básico, de naturaleza basáltica.

A la misma conclusión se llega mediante el estudio de los minerales pesados. Predomina una hornblenda parda o castaño-verdosa, muy fresca pero con señales de un transporte largo; junto con ella hay cantidades subordinadas de hornblenda basáltica. En orden de abundancia siguen el hipersteno y la augita, en granos fragmentados o redondeados, cuyo origen debe buscarse en las rocas volcánicas mencionadas. Otro componente, que a veces supera a los demás, es la magnetita titanífera, de admitido origen volcánico; junto con ella hay cantidades menores de otros



minerales opacos (hematita, limonita, escasa pirita, leucoxeno). Los otros componentes son poco abundantes: hay granates, epidoto, zoisita, escasas micas, zircón, etc. Algunos de éstos son de naturaleza metamórfica.

La composición mineralógica que se ha descripto someramente corresponde a los loess y limos de la región bonaerense. En base a observaciones propias aisladas, y a menciones fragmentarias de algunos autores, la composición sería algo distinta en la zona central y nororiental argentina, cuyos sedimentos contendrían minerales de rocas plutónicas y metamórficas; como ejemplo pueden citarse los loess y limos cordobeses, en los cuales son abundantes las escamillas de micas. Se requieren estudios detallados para comprobar los cambios en composición en las distintas regiones.

5) La mayor parte de la fracción limo, y la casi totalidad de la escasa arcilla, a diferencia de la fracción arena, están constituidas por un producto de alteración que se ha podido identificar como un mineral del grupo de la montmorillonita (montmorillonoide). Su presencia confiere a los loess y limos pampeanos gran poder de absorción, siendo esta propiedad la que indujo a Bade (1920), en base a análisis químicos, a suponer que se tratase de una zeolita. Aparte de este montmorillonoide (montmorillonita, beidellita?), hay también minerales de la fracción arena y cantidades menores de micas, cloritas, illita y algún mineral del grupo de la caolinita.

La naturaleza originaria del montmorillonoide es fácilmente comprobada mediante la observación microscópica de estos sedimentos. Puede verificarse así que es el producto resultante de la alteración de un vidrio volcánico, que se presenta en esas fracciones como trizas totalmente transformadas en ese mineral. La asociación de vidrio montmorillonizado junto con fragmentos vítreos totalmente frescos autoriza a suponer que la alteración de esta sustancia no se efectuó *in situ*, y que las trizas descompuestas se incorporaron ya en ese estado a los depósitos pampeanos.

Sobre la base de estas observaciones, debe concluirse que las fracciones limo y arcilla se han formado por la acumulación de un vidrio montmorillonizado, que ha de provenir de depósitos piroclásticos alterados, posiblemente de las zonas situadas al sudoeste, oeste y noroeste de la región bonaerense.

6) No existen diferencias en la composición mineralógica entre loess y limos, pues ambos sedimentos están formados por los mismos minerales y en proporciones más o menos similares. Las únicas que hasta ahora se han podido determinar son de tipo cuantitativo más que cualitativo. Así, en algunos limos, pero no en todos, los granos de cuarzo y de algunos minerales pesados (augita, hipersteno, granate, opacos) son más abundantes, tienen mayores dimensiones y presentan señales de una intensa acción abrasiva.

De esto se infiere que el origen de ambos sedimentos es idéntico. En cuanto a la influencia que pueda haber ejercido el transporte áqueo de los limos, es posible que ella se manifiesta en la destrucción mecánica de las trizas vítreas alteradas. Se requieren estudios detallados, sobre material seleccionado, para poder establecer esta posible influencia.

7) La naturaleza volcánica piroclástica del material componente de loess y limos, así como su granulometría, autoriza a suponer que ha sido llevado hasta la región pampeana por transporte eólico. La acción del agua sobre estos sedimentos no ha modificado su composición mineralógica, lo que determina que, como manifiesta Frenguelli, se requieran diversos criterios, usados simultáneamente, para distinguir los loess de los limos. Aún así, habrá casos en que tal distinción no sea posible, como por ejemplo cuando el material eólico haya sido poco removido por las aguas continentales.

Es de esperar que, tanto en nuestro país como en el extranjero, se prosigan los estudios destinados a aclarar este importante problema de la sedimentación cuaternaria.

*Comparación con sedimentos similares de otras partes del mundo.*

Aparte de la región pampeana, los sedimentos loésicos y loessoides se hallan bien caracterizados en otras tres regiones: Estados Unidos, Alemania y China (junto con depósitos similares en Siberia). Poco se sabe, salvo algunas observaciones fragmentarias de Viglino (1901), sobre la naturaleza mineralógica del loess chino, pero últimamente se ha publicado un buen estudio comparativo entre sedimentos loésicos norteamericanos y europeos (Swineford y Frye, 1955). Según éste, las diferencias granulométricas entre ambos, y podemos agregar con el pampeano, son muy escasas, por lo que puede concluirse que todos estos loess son texturalmente similares.

No puede decirse lo mismo, sin embargo, con respecto a la composición mineralógica. Tanto el norteamericano como el europeo están constituidos por minerales derivados de la destrucción de rocas plutónicas y metamórficas. Sin embargo, las fracciones finas del primero están en buena parte constituidas por montmorillonita, mientras que en el segundo predomina otro mineral de las arcillas (illita, caolinita, etc.). Esto sugiere que existe una cierta semejanza en la fracción limo-arcilla de los loess argentino y norteamericano.

Con todo, debe señalarse que la composición mineralógica de nuestros sedimentos es al parecer única, y que presentan caracteres especiales que los distinguen totalmente de sus similares de otras regiones.

BIBLIOGRAFIA

- RUSSELL, J. R., 1944. *Lower Mississippi valley loess*. Bull. Geol. Soc. America, vol. 55, pág. 1-40.
- SWINEFORD, A. y FRYE, J., 1955. *Petrographic comparison of some loess samples from Western Europe with Kansas loess*. Jour. Sed. Pet., vol. 25, pág. 1-23.