

INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS EN LA LLANURA PAMPEANA

POR EL DOCTOR SANTIAGO ROTH

I

Reseña general de las acciones dinámicas en la llanura pampeana de la provincia de Buenos Aires

Acciones endógenas ¹. — La llanura pampeana presenta condiciones geológicas muy excepcionales por encontrarse los horizontes inferiores de la era cainozoica y todos los de la era mesozoica cubiertos de una espesa capa de sedimentos neógenos.

Las acciones orogénicas que dieron origen a las cordilleras de los Andes más recientes de la República Argentina no han llegado a producir efectos en la provincia de Buenos Aires, por esta razón los estratos mesozoicos y terciarios inferiores no se encuentran en ninguna parte a flor de tierra y para conocer las relaciones estratigráficas y la construcción tectónica de este suelo hay que recurrir a los medios de sondeo.

Los fundamentos de este territorio están formados por rocas arcaicas y paleozoicas que se encuentran a descubierto sólo en las sierras del Tandil y de la Ventana. Estas sierras son un pequeño resto de enormes cadenas de montañas que en otro tiempo estaban unidas con las sierras de San Luis y de Córdoba, así como con las de la Banda Oriental y del Brasil.

¹ Por acciones endógenas se entienden todos los acontecimientos que producen las fuerzas internas de la tierra, como, por ejemplo, los fenómenos que se relacionan con las acciones volcánicas y todas las que producen dislocaciones en las capas terrestres y cambios en la estructura de las rocas. Por acciones exógenas se comprenden las fuerzas que operan en la parte exterior de la tierra, como ser : la atmósfera, que produce la descomposición y denudación de las rocas, el agua y el viento, que transporta el material de un punto a otro, etc.

Debido a que las antiguas montañas estuvieron expuestas a la acción destructora de las fuerzas exógenas durante eras geológicas enteras, las sierras del Tandil y de la Ventana han quedado separadas de las primitivas cadenas de montañas y sobresalen de la llanura pampeana como islas del mar.

Mientras que las sierras de la provincia de Buenos Aires no han sufrido otra modificación que la de denudación, en otras partes de la república, fuerzas endógenas estibarón nuevas capas sedimentarias y rocas volcánicas encima de los antiguos macizos. En la región de la cordillera encontramos capas de edad terciaria y mesozoica plegadas encima de rocas arcaicas y paleozoicas, las que en nuestra provincia se hallan en posición primitiva como fueron depositadas sucesivamente; y en ninguna parte se nota una acción orogénica después del tiempo paleozóico.

Ha habido también en este territorio movimientos más recientes en la corteza terrestre, pero no orogénicos, que producen un plegamiento de las capas una encima de otra o dislocaciones verticales con fallas y flexuras, sino seculares o mejor dicho eustáticas ¹ que motivaron transgresiones y regresiones marinas y ondulaciones locales en las que las capas no perdieron su continuidad.

Es cierto que el doctor Florentino Ameghino, en sus obras, habla de hundimientos, quebraduras y fallas relativamente recientes (neógenas) que dice que se pueden observar en la provincia de Buenos Aires.

En una de sus obras, titulada *La formación pampeana o estudio sobre los terrenos de transporte*, 1881, página 15, escribe :

« En algunos puntos he observado la existencia de dos o tres depósitos lacustres, colocados uno debajo de otro, y separados por capas de terreno rojizo que no han sido depositados en el fondo de depósitos de agua permanente.

« Es indudable que antes que se formara el depósito lacustre inferior, la superficie del terreno estaba a seco; luego, debido sin duda a un hundimiento parcial, se formó una depresión que fué inmediatamente ocupada por las aguas, pero que, poco a poco, se fué cegando por causa de depósitos sucesivos de materias térreas acarreadas por las aguas, o bien formadas por repetidas tormentas de polvo y arena, hasta quedar completa-

¹ Por movimiento eustático se entienden las mutaciones que se producen en las riberas del mar en relación entre su nivel y la tierra firme. Algunos autores hablan de movimientos positivos, cuando la superficie del mar se ha elevado o la costa se ha hundido produciendo una transgresión, y de movimientos negativos cuando el mar ha descendido o la tierra firme se ha elevado y se ha producido una regresión. Cuando se ha elevado ligeramente una parte de la tierra o se ha producido un hundimiento en algún lugar, se habla de movimientos regionales. Estas clases de torceduras en la posición primitiva de las capas se observan con bastante frecuencia en el interior de la llanura pampeana.

mente desecada. Pero más tarde, durante la época en que ese mismo punto se hallaba convertido en tierra firme, o más bien dicho, en terreno que no estaba ocupado por aguas permanentes, inundaciones periódicas y tormentas de arena y polvo, continuaron levantando el nivel del suelo, hasta que con el tiempo volvió a producirse otro hundimiento que convirtió, por segunda vez, ese punto en hondonada que volvió a ser ocupada por las aguas, convirtiéndose otra vez en un lago o laguna que se pobló de animales acuáticos por un largo espacio de tiempo, hasta que la continuación de las mismas causas que habían dado por resultado la desaparición del lago precedente, lo hicieron desaparecer a su vez, para repetirse el mismo fenómeno por tercera o aún cuarta vez.

« Estas diferentes transformaciones de diferentes puntos de la llanura, y en un punto bajo o alto, seco o pantanoso, se pueden explicar muy bien admitiendo una serie continua de pequeños sublevamientos y hundimientos, que solamente ejercían su acción sobre pequeñas regiones, pero que con su continuación han concluido por transformar completamente la superficie del país. »

Se verá, más adelante, que las capas que él llamó lacustres se depositaron en esteros parecidos a los que se forman aún hoy a nuestra vista:

En otro trabajo, *Excursiones geológicas y paleontológicas en la provincia de Buenos Aires (Boletín de la Acad. Nac. de Ciencias de Córdoba, t. VI, 1884)*, habla de quebraduras producidas por hundimientos de las capas en barrancas que se hallan a inmediaciones de Las Garzas y publica dos perfiles demostrativos que representan fallas. Este fenómeno no tiene nada parecido con lo que en geología se entiende por falla; el mismo Ameghino dice : « Estos dislocamientos localizados a trechos de cortísima extensión no pueden de ningún modo atribuirse a fuerzas internas. Son el resultado de simples hundimientos del suelo; debidos a accidentes locales de las capas subyacentes, y es a hundimientos de esta naturaleza que deben su origen la mayor parte de las lagunas de la Pampa.

« Si el suelo de la provincia de Buenos Aires no hubiera estado constituido por esas capas de naturaleza distinta y no hubieran existido en sus profundidades esas diferentes napas de agua y arena semiflúida, no hubiera tenido lugar esa multitud de hundimientos, y la Pampa del sud-este sería en nuestra época, debido a la falta de agua, una vasta llanura tan estéril como la del sudoeste. »

En su última publicación, en que se ocupa detenidamente de la formación pampeana, él vuelve a insistir que en tiempos neógenos ha habido movimientos tectónicos que ocasionaron fallas y quebraduras.

En este trabajo, que se titula *Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapalmalal (Anales del Museo nacional de Buenos Aires, serie 3ª, t. X, 1909)*, dedica un capítulo entero a este

fenómeno. En la página 402 escribe, textualmente, lo siguiente : « Una de las novedades más inesperadas de mi viaje y que ha de llamar la atención de los geólogos, es el descubrimiento de fallas y quebraduras en la cuarcita silúrica, acaecidas durante los tiempos *neógenos*. Algunas de esas dislocaciones son ciertamente posteriores a la mitad inferior de la formación pampeana. Como en toda esa región no hay el menor vestigio de fenómenos volcánicos, se deduce que esas dislocaciones fueron el resultado de movimientos puramente tectónicos.

« Con el propósito de darme cuenta de la causa a que obedecen las profundas diferencias geológicas que hay entre las barrancas del norte de Mar del Plata y las que se extienden al sur de la misma localidad, he levantado un perfil de la parte de la costa atlántica comprendida entre Miramar al sur y la boca de Mar Chiquita al norte, una longitud aproximadamente de 75 kilómetros, indicando en él la posición y disposición de las distintas formaciones geológicas. Naturalmente que todos los datos que contiene no deben considerarse como *absolutamente exactos* sino solamente aproximados, pues falta un relevamiento topográfico y altimétrico exacto de toda la región costanera. Es superfluo agregar que la escala vertical es muy exagerada con relación a la horizontal. »

El citado perfil está representado en la figura XV, y Ameghino dice que basta un simple golpe de vista para percibir que el valle de Mar Chiquita corresponde a una ancha y profunda falla geológica, que corre de este a oeste y que al formarse ha entreabierto el macizo de cuarcita dividiéndolo en dos partes y rellenándose luego la ancha hendidura con materiales recientes. Resulta, empero, que no se trata de un perfil geológico exacto sino de una simple demostración gráfica tal como *él suponía* que deberían presentarse las condiciones geológicas en esta región admitiendo la existencia de una falla. Si se levanta un perfil exacto de la relación estratigráfica como se presenta en las barrancas a ambos lados de este valle, resulta todo lo contrario de lo que afirma Ameghino, es decir, que en esta localidad en tiempos neógenos no podía haber habido una dislocación.

Lo que él ha tomado por una falla abierta, rellena por materiales pampeanos, no es más que un angosto valle de erosión, como se observa en todas partes en las montañas de cuarcita silúrica de la provincia de Buenos Aires.

A ambos lados de la supuesta falla las capas pampeanas del horizonte mesopampeano (ensenadense) y las neopampeanas (bonaerenses) se encuentran a un mismo nivel, y en ninguna parte he podido descubrir algún fenómeno que demuestre que en tiempos neógenos se haya producido una dislocación con falla.

He tocado aquí la cuestión de falla para desvirtuar las opiniones erróneas referente a los efectos que produjeron los movimientos eustáti-

cos que tuvieron lugar en distintos tiempos en la llanura pampeana.

En los 40 años que practico estudios geológicos en la provincia de Buenos Aires no he visto un solo hecho que pruebe con evidencia la existencia de dislocaciones con fallas o flexuras en el terreno pampeano. No se deben confundir los movimientos orogénicos con los eustáticos. Los primeros han dado origen a las montañas, sea que presiones laterales, que activaron en dirección horizontal, hayan plegado las capas unas encima de otras, como es el caso en la sierra de la Ventana, o que movimientos en sentido vertical ocasionaron dislocaciones de las capas por fallas y flexuras, como se observa, por ejemplo, en las sierras de Balcarce. Para el lector que no está al corriente de los problemas orogénicos agregaré una vista de la sierra de la Ventana en que se ve claramente el plegamiento de las capas (véase lám. VII).

Muy distintos son los movimientos eustáticos. Éstos no han dado origen a montaña alguna en la provincia de Buenos Aires, sino que motivaron que la costa se sumergiera paulatinamente debajo de las aguas del océano, produciendo de esta manera las transgresiones en que el agua del mar penetraba por las depresiones al interior de la tierra firme, o viceversa, que la plataforma continental emergiese paulatinamente del océano produciendo regresiones.

Estas clases de movimientos de la costa y del mar se han producido varias veces durante el tiempo en que se formó la llanura pampeana. Los hundimientos y elevamientos del terreno no se han verificado uniformes en nuestra costa, v. gr., las capas marinas que se depositaron durante la última transgresión que ha habido en nuestro territorio, se encuentran en Carmen de Patagones en una altura de 50 metros, mientras que en La Plata se hallan a muy pocos metros sobre el nivel del río de la Plata.

Además de los movimientos positivos y negativos en el litoral se observan, en la provincia de Buenos Aires, ligeras perturbaciones muy locales en el terreno pampeano, las que no motivaron transgresiones ni regresiones marinas. Estos fenómenos poco estudiados son comparables a las torceduras en pisos de tablas; las capas no pierden la continuidad como en las dislocaciones con fallas y flexuras; frecuentemente se presentan en forma de cúpulas y hoyas o en prolongadas ondulaciones. Si se compara su extensión horizontal con la altura de las lomas, la diferencia del nivel es tan insignificante que las capas aparecen en posición horizontal.

Un ejemplo de esta naturaleza nos presentan las barrancas de Los Lobos. En la costa atlántica, a unos cinco kilómetros al sudeste del faro, en Punta Mogotes aparecen en la base de la barranca capas del horizonte eopampeano que vuelven a perderse más al sur debajo de las aguas del mar a un kilómetro antes de llegar a la rambla de Miramar; la distancia

de un punto a otro es aproximadamente de 30 kilómetros y la mayor altura que alcanzan las capas eopampeanas no pasa en ninguna parte de 10 metros. Ahora bien, si se construye un perfil geológico de dos metros de largo en la misma escala horizontal como vertical, la capa eopampeana tendría un poco más de medio milímetro de altura; los bancos que se ven en distintas alturas de las barrancas y que ocupan grandes extensiones, aparecerían en posición completamente horizontal. Por las relaciones estratigráficas que presentan las capas de los distintos horizontes pampeanos se puede saber que el máximo de la combadura no pasa de 10 metros de altura porque encima de los estratos eopampeanos se hallan, en posición concordante a éstas, capas mesopampeanas, de manera que el levantamiento del terreno tuvo lugar después de depositarse los estratos de este último horizonte, y luego entró un período de erosión. Las aguas abrieron a través de los depósitos eo- y mesopampeanos valles laterales, que en el tiempo neopampeano se volvieron a llenar con sedimentos de este horizonte y del horizonte postpampeano. En las barrancas más altas faltan generalmente las capas de estos dos horizontes más modernos, en cambio las encontramos en el fondo y en las faldas de todos los arroyos que desembocan al mar en esta región. Se observan también algunos antiguos valles rellenados completamente de estos sedimentos; la morfología de estas barrancas es muy instructiva; encontramos aquí a veces los estratos neopampeanos depositados directamente sobre los eopampeanos, faltando los del horizonte mesopampeano.

Otra región tan interesante como la que acabo de mencionar, se encuentra en el partido Adolfo Alsina. El terreno en esta región es muy ondulado y las lomas más altas están construídas de capas eopampeanas, mientras que las del meso- y neopampeano se encuentran en el terreno bajo, lo que nos demuestra que el encorvamiento de las capas tuvo lugar antes del tiempo mesopampeano. El movimiento de la corteza terrestre ha producido en este partido hoyas que fueron ocupadas por grandes lagunas sin desagües lo que nos explica la existencia de salinas como la de Epecuén, que no tiene un origen marino.

También en el partido de Villarino los movimientos regionales han producido depresiones en formas de hoyadas sin desagüe; algunos se hallan a un nivel inferior al del mar. También en ellas hay salinas de origen terrestre.

En la provincia de Santiago del Estero he observado una combadura muy reciente del terreno. Entre Figueroa y Añatuya, el río Salado ha abierto un canal a través de depósitos neo y postpampeanos; a medida que el terreno se elevó, el agua profundizó su cauce, y parece que el levantamiento continúa aún hoy. La altura de la combadura es muy insignificante en comparación con la extensión horizontal que ocupa, y



Vistas de capas plegadas en la sierra de la Ventana

si no fuera el río Salado que ha cavado su cauce a través de ella, no se notaría que aquí ha habido un movimiento de capas. Las barrancas del río, en la parte más alta de la combadura, apenas tienen ocho metros, y la extensión que ocupan pasa de 70 kilómetros; en esta parte no existe un valle, toda la anchura del cauce, de barranca a barranca, no pasa de cien metros, mientras que enfrente de Añatuya, donde termina la combadura, el valle del río Salado tiene más de dos leguas de ancho y apenas se conocen las antiguas barrancas.

Es sabido que el litoral de la provincia de Buenos Aires se halla actualmente en un período de regresión, pero estos movimientos eustáticos ribereños son independientes de los que han producido las combaduras locales en el interior de la llanura pampeana. Todos esos movimientos en la corteza terrestre no han dado origen, en la provincia de Buenos Aires, ni a mesetas ni mucho menos a cordones de montañas de plegamientos, y solamente han puesto en descubierto capas de los horizontes superiores de la formación pampeana. La edad de las capas eopampeanas, que son las más antiguas que afloran en la provincia de Buenos Aires, todavía no está bien establecida, pero en ningún caso puede corresponder a una edad más antigua que a la del mioceno de Europa.

Acciones exógenas. — Mientras que en otras regiones de la República Argentina, durante el tiempo terciario, se formaron las cordilleras más altas, en nuestra provincia numerosos ríos y arroyos depositaron incesantemente detritos de las antiguas sierras, como también los de las montañas que se elevaron, durante el mismo tiempo, en las depresiones que existían anteriormente en la llanura pampeana. Es sabido que muchos ríos son tan antiguos como las montañas por donde corren actualmente. Al mismo tiempo que se formaron las montañas por el desplazamiento de las capas, la actividad erosiva de las aguas abrió nuevas salidas, cavando así los valles que frecuentemente tienen una dirección transversal al eje del plegamiento.

En las serranías se ve frecuentemente que los ríos actuales han cavado su lecho a través de capas que el mismo río depositó en tiempos anteriores. Un ejemplo muy interesante de esta naturaleza se puede observar en la línea del ferrocarril de Güemes a Salta; el río Mojotoro ha cavado en algunas partes su actual cauce a través de enormes masas de sedimentos fluviales de edad relativamente moderna; existen aquí barrancas completamente a pique que tienen trescientos y más metros de altura. En esta parte se puede ver claramente que no se trata simplemente de acumulaciones detríticas en la falda de una montaña, sino de capas fluviales en un ancho valle.

En diversos trabajos he demostrado que la acción erosiva de los ríos

es muy distinta en las sierras a la de las llanuras. En las regiones montañosas el río conserva su dirección primitiva durante largos períodos geológicos. Primero profundiza su lecho verticalmente, y recién cuando ha formado su curva de pendiente normal, que algunos autores llaman «Thalweg», ensancha lateralmente el cauce, abriéndose así los anchos valles que se observan en las antiguas cordilleras. En las llanuras, la acción erosiva de los ríos es, en cierto modo, negativa; es decir, que en vez de profundizar el cauce, lo levanta continuamente; el río, en lugar de conservar su dirección primitiva, cambia continuamente el curso, extendiéndose en sentido horizontal; cuanto más llano es el terreno tanto más numerosas son las curvas de su curso. El material que la corriente saca de un lado del río, lo vuelve a depositar a corta distancia en el lado opuesto, y con el material que acarrea de las sierras levanta el lecho y los bordes de ambos costados, formando los llamados albardones. Por la acumulación continua de los materiales a lo largo de su curso, el río llega a correr con el tiempo en un nivel más alto que el de la comarca vecina, y si en una creciente se abre una boca falsa, el agua se derrama al terreno bajo, formando así los grandes bañados conocidos con el nombre de «estero». Este fenómeno se verifica todavía hoy a nuestra vista. Uno de los esteros más grandes actuales es el de Patiño, formado por el río Pilcomayo, y de él me he ocupado detalladamente en un trabajo titulado *La construcción de un canal, etc.* (*Revista del Museo de La Plata*, t. XVI, 1909).

En esos esteros se volvían a formar nuevos ríos, que generalmente tomaban una dirección muy distinta de la que tenían anteriormente. Muchos de los actuales ríos, que nacen en las cordilleras, se pierden en esteros sin que se vuelvan a formar nuevos cauces, y toda el agua se infiltra al subsuelo.

En tiempos neopampeanos existía en el noroeste de la provincia de Buenos Aires un enorme estero mucho más grande que el de Patiño, del que han quedado solamente las lagunas Mar Chiquita, Gómez y Carpincho, y en él se perdieron numerosos arroyos y ríos de las sierras de Córdoba y San Luis. Todo el material que acarrearón quedó en esta región, y de él se formaron los cordones de médanos que existen en Junín, General Arenales, General Pinto, Lincoln, etc. He encontrado en estos depósitos fósiles característicos que prueban que son de edad neopampeana. En aquel tiempo el estero desaguaba por los ríos de Arrecifes y de Areco al río Paraná. Debido a un levantamiento del terreno durante la regresión postpampeana, el agua se abrió una nueva salida por el río Salado que desemboca en la ensenada de Samborombón. A principios del siglo pasado, el río Quinto desaguaba todavía en esta ensenada; hoy sus aguas se pierden en un estero que existe a unas ocho leguas de La-boulaye. El río Cuarto, que también desaguaba antes en el estero de Mar

Chiquita, ha formado un nuevo estero a pocas leguas de Carlota, donde nace hoy un pequeño Saladillo que desemboca en el río Carcarañá.

Los esteros han desempeñado un gran papel en la formación de la llanura pampeana, y más adelante se verá que es debido a ellos que el agua subterránea en los depósitos pampeanos sea frecuentemente salobre.

Muy interesante es la historia del río Paraná que nos revelan las perforaciones practicadas en el nordeste de la provincia. En los tiempos miocenos, esta región, como parte de las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, formaba un gran golfo con numerosas ensenadas y angostos canales, en el que desembocaba, un poco más abajo de La Paz, el río Paraná y otros importantes ríos. Cuando entró el período de regresión en que el mar se retiró mucho más al este de la actual costa Atlántica, el fondo del golfo se levantó por el lado de Entre Ríos a mayor altura que por el lado de Santa Fe y de Buenos Aires. Esto está demostrado por el hecho de que las capas marinas que se depositaron durante la transgresión, se encuentran en las barrancas de la ciudad de Paraná a unos cuarenta metros sobre el nivel del río, mientras que por el lado de Santa Fe y Buenos Aires, éstas están a unos diez o veinte metros debajo del río, y cuando se elevó el terreno, las corrientes tomaron una dirección más al sudoeste del actual curso del río. En todas las perforaciones que hemos practicado desde La Plata hasta San Nicolás se han encontrado, debajo de las capas pampeanas en una hondura de 20 a 40 metros, según la altura del terreno, depósitos fluviales del antiguo lecho del río Paraná. Se trata de sedimentos muy característicos, fáciles de reconocer por la gran abundancia de granos de arena y rodados de rocas calcedónicas que contiene, y este material no se diferencia en nada del que deposita actualmente el río. Estos estratos conducen excelente agua inagotable y se conocen por el nombre de «segunda napa».

Debido a nuevos movimientos eustáticos, el curso del río se desvió otra vez por el lado de Entre Ríos, y entonces se depositaron en la provincia de Buenos Aires, encima de los sedimentos fluviales, las capas de los horizontes meso y neopampeanos que forman las altas barrancas de este lado del río. Durante todo este tiempo, el río tenía abierta su salida al océano entre las capas marinas entrerrianas y los depósitos terrestres pampeanos. Durante la transgresión postpampeana, el agua del mar penetró por esta depresión hasta la altura de San Pedro, donde se mezcló con el agua dulce del río Paraná, lo que está demostrado por los bancos de conchillas de agua salobre que se encuentran en esta localidad. Igua- les clases de moluscos viven actualmente en los alrededores de Montevideo. En algunas partes el río ha cavado sus canales hasta la profundidad del antiguo lecho terciario, y actualmente se depositan sedimentos muy recientes sobre ellos.

Otro río caudaloso que recibía toda el agua de la más alta cordillera

de la región noroeste de la república, desembocaba en tiempos postglaciales en Bahía Blanca al océano. La depresión del terreno que se extiende desde este puerto en dirección noroeste, presenta análogas condiciones que el Delta del Paraná, y está rellena por depósitos fluviales post-pampeanos, en los que abundan los bancos de conchillas de agua salobre, lo que prueba que en otros tiempos el agua dulce se mezclaba en estos lugares con la del mar. Este caudaloso río, como muchos otros que cruzaron en épocas geológicas la provincia de Buenos Aires, han desaparecido.

Los sedimentos gruesos y pesados que arrastraban los ríos de las cordilleras, se depositaron a lo largo de su curso y en los esteros. Los materiales finos, como ser la arena y el limo, los vientos los desparramaban sobre las comarcas vecinas, levantando de esta manera el terreno. A causa del continuo cambio del curso de los ríos por la llanura, un mismo río ha pasado varias veces por un mismo paraje, pero cada vez en un nivel más alto. Esto nos explica que en las perforaciones se encuentren dos, tres o más depósitos fluviales, uno encima de otro, separados por capas eólicas.

Los antiguos lechos del río son mejores conductores de agua que los depósitos de origen eólico y por esto los poceros hablan de primera, segunda, tercera y más napas de agua.

Por lo dicho se ve que los ríos han sido los agentes que acarrearón el detrito de las regiones montañosas, formando los depósitos fluviales. Los vientos que desparramaban el material fino, conjuntamente con la arena traída de los médanos de la costa y la ceniza volcánica proveniente de los centros volcánicos, que en tiempos cretácicos y terciarios abundaban en Patagonia y en otras regiones, dieron origen a los depósitos eólicos, terraplenándose de esta manera las depresiones que existían anteriormente en la provincia de Buenos Aires.

Sería un grande error creer que las capas, que se depositaron en distintos tiempos geológicos, se hallan una encima de otra con la regularidad de círculos anuales de los troncos de árboles. Todo lo contrario: los sondeos de investigaciones que se practicaron en los últimos años en nuestro territorio, han demostrado que la morfología del subsuelo es muy complicada.

En las perforaciones se encuentran frecuentemente capas relativamente recientes, colocadas directamente encima de antiguas, faltando las de los horizontes geológicos intermedios, y a veces las capas de mayor antigüedad se hallan a menor profundidad en un paraje, que las más recientes en otro lugar.

En la depresión que existe en Avellaneda, por ejemplo, por donde corre el río de Matanza, los estratos postpampeanos, que son los más modernos, se hallan directamente depositados sobre capas marinas terciarias.

rias del horizonte entrerriano, faltando los de los pisos neo y mesopampeano.

Estas complicaciones fueron motivadas, en parte, por los movimientos regionales ya mencionados y por la erosión que ocasionaron ondulaciones en el terreno. Los ríos y arroyos abrieron nuevos valles a través de los depósitos antiguos, que luego se rellenaron nuevamente con sedimentos más recientes.

Lo que ha complicado más la relación estratigráfica del subsuelo de la provincia de Buenos Aires, son las transgresiones que dieron origen a las capas marinas intercaladas en los depósitos terrestres.

De estos fenómenos me ocuparé más adelante.

II

La formación de las areniscas rojas

Dejando a un lado las antiguas sierras, el terreno de la provincia de Buenos Aires está formado de rocas sedimentarias de origen terrestre y marino; rocas macizas volcánicas neógenas no se han constatado en ninguna parte en este territorio.

Las capas más antiguas que hemos encontrado en las perforaciones, pertenecen a la formación de las areniscas rojas. Depósitos de esta formación se hallan en casi todas las regiones de la República Argentina. En Patagonia se encuentran tanto en la cordillera como en las mesetas; en las provincias del norte forman una gran parte de las cordilleras, siendo muy plegadas. Las barrancas del río Paraguay, Alto Paraná y Uruguay se componen principalmente de este sedimento, y abundan también en el interior de Misiones y en la provincia de Corrientes. En estos lugares se hallan generalmente en posición primitiva, es decir, que no han sufrido plegamientos orogénicos. En el Chaco y en la llanura pampeana no se hallan a la superficie, pero se han encontrado en casi todas las perforaciones a mayor o menor profundidad.

Esta formación ha sido descrita bajo distintos nombres. D'Orbigny, que fué el primero que la ha estudiado, la llamó « terciario guaranítico ». Él la dividió en dos pisos que corresponden a edades geológicas muy distintas.

A mediados del siglo pasado se practicaron dos perforaciones en la ciudad de Buenos Aires, y se encontraron, debajo de los depósitos marinos entrerrianos, depósitos sedimentarios de color rojo, que Burmeister colocó en la formación guaranítica de D'Orbigny.

Brackebusch ha estudiado esta formación en la cordillera de las provincias del norte, y como él ha encontrado en algunas partes esta are-

nisca impregnada de sustancias bituminosas, propuso llamarla formación petrolífera o sistema de Salta.

Adolfo Doering designó las areniscas rojas, como Burmeister, « formación guaraníca ».

Ameghino ha empleado el mismo nombre para las areniscas rojas que existen en la Patagonia, dividiéndolas más tarde en dos formaciones. Las capas que él consideró más antiguas, las llamó « formación chubutense » o « de las areniscas abigarradas », y las capas que consideraba más modernas, « formación guaraníca » o « de las areniscas rojas ». Resulta, empero, que los depósitos que él llamó *areniscas abigarradas*, no son *areniscas* sino *tobás volcánicas*, y se encuentran en distintos horizontes; a veces se hallan encima de las areniscas rojas, de manera que esta denominación puede dar lugar a lamentables equivocaciones. En la Patagonia abundan los restos de dinosaurios, tanto en la toba abigarrada como en la arenisca roja, y por esta razón he propuesto llamar a todo el complejo de capas que contiene esta clase de fósiles « formación de los dinosaurios ». El doctor Windhausen objetó este nombre, diciendo que los dinosaurios no estaban distribuidos en todas las series, sino que se hallaban únicamente en la parte más alta hacia el límite superior. Esta afirmación no es exacta, pues estos restos son más escasos en los horizontes superiores que en los inferiores, y todo el grupo de los Dinosaurios se extingue al terminar este período geológico.

Windhausen ha estudiado la formación en el Neuquén, y parece que él mismo no haya encontrado fósiles de vertebrados. Se basa solamente en algunos huesos de dinosaurios que ha coleccionado el doctor Wichmann en las barrancas del río Negro, y si él hubiese practicado un estudio serio de las barrancas del río Neuquén habría visto que estos restos abundan más en la parte inferior que en la parte superior. Él considera que es más conveniente emplear, para toda la serie de estas capas, el nombre « areniscas abigarradas », lo que seguramente daría lugar a confusiones, como ya he dicho.

El doctor Bonarelli ha estudiado el sistema de las areniscas rojas en la provincia de Salta. Él las ha dividido en tres horizontes: *a)* formación petrolífera o areniscas inferiores; *b)* horizonte calcáreo dolomítico; *c)* areniscas superiores.

A mi parecer, el nombre « formación petrolífera » no se debe emplear; aún no sabemos si los yacimientos petrolíferos se hallan en todas partes en las mismas capas.

La Dirección de minas, geología e hidrología de la Nación ha mandado practicar estudios en la provincia de Corrientes, y como no encontraron las verdaderas capas de areniscas rojas en los lugares que menciona D'Orbigny, en las barrancas del río Paraná, propuso eliminar el nombre « formación guaraníca » de la literatura geológica.

Mientras que no se establezca un nombre colectivo para toda la serie de estas capas en cuestión, aceptado por todos los autores, conservaré el nombre « formación de las areniscas rojas ».

Esta formación tiene mucha analogía con la arenisca roja triásica que en Europa central se encuentra encima de los depósitos pérmicos. La diferencia entre una y otra arenisca consiste en que la de Europa está formada por una roca bien consolidada, muy apreciada para construcciones, mientras que en nuestro territorio es poco consistente. Se trata de una acumulación muy compacta de arena no cementada, que se puede cortar con pico. Solamente los bancos de cuarcita que se encuentran intercalados en ella son utilizables para construcciones. El color predominante en uno como en otro, es rojo, de tintes variantes. Tanto aquí como en Europa, se observan localmente rocas de colores muy vivos, amarillo, verde, azul, etc.; por cuya razón en Alemania se señaló a esta formación con el nombre *Buntsandstein* (arenisca abigarrada).

Mientras que en Europa la formación de arenisca roja se depositó en el tiempo del mesozoico inferior, aquí ha tenido su mayor desarrollo en el período cretáceo superior. Muy característica para las dos formaciones es la enorme masa de arena de grano muy uniforme, frecuentemente de origen eólico, lo que está demostrado por la falta de estratificación. Si ésta existe, es generalmente de estructura diagonal, como la producen los vientos en las dunas. Con esto no quiero decir que se compone exclusivamente de arenisca, pues en Europa, como aquí, se encuentran en ella bancos de dolomita y caliza, así como capas de conglomerados, de arcilla o marga, etc. En la Patagonia, como en la región noroeste de la república, abundan en los conglomerados los rodados de rocas calcedónicas. En los depósitos de sedimentos finos abunda el material de origen volcánico, que en muchas partes forma una verdadera toba. Común a las dos formaciones son, además, los grandes yacimientos de yeso que contienen y la escasez de restos de animales, mientras que abundan los fósiles de vegetales, lo que indica un origen terrestre. En la Patagonia se hallan, en ciertas localidades, numerosos restos de dinosaurios de los cuales ya he hablado, mientras que en el norte de la república, donde la formación de las areniscas rojas está muy desarrollada, éstos faltan casi por completo. Se han encontrado hasta ahora solamente en Salta algunos huesos de estos animales. Lo que abunda en ambas partes son troncos de maderas petrificadas (véase fig. 1).

Lo que más llama la atención es que en nuestro territorio se encuentran en la formación de las areniscas rojas interposiciones de loess de considerable espesor. Parece que este sedimento falta en la arenisca roja triásica de Europa, a lo menos no se le menciona. Es cierto que el loess que se encuentra intercalado en la arenisca roja a veces está muy modificado y presenta una estructura de dolomita. He visto bancos de loess

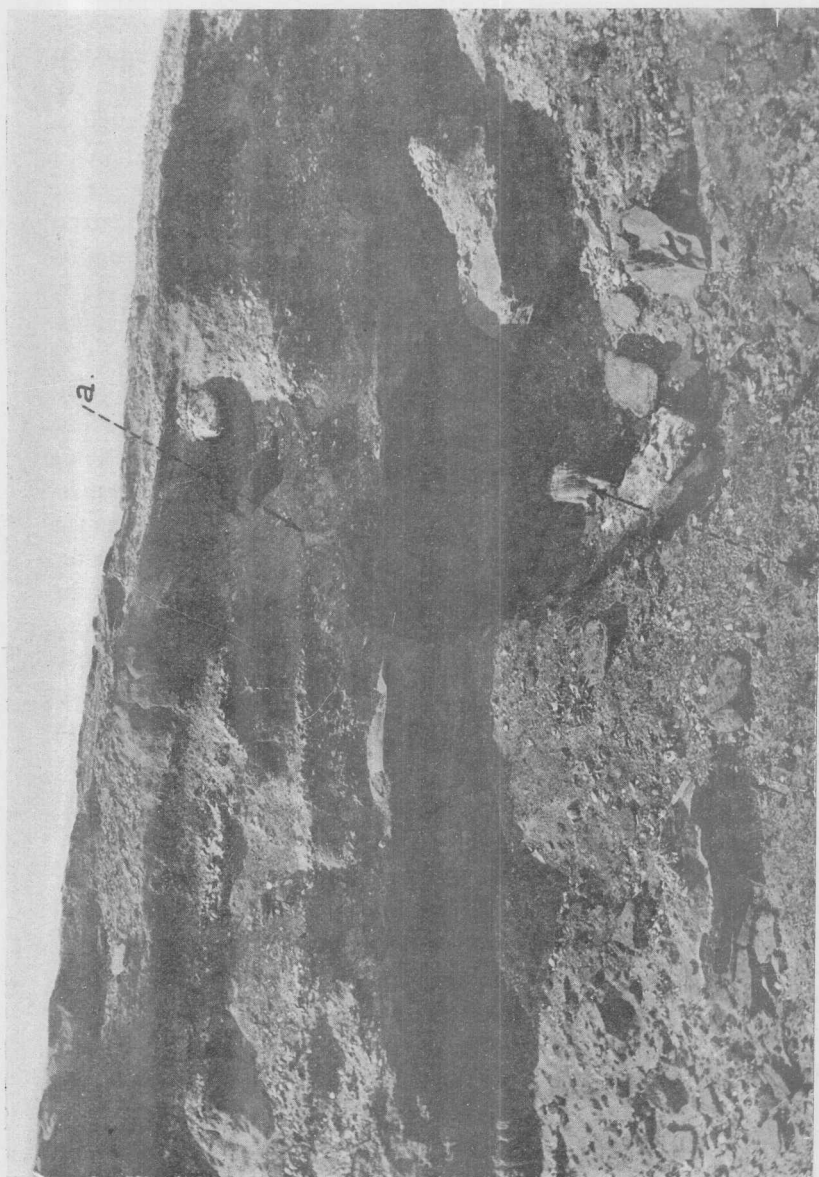


Fig. 1. — Vista de la formación de las areniscas rojas de facie fluvial, con estratos de arenisca, arcilla y conglomerado i
a, troncos de madera petrificados (Concordia, Entre Ríos)

que a primera vista se podrían confundir con dolomita, pero en los análisis químicos resulta que contiene muy poco de magnesia. Son principalmente las capas de loess con muchas toscas que presentan el carácter de dolomita cavernosa.

La estructura es algo distinta de las concreciones calcáreas que se encuentran diseminadas en forma de toscas en la masa del loess más reciente, se presenta generalmente en forma de muy delgadas capas concéntricas y onduladas, fibrorradiada, parecida a la caliza oolítica (véase fig. 2).

En la provincia de Entre Ríos, por el lado del río Uruguay, el loess



Fig. 2. — Tosca del loess infrapampeano de estructura oolítica, procedente de una cantera de Concepción del Uruguay

de estructura dolomítica tiene una gran extensión, y hay bancos de considerable espesor, pero hay también depósitos que no difieren de los más modernos. En las barrancas del río Uruguay, a la altura del Salto, he visto debajo de la arenisca roja depósitos de loess que, por su consistencia y estructura, no se distinguen del loess meso- y eopampeano (véase lámina VIII y perfil de la figura 3).

Ya Darwin, en su viaje por la república del Uruguay, en el año 1832, había visto en la región de Mercedes (Río Negro), en varios lugares y debajo de la arenisca roja, depósitos de loess. Él habla de capas de lodo pálido o rojizo enteramente igual a la formación pampeana ¹. En aquel

¹ *Geología de la América meridional (Geological observations on South America, Voyage of H. M. J. « Beagle »)*. Versión castellana por Alfredo Escuti Orrego, Santiago de Chile, 1906, páginas 157 y 158.

tiempo no se conocía la verdadera naturaleza del loess, y muchos autores le confundían con arcilla o limo. En las perforaciones practicadas en la provincia de Buenos Aires le hemos encontrado en muchas partes en la formación de las areniscas rojas; de esto me ocuparé en otro lugar.

En Europa, como en nuestra república, la formación de areniscas rojas

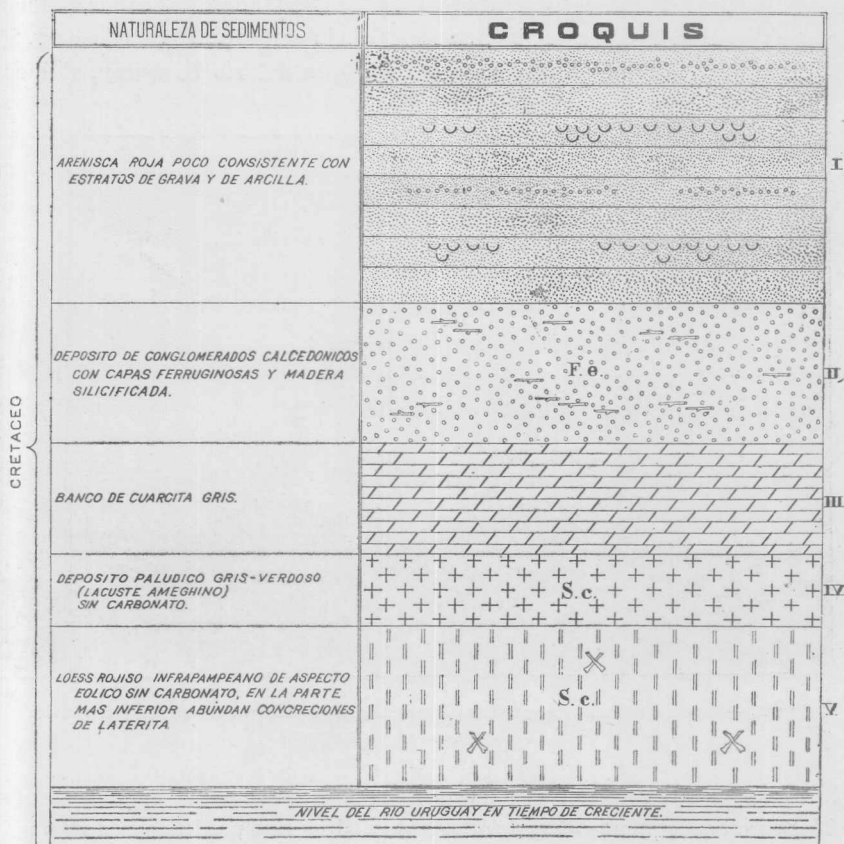
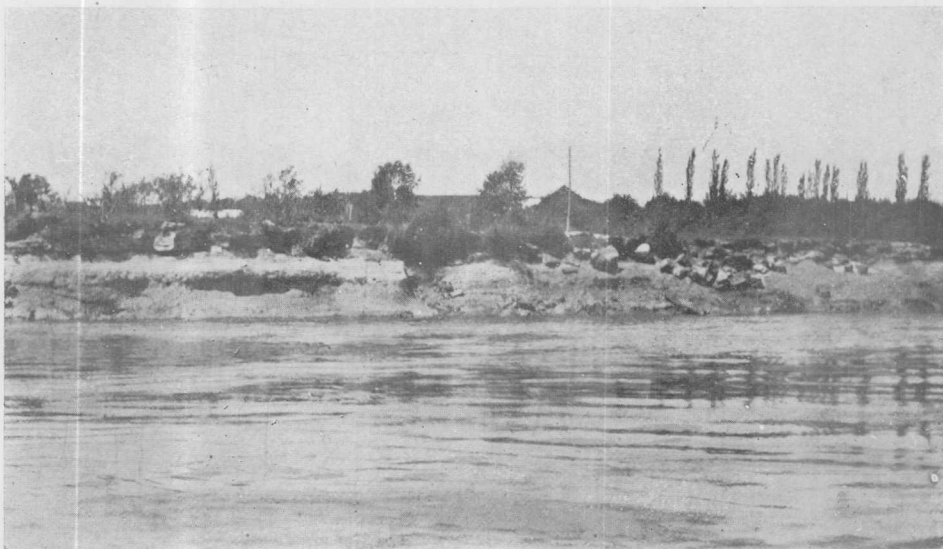


Fig. 3. — Perfil geológico de la barranca del río Uruguay, frente a la ciudad de Concordia a un kilómetro aguas abajo del puerto del Salto

es de gran potencia. Bonarelli calculó que en la provincia de Salta tiene más de 4000 metros. En la región superior del río Limay he visto montañas tabulares, formadas de esta formación, que tienen 2000 metros de altura, y en el chaco de Santiago del Estero se ha practicado un sondeo que pasa de 2000 metros de profundidad sin haberlo atravesado totalmente. La escasez de fósiles hace difícil establecer con exactitud la edad geológica a que corresponde y de subdividirlo en pisos.



Vistas de la barranca del río Uruguay, frente a la ciudad de Concordia, donde existe loess típico
debajo de la formación de las areniscas rojas

III

La formación de las tobas de transición

Encima de los depósitos de la arenisca roja, en los que en la Patagonia abundan los restos de dinosaurios, se encuentran capas de una toba volcánica de color gris claro de tinte amarillento o verdoso. En algunas partes están reemplazadas por arenisca o arena suelta del mismo color que la toba, generalmente de granos gruesos de cuarzo y de rocas calcedónicas; a veces se observan en la masa principal estratos de arena roja. En esta arenisca abundan los troncos de madera petrificada; en algunas partes hay también restos de mamíferos correspondientes a la fauna pyrotheriana; huesos de dinosaurios no he encontrado en ella en parte alguna. Ameghino menciona la presencia de restos de megalosauroides, pero creo que se trata de una equivocación.

Hay lugares donde la toba está transformada en loess más o menos puro; en estos parajes abundan los restos de mamíferos. En otros lugares presenta un carácter arcilloso; este es precisamente el caso en la facies marina, y hay parajes donde tiene una estructura algo pizarrosa. En general es poco compacta; en la superficie parece una acumulación de harina cenicienta.

Ameghino ha dividido estos depósitos en varios pisos y los ha colocado con las areniscas rojas (formación guaranítica); pero teniendo en cuenta el carácter litológico y la fauna de mamíferos, se tendría que colocarlos más bien en la formación patagónica, si no se la quiere considerar como una formación independiente.

Estos depósitos forman la transición entre las areniscas que contienen restos de dinosaurios y la toba gris patagónica típica. Hay lugares en la Patagonia, en los que no es posible establecer el límite donde termina la formación de las areniscas rojas y donde comienza la toba gris. Este fué el motivo, porque Ameghino ha considerado la fauna pyrotheriana y notostylopiana, de las cuales me ocuparé más adelante, como correspondientes a un mismo horizonte geológico. Recién más tarde se dió cuenta de que se trataba de dos faunas que han vivido en tiempos muy distintos. El geólogo doctor Hauthal, que ha practicado estudios en el sur de Patagonia, dice que no existe discordancia visible entre el cretáceo y el terciario.

A pesar de todo esto el doctor Wilckens, que ha estudiado las diversas faunas marinas de la Patagonia, sostuvo que entre el mesozoico y el cenozoico no existe una transición de facies marina, pero él no ha practicado estudios en el terreno. Es cierto que hay lugares donde se

nota entre la formación de las areniscas rojas y la de las tobas de transición una discordancia bien visible.

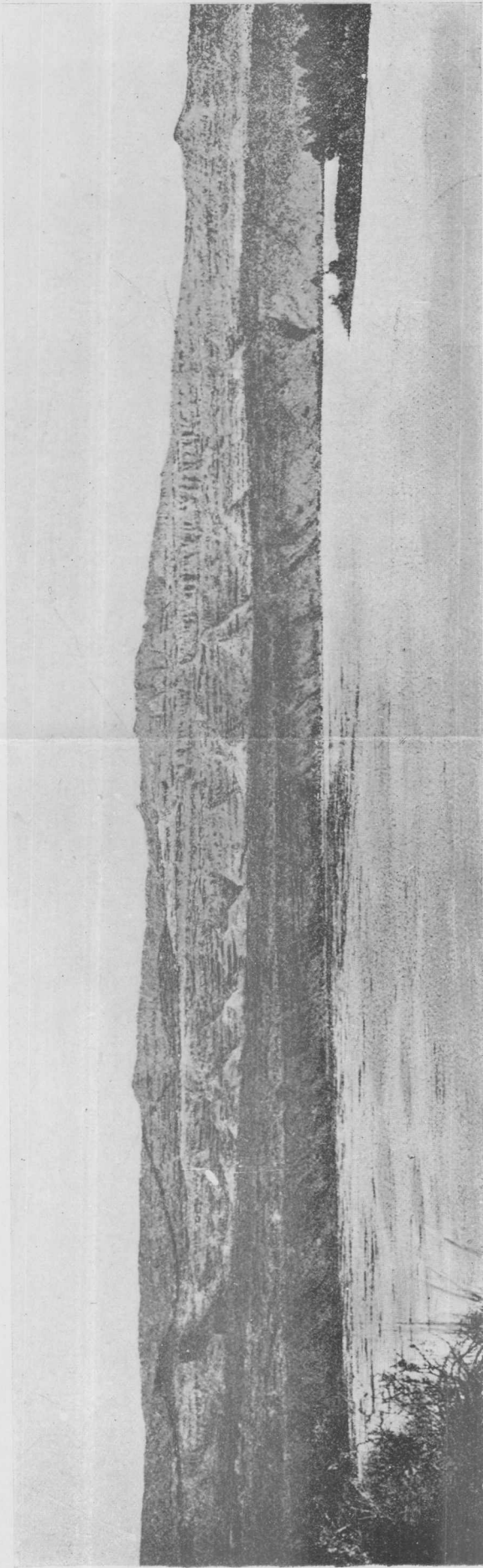
En las barrancas del río Negro, al norte de Roca, existen dos depósitos marinos que presentan un carácter litológico muy distinto, y se nota una perfecta discordancia de erosión. Los estratos inferiores se componen de una marga amarilla de tinte rojizo, la que contiene mucho material fino de origen volcánico, y los superiores se componen de toba gris muy distinta de la anterior. Por los fósiles que contienen parece que las dos correspondan a una misma transgresión marina, pero la primera corresponde a la parte superior de la formación de las areniscas rojas, y la segunda pertenece a la de las tobas de transición; los depósitos marinos están separados por capas de areniscas con troncos de madera petrificada sin vestigios de fósiles marinos. Probablemente se trata de dos transgresiones, de las cuales me ocuparé más adelante.

Discordancias existen solamente en lugares donde ha habido una interrupción en la sedimentación; en general la formación de las areniscas rojas pasa gradualmente a la formación de las tobas de transición y esta última a la toba gris patagónica.

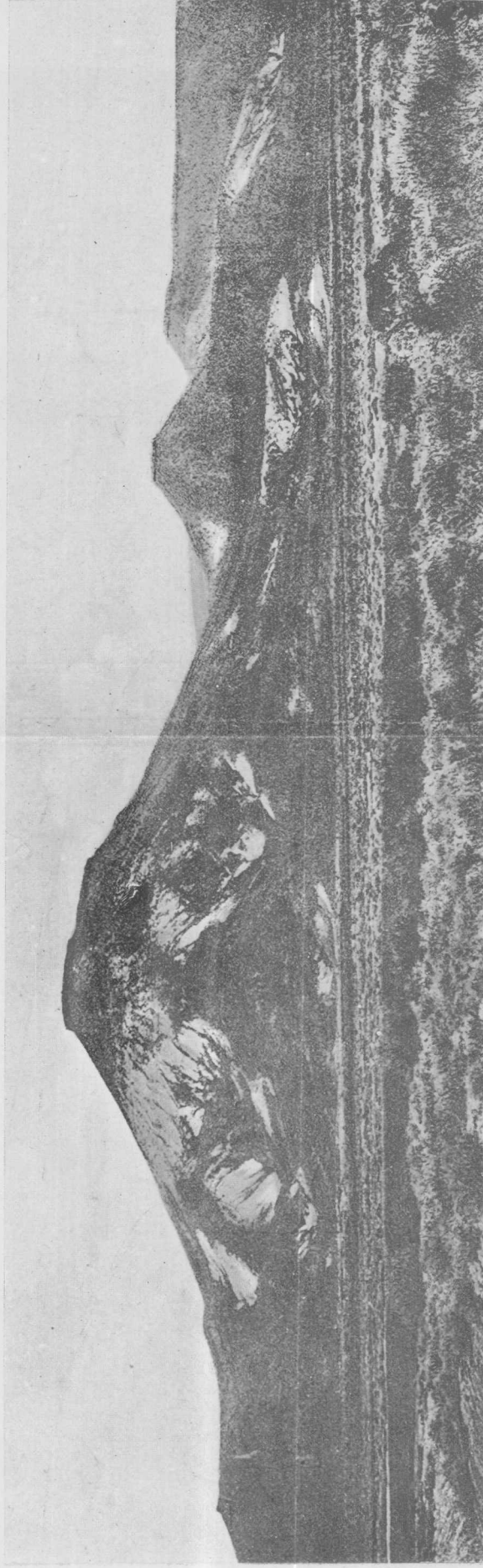
En parajes donde la sedimentación ha sido continua, no es posible establecer los límites entre estas tres formaciones, no siendo que éstas contengan fósiles. El doctor Schiller, que ha practicado estudios en la costa del mar, en Comodoro Rivadavia, ha sostenido que las capas que forman la base de la barranca en aquel puerto, son las mismas que se encuentran al pie de la barranca, en el pico Salamanca, mientras Ameghino afirma que las primeras corresponden a la transgresión patagónica y las segundas, a la salamanquense. Ciertamente en su carácter litológico los estratos de la toba de transición son mucho más parecidos a los de la formación patagónica que a los de la formación de las areniscas rojas, pero sería tan incompatible incluirlos en la primera como en la segunda. En un trabajo que trata de la división de los depósitos sedimentarios de la Patagonia y de la llanura pampeana¹ he reunido estos estratos en un grupo independiente llamándolo « formación de las tobas de transición ».

Es cierto que, de los trabajos de especialistas en invertebrados resulta que la fauna marina de las capas rocanenses típicas que forman el horizonte superior de la formación de las areniscas rojas, se diferencia poco de la que se halla en la toba de transición. El mismo fenómeno se observa también entre los depósitos patagónicos y entrerrianos; la fauna marina que se encuentra en ambos estratos es tan parecida, que se le consideraba correspondiente a una misma formación, mientras que la

¹ *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilage*, Band XXVI, 1908.



a) Vista de la barraanca del río Limay en la Bajada Colorada, compuesta de la formación de las areniscas rojas



b) Vista del paisaje de la formación de la bota gris patagónica (Territorio del Chubut)

fauna de los mamíferos en los mismos estratos, es completamente distinta; más adelante se verá que, en la formación patagónica, faltan los grandes edentados, mientras que, en las capas entrerrianas, son muy abundantes.

Otro tanto sucede entre la fauna de mamíferos de *Notostylops*, que se hallan en las capas superiores de las areniscas rojas y la *Pyrotherium* que se encuentra en la toba de transición; entre las dos hay un largo período de desarrollo filogenético. La fauna de *Pyrotherium* presenta el carácter de los mamíferos del terciario inferior, y como en estas capas faltan los restos de dinosaurios, no se las debe colocar en el cretáceo, como lo ha hecho Ameghino.

Estos depósitos no afloran en la provincia de Buenos Aires y en forma típica los hemos encontrado únicamente en las perforaciones practicadas en el partido de Bahía Blanca. Por este motivo no entro aquí en una descripción más detallada; me ocuparé de ellos cuando trate de los respectivos sondeos.

IV

La formación de la toba gris patagónica

Estos depósitos, que están formados en gran parte por tobas volcánicas, no tienen una dispersión tan general en la república como la formación de las areniscas rojas, y están reemplazados en las regiones del norte por otras clases de sedimentos. En su forma típica se encuentran en la Patagonia, donde alcanzan un considerable espesor. Las mesetas de la Patagonia constan en gran parte de estos sedimentos, que imprimen a toda la región un carácter orográfico muy singular (véase lámina IX, b).

Antes se conocían estos depósitos por el nombre de « formación patagónica ». El geólogo Steinmann, considerando que se deben designar con un nombre más específico, propuso la denominación « molasa patagónica », suponiendo que correspondan a los depósitos que en Suiza se designan con este nombre, el que no indica un período geológico determinado.

El doctor Wilckens adoptó esta denominación, pero él conocía la formación únicamente por los fósiles marinos, que los museos de Buenos Aires y de La Plata, le habían enviado para ser determinados. He demostrado, en el trabajo recién mencionado, que la formación en cuestión no tiene ninguna analogía con la molasa, y propuse llamarla « formación de la toba gris patagónica », lo que no ha tenido aceptación general; el doctor Stappenberck en sus diversos trabajos sigue llamán-

dola molasa patagónica. Parece que este señor no conocía la molasa, pero, por lo menos, debía saber que es un término que expresa el carácter lito-genético y no un determinado tiempo geológico.

Por molasa se entiende un complejo de capas correspondientes a diversos pisos del terciario mediano, muy desarrollado en el territorio de Suiza; se compone de enormes capas de conglomerados y areniscas con interposiciones de estratos de limo de origen marino y fluvial. Sedimentos eruptivos faltan por completo. La formación de la toba gris patagónica, por lo contrario, se compone esencialmente de materiales volcánicos; también se presenta en dos facies, una marina y otra terrestre.

El material de la primera es menos uniforme que el de la segunda. En la facie marina las capas de tobas arcillosas alternan frecuentemente con toba arenosa, pero el sedimento predominante es de origen volcánico. La facies terrestre, mucho más importante que la marina, está formada por una masa de ceniza volcánica homogénea en color y composición, que no presenta estratificación, pero se observan en ella localmente interposiciones de estratos más o menos arenosos y arcillosos y muy raramente conglomerado, como es el caso en todos los depósitos de toba. En algunas partes está transformada en loess más o menos puro. Se trata de acumulaciones en su mayor parte eólicas de materiales de erupciones volcánicas del tiempo terciario inferior.

A fines de la era mesozóica y al principio de la caínzóica hubo en la Patagonia una gran actividad volcánica, que dió origen a las tobas abigarradas cretáceas y a la toba gris del terciario inferior. Durante el tiempo terciario superior las erupciones eran menos frecuentes y entonces se depositó, encima de la toba, la arenisca gris patagónica, de la cual hablaré en el capítulo V.

Las tobas cretáceas son de colores vivos, muy variables, mientras que las del terciario son de color gris uniforme. Las de la formación de transición son, por lo general, de color gris claro con tinte azulado o verdoso, raramente amarillento y las de la formación patagónica, gris ceniciento con partículas blancas de piedra pómez. La diferencia más notable entre las dos formaciones consiste en que la primera presenta el aspecto de un amontonamiento de polvo fino muy suelto, mientras que la segunda es de estructura migajosa y tan compacta que se necesita el pico para cavarla. Las muestras que resultan de los sondeos triturados por el trepano se diferencian principalmente unos de otros porque los de la toba de la formación de transición presentan un aspecto pizarroso y los de la formación patagónica, un aspecto granuloso.

Es sabido que es muy difícil identificar, por la naturaleza de las rocas, la contemporaneidad de las capas que se encuentran en distintas regiones, pero la toba gris es tan característica que, donde quiera que se halle, se puede saber aun sin que contenga fósiles, que corresponde

al terciario inferior. El geólogo que la ha estudiado en la Patagonia, la conoce fácilmente encontrándola en las perforaciones de otras regiones, y sería absurdo si se la designara por molasa.

La formación de toba gris aparece en la superficie en todas las regiones de la Patagonia, siendo en el sur algo menos pura. En el interior predominan las facies terrestres y en la actual costa atlántica las marinas, pero en la misma costa se encuentran a veces los fósiles marinos mezclados con restos de mamíferos terrestres.

D'Orbigny y Darwin ya conocían estos depósitos y los designaron con el nombre de « terciario patagónico ». Ellos los identificaron con las capas marinas que forman la base de las barrancas del río Paraná en Entre Ríos. Mucho tiempo se supuso, que estas capas se extendiesen debajo de la formación pampeana hasta el río Negro, en cuyo punto aparecen otra vez en la superficie, cubriendo toda la Patagonia hasta el estrecho de Magallanes. Si bien Darwin había encontrado algunos fósiles de mamíferos, no se dió cuenta exacta de la naturaleza de estas capas. Recién cuando el doctor Francisco P. Moreno en sus primeras exploraciones coleccionó numerosos restos de mamíferos, se llegó a saber que se trataba de una formación que en su mayor parte es de origen terrestre. Más tarde Florentino Ameghino, que estudió esta fauna y la comparó con la de Entre Ríos, se convenció que los restos de mamíferos que se encuentran en las capas de la Patagonia y en las de Entre Ríos corresponden a dos épocas geológicas muy distintas. Por las investigaciones que ha practicado Carlos Ameghino durante muchos años en la región sur de la Patagonia, y por los estudios de las comisiones exploradoras que mandó el doctor Moreno por todo el territorio, desde Mendoza hasta el estrecho de Magallanes, se conoce hoy esta formación casi mejor que cualquier otra. Los fósiles de mamíferos, que se hallan en ella, han llamado tanto la atención del mundo científico, que sabios de Europa y de los Estados Unidos de Norte América han venido a practicar estudios.

Se han dividido estos depósitos en numerosos pisos, y se ha discutido mucho sobre la edad geológica que les corresponde; pero no entro aquí a ventilar problemas cronológicos.

No se halla esta formación en parte alguna de la superficie en la provincia de Buenos Aires; pero en las perforaciones practicadas en el partido de Bahía Blanca, hemos encontrado la facies terrestre que, como he dicho, es tan característica que se puede reconocer sin hallar en ella fósiles; en las otras regiones parece que esté reemplazada por capas de loess. En cambio, hemos encontrado en las numerosas perforaciones practicadas en otras localidades, depósitos marinos que, por su posición estratigráfica, seguramente corresponden a esta formación. De ellos me ocuparé en el capítulo que trata de las transgresiones y regresiones marinas.

V

La formación de las areniscas patagónicas

El doctor Adolfo Doering ha creado en el año 1882 ¹ para los depósitos de areniscas que se hallan en la región entre el río Colorado y el río Negro y en los territorios de la Patagonia, el nombre de « formación araucana », y la dividió en dos pisos.

En el más antiguo, que llamó « piso araucano », ha incluido las siguientes capas : « Margas de detrito volcánico de Santa Cruz, Chichinal, etc. División superior de las areniscas osíferas de la Patagonia austral, con *Nesodon*, *Anchitherium*, etc. Horizonte superior de los bancos de la meseta araucana en el curso intermedio del río Colorado y del río Negro. Arenisca fosilífera de Santa María, Catamarca, con *Corbicula Stelzneri*, etc. » (?).

En el piso superior, que llamó « piso puelche », ha incluido los estratos siguientes : Areniscas de la Pampa occidental. Arenas semiflúidas de la cuenca pampeana ².

Los dos pisos los consideró más modernos que la formación patagónica, la que, según él, se compone de los pisos paranense, mesopotámico y patagónico.

El doctor Doering no conocía personalmente el terreno sino hasta el río Negro, y ha incluido los depósitos de la Patagonia austral en la formación araucana, basándose principalmente en las observaciones practicadas por el doctor Francisco P. Moreno en sus exploraciones en el sur de la Patagonia. Como las capas en que Moreno ha coleccionado una gran cantidad de mamíferos santacruceños, son más modernas que los estratos marinos de la formación patagónica, él supuso que también fueran más modernas que las de Entre Ríos, porque en aquel tiempo no se sabía que estas últimas eran mucho más recientes.

El error que ha cometido Doering fué el suponer que las capas de areniscas, que en el litoral del río Negro se hallan depositadas directamente encima de estratos marinos de la transgresión entrerriense y las de Santa Cruz, correspondiesen a un mismo horizonte geológico. Más tarde Ameghino demostró, con toda evidencia, que las capas que contienen la fauna de Santa Cruz son mucho más antiguas que las entrerrianas.

¹ *Expedición al río Negro*, volumen III, Geología, Buenos Aires, 1882.

² Doering señaló esta formación también : tobas traquíticas en la Patagonia, formación postpatagónica y subpampeana.

Hoy sabemos también con toda certeza que los depósitos de arena encontrados en las perforaciones practicadas en Buenos Aires, los que forman el piso «puelche» de Doering, son más antiguos, y no más modernos que las areniscas del río Negro.

Ameghino corrigió el error cometido por Doering, y excluyó de la formación araucana las capas con fósiles de la fauna de Santa Cruz, tomando como piso araucano típico las areniscas del valle de Santa María (Cattamarca), pero cometió el error de considerarlo más moderno que el de las areniscas rionegrenses. (Más adelante se verá que estas últimas no son más antiguas que el piso ensenadense.) Él ha cambiado varias veces la correlación de los pisos y los nombres; así el nombre araucanense lo ha substituído por el de rionegrense, colocándolo en la formación tehuelche, denominación creada por Doering para los depósitos glaciales; más tarde lo colocó otra vez en la formación araucana. El piso tehuelche figura en un cuadro de divisiones en la formación pampeana y en otro en la araucana.

Lo dicho basta para demostrar el desorden que existe en la correlación de los pisos de la formación araucana, y para evitar confusiones he abandonado esta denominación, llamándola «formación de las areniscas patagónicas».

Las capas sedimentarias que en la Patagonia se hallan encima de la formación de las tobas patagónicas, presentan mucha analogía con la «molasa» de Suiza; se distinguen también dos facies, una terrestre y otra marina, siendo, empero, esta última poco importante en comparación con el enorme espesor que tiene la primera.

La masa principal se compone, en la Patagonia, como en la Suiza, de una arenisca no muy consistente, con intercalaciones de arcilla, margas y a veces tiza o, mejor dicho, creta de agua dulce, así como de bancos de caliza. En ella abundan materiales de origen volcánico, como ser, toba, piedra pómez, etc., las que faltan en la molasa de Suiza, o al menos son muy escasas. En cambio, encontramos en las dos regiones enormes depósitos de conglomerados (*Nagelfluh*) y yacimientos de carbón pardo (lignita). En la cordillera, y especialmente en la precordillera, predominan los depósitos límnicos, que se amontonaron en enormes cuencas de agua dulce.

En la región de las mesetas y en el litoral de la Patagonia estos depósitos son, en gran parte, fluviales o eólicos, y solamente cerca de la costa actual he visto interposiciones de estratos marinos.

En otras regiones las capas se encuentran en posición horizontal, mientras que en la cordillera y precordillera han tenido participación en los movimientos orogénicos, formando las capas más antiguas parte de las montañas, como en los Alpes. En Suiza abunda la molasa ya en el oligoceno, siendo escasa en el plioceno; en la Patagonia comenzó su

sedimentación a principios del mioceno, y continuó depositándose hasta el fin del terciario.

Es sabido que la molasa en Suiza se depositó durante la formación de los Alpes. También en la Patagonia la sedimentación de las areniscas patagónicas está relacionada con el levantamiento de la cordillera. Es opinión muy general que el volcanismo no ha tenido participación en el levantamiento de los Alpes. La cordillera en la Patagonia, por lo contrario, se ha formado por acciones volcánicas, lo que está demostrado hasta la evidencia por el hecho de que las capas sedimentarias, en las inmediaciones de los centros volcánicos, están muy dislocadas, mientras que las que se hallan apartadas de ellos han conservado la posición primitiva. Han sido principalmente las erupciones que dieron origen a las rocas de estructura granítica, que motivaron también los plegamientos. Fuera de la cordillera, donde existen las rocas efusivas de estructura basáltica, las capas sedimentarias se hallan en posición casi horizontal.

Se observa que a ambos lados de la cordillera Central, que está formada por la zona granítica, se han hundido enormes masas de terreno. En el lado oriental se formaron en las depresiones cuencas de agua dulce de grandes extensiones, unidas entre sí por estrechos brazos que se bifurcaron en el interior de los macizos.

En el lado oeste se formaron en las depresiones los golfos y estrechos del Pacífico. Las erupciones que dieron origen a las rocas de manta han producido solamente pequeñas hoyas sin desagüe; éstas son muy características en la región tabular de la Patagonia.

Muy significativo es que en la región del lago Musters, completamente separado de la cordillera, donde hay macizos de rocas volcánicas cristalinas, existen también extensas depresiones.

Dentro de los grandes lagos, al lado este de la cordillera, se formaron los estratos límnicos de la formación de las areniscas patagónicas, y los ríos que salían de ellos depositaron capas fluviales en la región tabular a lo largo de sus cursos.

Las acciones volcánicas que originaron el levantamiento de la cordillera de la Patagonia duraron hasta fines del tiempo mioceno; las erupciones continuaron hasta el período plioceno; pero éstas eran mucho menos intensivas y no produjeron grandes dislocaciones. Por esta razón los depósitos límnicos antiguos se hallan con mayor frecuencia en posición perturbada que los más recientes. En el suroeste del lago Nahuel Huapí, entre Bariloche y Puerto Moreno, hay un cordón de sierras que se componen, en parte, de rocas graníticas y, en parte, de arenisca dislocada. En ella he coleccionado numerosas impresiones de plantas que, según la determinación del doctor Kurtz, corresponden al tiempo mioceno. Las mismas capas continúan hasta cerca de un antiguo volcán, llamado Pico Quemado; en esta parte las areniscas se hallan comprimidas entre rocas

volcánicas, presentando un gran pliegue en forma de abanico; en estas mismas capas abundan las plantas fósiles, y en algunas partes se observan bancos de lignita. Encima de estas capas dislocadas se encuentran estratos límnicos más recientes poco o nada perturbados, los que también contienen impresiones de plantas y moluscos de agua dulce. Me llamó mucho la atención que tanto en la cordillera como en la precordillera predominan los pliegues en forma de abanico, los que cambian tan frecuentemente el rumbo (véase lám. X).

En toda esta región existían todavía en el plioceno enormes lagos; los actuales son solamente pequeños restos que se han conservado después del tiempo glacial.

Debido a un cambio del *divortium aquarum* en el tiempo postglacial, una gran parte de los lagos que se hallaban al este de la cordillera comenzaron a desaguar en el océano Pacífico, y muchos de ellos se secaron por completo, de manera que hoy podemos estudiar sus antiguos fondos. Los ríos que nacen en las sierras y que antes desaguaban en estos lagos han abierto en los antiguos fondos cauces de cientos de metros de profundidad, poniendo al descubierto los estratos inferiores que presentan la estratificación característica de los depósitos lacustres o, mejor dicho, límnicas (*kreuzschichtung*). Estos importantes depósitos son poco conocidos en la literatura de la geología argentina (véase lám. XI).

Una de las regiones más instructivas para el estudio de las formaciones sedimentarias en la Patagonia, que yo he visitado, se halla al norte del lago Fontana, entre el río Frías y el río Corcovado. En esta zona se encuentran representadas todas las formaciones desde las areniscas rojas de la edad cretácea hasta los depósitos glaciales.

A fines del tiempo plioceno existían todavía en la precordillera de esta región, grandes cuencas de agua dulce semejantes a grandes golfos unidos por estrechos. Por ejemplo, la cuenca de la región del lago La Paz, el que se ha conservado hasta hoy, estaba unida por un estrecho con la gran cuenca de la colonia 16 de Octubre, en la que se ha conservado el lago Rosario y algunos lagos más pequeños.

La cuenca de la región del lago La Paz desaguaba antes al valle Pampa Grande por el río Tecka; otra, que se halla en la comarca del río Pico, donde han quedado tres pequeños lagos, tenía su desagüe por el gran cañadón de Génova; y la tercera, la del río Frías, derramaba sus aguas por los ríos Omkel y Appeleg. Todavía hoy se pueden conocer bien los antiguos desagües por las terrazas que están en las faldas de las sierras. En estas pampas se hallan las divisiones de las aguas continentales, y la mayor parte de los ríos que nacen actualmente en las sierras del lado este de la cordillera Central, corren por abras al Pacífico. En esta región existen tres aberturas o boquetes que atraviesan la cordillera Central; la más al norte se halla cerca del lugar donde se une el río Corcovado

con el río Frío, formando el río Carrenleufú, que más abajo toma el nombre río Palena, que desemboca al golfo del Corcovado.

El río Frío, como el Corcovado, han cavado su salida a través de sedimentos límnicos depositados en estrechos, que se comunicaron con las cuencas 16 de Octubre y lago La Paz. En las faldas de las sierras se observan, a una altura de 300 a 400 metros sobre los valles, las antiguas terrazas que presentan un declive contrario al actual curso de estos ríos (véase lám. XII).

La cuenca del río Pico tiene su salida al Pacífico por un boquete, que en algunas partes apenas mide 50 metros de anchura, y no es posible transitar por esta quebrada al Pacífico.

La tercera salida, la de la cuenca del río Frías, se halla al norte del lago Fontana. También este boquete es tan estrecho que no se puede seguir el curso de este río, y no se sabe con seguridad donde desemboca al Pacífico.

En tiempos glaciales estos grandes lagos estuvieron helados y las glaciares transportaron el detrito de las serranías fuera de la cordillera a la región tabular. La zona de las morenas terminales está marcada por grandes bloques erráticos.

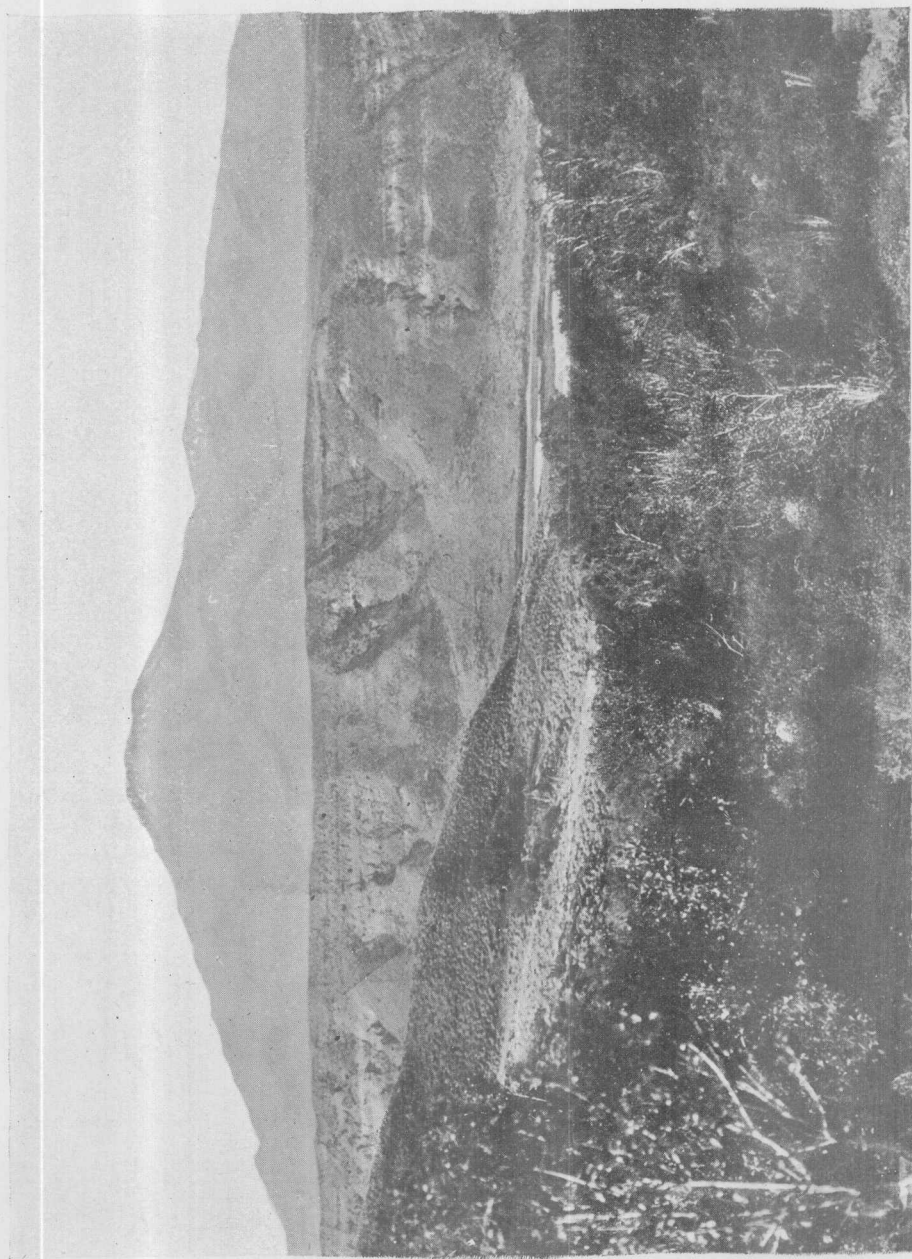
Los torrentes que salían de los glaciares acarrearón el detrito sobre las mesetas, formando esta inmensa capa de rodados fluvio-glaciales que cubre casi toda la Patagonia. Las morenas que se depositaron en las salidas de los valles de la cordillera, motivaron que, después del tiempo glacial, las aguas quedaran represadas en la precordillera y comenzaran a desaguar por los mencionados boquetes, abiertos por el hielo a través de los macizos graníticos.

Con el tiempo estas aberturas se profundizaron tanto que, no solamente los lagos se desagotaron por completo, sino los ríos que nacen en las sierras, y que antes desaguaban por ellos, cavaron profundos cauces en los antiguos fondos. En las barrancas de estos nuevos ríos que, como he dicho, en algunas partes tienen cientos de metros de altura, se pueden estudiar los depósitos límnicos superiores (pliocenos); los inferiores (miocenos) afloran solamente en los lugares donde ha habido dislocaciones.

La loma Baguales, que forma una colina de 1307 metros de altura sobre el mar y separa la cuenca del río Pico de la del río Frías, presenta análogas condiciones, que las de la colina de Albis en Zurich (Suiza) que está formada de molasa de agua dulce. En la parte inferior del Albis predominan los estratos de areniscas y de sedimentos arcillosos; encima siguen conglomerados (*Nagelfluh*) bastante consistentes; la parte superior se compone de conglomerados poco cimentados llamados *loecherige Nagelfluh*. Como el conglomerado inferior pasa gradualmente al superior poco cimentado, sin que se note una discordancia bien definida, se discute si



Capas de la formación de las areniscas patagónicas, plegadas en forma de abanico, en las sierras Bayas, al sur del lago Nahuel-Huapi



Vista de un antiguo fondo de lago, atravesado por un arroyo, en la Colonia 16 de Octubre

todo el complejo (*Nagelfluh*) corresponde a la molasa, o si la parte superior puede ser glacial.

En la loma Baguales se observa el mismo fenómeno. La base está formada de arenisca con intercalaciones de limo más o menos arenoso, estratos de creta y bancos de lignita, en que abundan plantas fósiles y conchillas de agua dulce. Todas estas capas se hallan en posición ligeramente perturbada. En la parte superior predominan los conglomerados que en la cumbre presentan el aspecto de los depósitos glaciales más antiguos ¹.

Más al sur de la loma Baguales hay un cordón de sierras de mayor altura, llamado Cumbre Negra. En una quebrada, donde el arroyo de Los Patos entra a la pampa del río Frías, hay una barranca muy a pique que se compone de depósitos de la formación de las tobas de transición, que contienen fósiles de mamíferos, pero tan mal conservados que no he podido extraer siquiera uno entero; merced a la presencia de restos de *Notohippideas* y *Leontiniideas* no cabe duda que se trata de la fauna *pyrotheriana*.

Unos 300 metros más arriba del mismo arroyo hay terrazas con barrancas descubiertas formadas de arenisca y loess arenoso que contienen muchos mamíferos fósiles. En este paraje encontré dientes de *Homalodon*, *Astrapotherium* y de *Nesodon*; son géneros que abundan en la formación de las tobas patagónicas. Mezclados con ellos hallé un cráneo completo de un *Theosodon* y trozos de mandíbulas de *Protypotherium*, que aparecen tanto en los estratos de Santa Cruz como en los de Entre Ríos, y del mismo yacimiento saqué un trozo de maxilar de *Toxodontherium* y la parte posterior de un cráneo de un género de *Scelidotherium* casi del tamaño de la especie *leptocephalum*, géneros que hasta ahora no han sido encontrados en la formación de las tobas patagónicas.

No cabe duda que estos depósitos conservan restos de mamíferos que forman la transición entre la fauna patagonense y la entrerriense, y que corresponden al horizonte inferior de la formación de las areniscas patagónicas.

Ameghino ha creado sobre esta fauna un piso llamándolo *friasense* (*friaseen*) y lo colocó en la formación magallánica «magellaniense», cuya relación estratigráfica nunca la ha definido bien.

En el río Frías no he podido establecer con seguridad si las capas *friasenses* están depositadas sobre las tobas patagónicas, porque la falda de la montaña se halla en esta parte cubierta de sedimentos sueltos o de montes. Pero en el río Corcovado, cerca de donde se junta con el río

¹ En la Patagonia he podido constatar dos períodos glaciales, uno tal vez del terciario superior, cuyo material es cementado, y otro cuaternario formado por materiales sueltos.

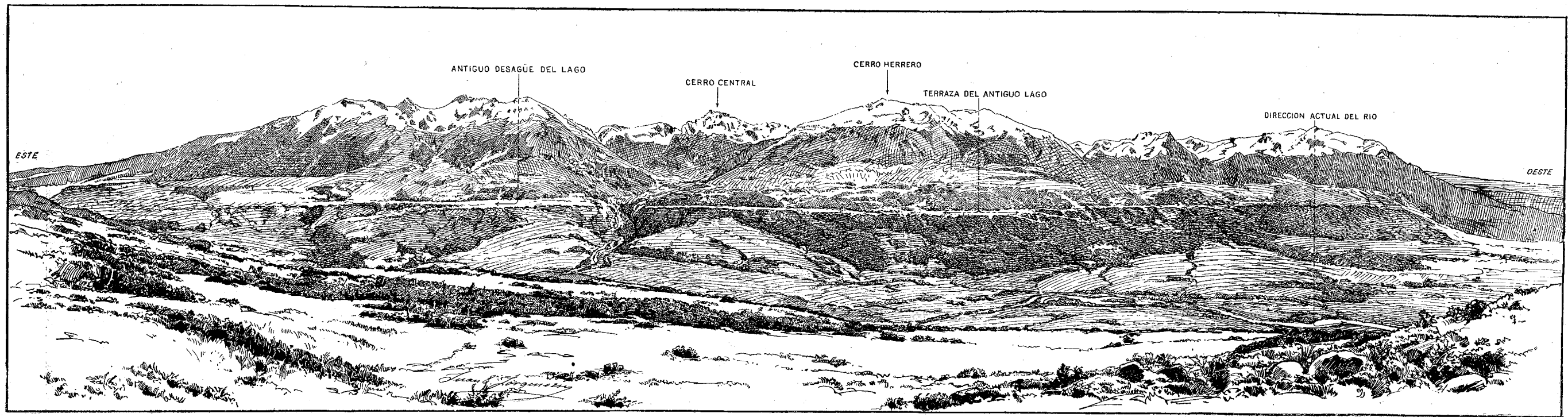
Huemules, hay depósitos de la formación de las tobas patagónicas, y siguiendo este último río, encontré, depositadas sobre ellas, capas que indudablemente corresponden al horizonte *friasense*. En estas areniscas he coleccionado muchos fragmentos de huesos de mamíferos, entre ellos hay placas de una coraza de *Peltephilus*, género que no se encuentra en capas entrerrianas y trozos de mandíbulas de *Prothypotherium* y *Pachyrucos*, que se hallan tanto en la toba patagónica como en los estratos entrerrianos y el loess eopampeano. En el mismo yacimiento encontré dos trozos de mandíbulas y fragmentos de dientes de un género de la familia *Megatheriidae* de tamaño mediano, probablemente del género *Pro-megatherium*, que se encuentra en los depósitos entrerrianos y en el loess eopampeano, pero no en las capas de la toba patagónica.

En la pampa grande donde nacen el río Huemules, que corre al Pacífico, y el río Tecka, que corre al Atlántico, afloran en muchas partes depósitos de la formación de las areniscas rojas. Esta región es muy interesante, porque se ve aquí cómo las rocas graníticas han atravesado las areniscas rojas y las tobas patagónicas.

Más al sur, en los nacimientos del río Mayo, los depósitos de la formación de las areniscas patagónicas corresponden a un horizonte más reciente. Estas capas, que se hallan en posición normal, se componen de una arenisca gris azulada y contienen muchos mamíferos fósiles; entre los restos recogidos en esta región hasta el lago Blanco hay muchos que se encuentran en los estratos entrerrianos y en el loess eopampeano, pero ninguno característico de la toba patagónica.

En la región tabular y en el litoral de la Patagonia la formación de las areniscas patagónicas es, como ya he manifestado, menos desarrollada que en la región de la cordillera. No he visto en parte alguna de los parajes explorados por mí grandes complejos de estratos límnicos, como los mencionados. La formación está representada principalmente por areniscas fluviales o eólicas; muchas de ellas están reemplazadas por conglomerados poco cimentados, que se pueden confundir fácilmente con los rodados fluvioglaciales. En el valle inferior del río Chubut hay depósitos de estos conglomerados que, en algunas partes, se hallan sobre las tobas de transición y, en otras, sobre capas marinas patagónicas, pasando gradualmente a los rodados fluvioglaciales, de manera que no es posible fijar un límite entre unos y otros.

En Puerto Madryn hay, encima de la toba patagónica de facies marina, un complejo de capas de areniscas de considerable espesor en que abundan los troncos de madera petrificada. En un lugar he visto intercalado en ellos un banco de conglomerado que contiene muchos fósiles marinos, especialmente la *Ostrea patagonica*, tan abundante en los estratos marinos de Entre Ríos. Para mí no hay duda que este banco corresponde a la transgresión entrerriense y no a la patagioniense. También



Paisaje en el río Carren-lenfá, demostrando el fondo de un antiguo lago que desaguaba antes hacia el Atlántico (Según fotografía de S. Roth.)

Carlos Ameghino ha encontrado más al sur, en el cañadón de Santa Rosa, los mismos conglomerados con fósiles marinos, y los consideró correspondientes a los rodados tehuelches, nombre creado por Doering para los depósitos fluvioglaciales. Aquél sostiene que no se diferencian en nada de éstos y que los ha visto arriba de las mesetas. Por esta razón su hermano, Florentino Ameghino, suponía que el tiempo glacial en la Patagonia comenzó en el mioceno, lo que es un gran error. En la cordillera no he visto, en capas con plantas fósiles del mioceno, algo parecido a morenas. Los más antiguos depósitos glaciales los he visto en el valle superior del río Deseado, antes de llegar al lago Buenos Aires, y éstos a lo sumo pueden ser del plioceno superior.

La barranca del río Negro está formada, desde la costa atlántica hasta cerca de Chichinal, por areniscas, y encima de ellas recién se hallan los rodados tehuelches. En el valle inferior las areniscas se encuentran directamente sobre capas marinas con la misma *Ostrea patagonica* que contienen los conglomerados en cuestión. Estas son las capas de areniscas que Doering ha designado con el nombre de formación araucana y que Ameghino llamó más tarde piso rionegrense, tomando por araucano típico las areniscas del valle de Santa María, en Catamarca. Estas últimas son seguramente más antiguas.

Me llamó mucho la atención que, desde el Meridiano V, que forma el límite de la provincia de Buenos Aires, hasta cerca de Chichinal, en una extensión de unos 500 kilómetros, no aflore otra formación más antigua. En algunas localidades la arenisca está transformada en loess más o menos puro. El doctor Witte la ha estudiado en el partido de Patagones y la considera de origen eólico equivalente en edad al loess mesopampeano.

El geólogo Bailey Willis, que la ha visto en el río Colorado, la considera también como equivalente en la edad al loess pampeano, pero de origen fluvial. No hay duda que en estas regiones están representadas las dos facies, la fluvial y la eólica. En el río Negro se observan con frecuencia, intercalados en la arenisca, estratos de piedra pómez rodados que seguramente no han sido llevados por los vientos; éstos abundan más en la parte superior del valle que en la parte inferior.

Otra circunstancia que me llamó también la atención es que no he encontrado depósitos de las areniscas patagónicas en ninguna parte en las barrancas del río Limay hasta dar con el río Collón-Cura, donde están otra vez muy desarrolladas y descansan directamente sobre la toba patagónica, que contiene mamíferos fósiles característicos de esta formación. En esta región están reemplazadas frecuentemente por conglomerados. En ninguna de las regiones que yo he visitado en la Patagonia he encontrado, encima de las capas de la formación de las areniscas patagónicas, otra clase de depósitos que rodados fluvioglaciales o morenas; por lo

tanto, el horizonte superior no puede ser más antiguo que el plioceno. Las areniscas en las barrancas del río Negro forman seguramente el horizonte más reciente de la formación de las areniscas patagónicas y, por lo tanto, no pueden ser miocenas, como suponía Ameghino.

He dividido esta formación en cuatro horizontes o pisos¹: el inferior llamé « piso friasense », que contiene los mencionados restos de mamíferos que forman la transición entre la fauna patagónica y la entrerriana. Las capas que contienen las plantas fósiles que el doctor Kurtz declaró miocenas, las he designado « piso nahuel-huapiense ».

Las mencionadas capas de arenisca gris azulada, que se hallan en las nacientes del río Mayo y en la región del lago Blanco, y que contienen restos de mamíferos parecidos a los del piso eopampeano y entrerriano, las he incluido antes en el « piso rosanense » creado por Ameghino para los estratos marinos que se hallan en el cañadón de Santa Rosa, al sur de San Julián. Pero como la posición estratigráfica de estas capas marinas no está bien aclarada (probablemente corresponden a la transgresión entrerriana), considero conveniente separar la facie terrestre de la marina, y propongo, para la primera, la denominación « piso mayoense » por encontrarse bien desarrollado en las nacientes del río Mayo.

Para las capas de areniscas que se hallan en el río Negro sobre los estratos marinos y que forman el horizonte superior de esta formación, he conservado el nombre « piso rionegrense » creado por Ameghino.

Debo hacer presente que esta división de pisos se relaciona únicamente con la formación de las areniscas patagónicas. Como Ameghino, en sus divisiones cronológicas de las formaciones sedimentarias, no ha observado las reglas usuales en la geología, se ha generalizado aquí mucho la idea que cada término de piso expresa un tiempo geológico distinto, y por esto hago esta prevención. Está establecido que los términos de pisos, en las divisiones estratigráficas, tienen solamente un valor regional y que un piso de una localidad puede ser sincrónico con uno de otra región designado con distinto nombre.

En la provincia de Buenos Aires los depósitos de las cuatro formaciones, que acabo de mencionar, están cubiertos por capas más recientes o reemplazadas por loess pampeano; solamente en la región entre el río Colorado y el río Negro se encuentran a descubierto las areniscas del piso rionegrense y estratos marinos de la transgresión entrerriana.

He tratado ligeramente estas formaciones poco conocidas porque considero indispensable que se las conozca para poder darse cuenta de la correlación estratigráfica del subsuelo de la llanura pampeana.

¹ *Beitrag zur Gliederung der Sedimentablagerungen in Patagonien und der Pampasregion. Neues Jahrbuch für Miner, etc., Beilageband XXVI, 1908.*

VI

La formación del loess pampeano

En la provincia de Buenos Aires esta formación tiene mucha más importancia que las anteriores descritas y por esto la trato más detenidamente.

Fué también D'Orbigny el primero que la ha estudiado. Él la llamó arcilla pampeana (*argil pampéenne*). Darwin, que se ocupó de ella con mucha atención, la llama « légamo pampeano » (*pampean mud*). Burmeister la designó como D'Orbigny « arcilla pampeana » (*Pampasthon*) y Ameghino la llamó « limo pampeano ».

Estas denominaciones no responden a la verdadera naturaleza del terreno pampeano. En primer lugar, la arcilla, como el limo, son sedimentos impermeables, mientras que el loess es un buen conductor de agua, motivo suficiente para no confundir estos nombres cuando se trata de estudios prácticos. Por su composición litológica, estructura y permeabilidad presentan las condiciones del sedimento llamado loess.

En la Dirección general de minas, geología e hidrología de la Nación se ha adoptado, en los perfiles geológicos, la misma señal para la arcilla y el loess, lo que considero no admisible por motivos prácticos, pues mientras que en el loess pasan mil litros de agua, en la arcilla, bajo las mismas condiciones y en el mismo tiempo, no pasa ni medio litro.

Cuando se trata de estudios de las aguas subterráneas es de suma importancia conocer las condiciones físicas de las capas del subsuelo, ante todo, si se compone de sedimentos impermeables o de permeables, de manera que se debe hacer una distinción entre la arcilla y el loes.

A todos los geólogos que practicaron estudios en nuestro territorio, les ha llamado la atención la enorme masa de sedimentos finos de estructura y de color tan uniforme que cubren no solamente las llanuras de la provincia de Buenos Aires, sino que se encuentran también en las cordilleras y todos han tratado de explicar su origen. En el deseo de evitar en lo posible toda polémica, en el presente trabajo me ocuparé sólo de los puntos más importantes para dar una idea de la naturaleza de estos depósitos tan singulares. Tengo en preparación una obra, en que someto a un análisis crítico lo que se ha escrito sobre el origen y la edad de la formación pampeana.

El loess se considera, generalmente, como una masa homogénea de polvo terroso, depositado sueltamente por los vientos, compuesto de arcilla y arena fina, más o menos calcárea y se lo coloca con las rocas arcillosas (*Pelitas*).

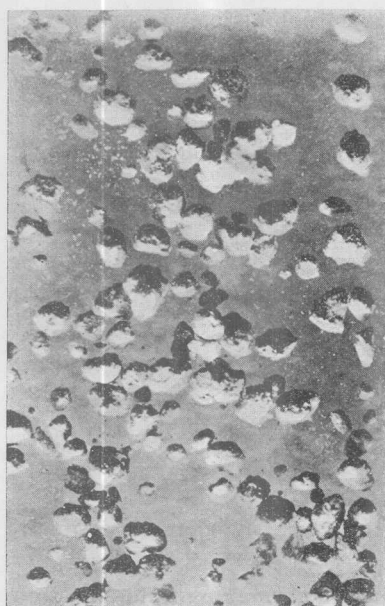
Archibaldo Geikie en su tratado de geología ¹ define el loess en la forma siguiente :

« Con el nombre de « loess » se designan unos depósitos notables de arcilla homogénea no estratificada y de singular uniformidad, que se descubrieron primeramente en el valle del Rhin y luego se han hallado cubriendo vastas extensiones en el antiguo y nuevo mundo. Contiene algunos granos de cuarzo y hojuelas de mica y encierra muchos moluscos terrestres (escasos acuáticos y ninguno marino). Tales depósitos se han hallado en sitios elevados, a 5000 pies en los Cárpatos y 8000 en el norte de China, donde Richthofen le reconoció un espesor de 1500 a 2000 pies, como ocurre también en ciertas comarcas áridas de la América del Norte. Después de emitirse diversas hipótesis sobre el origen de tan singulares formaciones, parece la única explicación satisfactoria la de que sean producidas por el transporte aéreo en estado de polvo sumamente tenue y acumuladas y fijadas después por la vegetación o sea lo que se llama un origen eólico. »

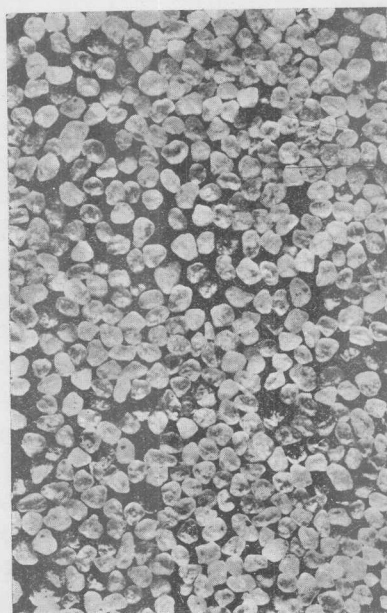
Esta definición como casi todas las publicadas en los tratados de geología es muy insuficiente y no responde ni a la naturaleza del loess en general y ni mucho menos a la de la formación pampeana. El loess, no solamente por su origen sino por su carácter físico en general, difiere mucho de todos los otros sedimentos que forman el grupo arcilloso. La arcilla pura es un silicato hidratado de aluminio, producto de la descomposición de rocas feldespáticas, pero en estado puro se encuentra raramente en la naturaleza. Lo que se entiende usualmente por arcilla es silicato hidratado de aluminio, mezclado con otras sustancias, sobre todo con productos de materias orgánicas, óxido de hierro, magnesio, etc., y minerales no descompuestos. La arcilla que contiene cierta cantidad de cal es amarga y si contiene arena fina es limo, pero de ninguna manera es loess, que presenta condiciones físicas muy distintas. Los verdaderos sedimentos arcillosos contienen una gran cantidad de minerales en estado coloidal que en la humedad se hinchan y forman una masa impermeable. En el loess no es así.

En los análisis mecánicos del loess por tamaño de las partículas, se consideran los granos de tamaño menor de $0^{mm}05$ como partes arcillosas y las de tamaño mayor de $0^{mm}05$ como partes arenosas; en la práctica, empero, la parte del loess tomada como arcillosa no es impermeable. Separando de las partes señaladas como arcillosas las partículas de tamaño menor de $0^{mm}01$, dejan filtrar el agua, mientras que el limo compuesto de iguales partes de arena y arcilla es impermeable, porque la arena está envuelta en sustancias coloidales. Esto demuestra que la

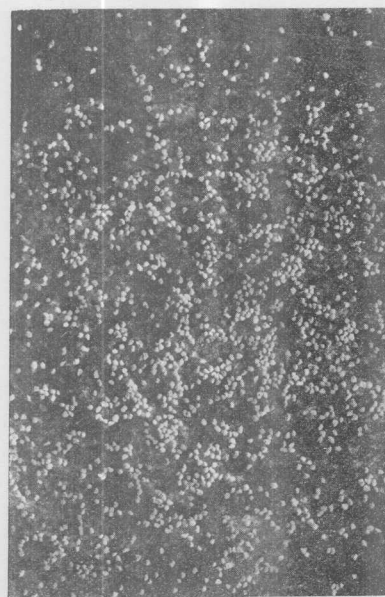
¹ *Geología*, por Archibaldo Geikie, traducción, extracto y anotaciones con datos españoles por don Salvador Calderón, Barcelona, 1895.



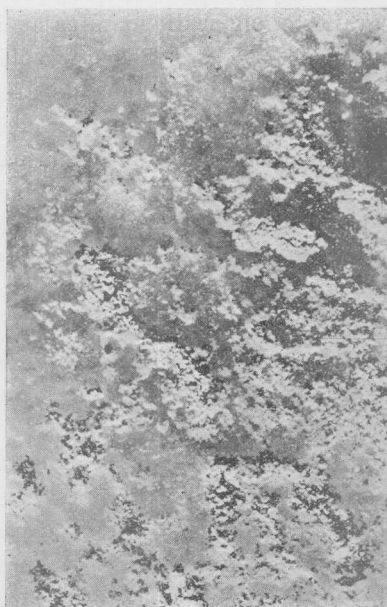
b



d



a



c

Fig. 4. — Loess granulado : *a*, tamaño natural ; *b*, ampliado diez veces ; *c*, triturado con la uña y ampliado diez veces ; *d*, arena cuarzosa ampliada cuatro veces

parte más fina del loess contiene pocos minerales en forma de coloides. Mientras la arcilla en el agua se ablanda, formando una masa plástica y en estado seco se raja porque las substancias coloidales se encogen, el loess en estado húmedo y seco no se altera, conserva su consistencia y no se raja. La permeabilidad del terreno no depende únicamente de la clase de minerales de que se compone, sino del estado en que se encuentra y sobre todo de la estructura de la masa. Dos muestras de tierras pueden dar en los análisis químicos un resultado muy parecido, y sin embargo, el poder de filtración de agua puede ser muy distinto.

La gran permeabilidad del loess es, sin duda, debido a su estructura particular, muy distinta de los demás elementos arcillosos.

El loess presenta una estructura migajosa; la masa está formada, en gran parte, por una acumulación de granos irregulares de diámetros distintos. No se trata de granos de arena de rocas trituradas; con el microscopio se ve que ésta se compone de partículas finísimas de distintos minerales, muy ligadas unas con otras, pero no cementadas; se pueden triturar con la uña. En los horizontes inferiores de la formación pampeana se encuentran capas de considerable espesor, compuestas de loess granulado, que tienen el aspecto de depósitos de arena (véase fig. 4). Estos congregados de polvo fino, consolidados en forma de grano, construyen la masa fundamental; los granos de arena de rocas sólidas son de menos importancia y su cantidad cambia mucho, según la localidad. Los granos o, mejor dicho, migajas de loess son de tamaño muy distinto; algunos son tan pequeños que sólo se distinguen con el lente de aumento; otros son del tamaño de arena gruesa y no se disuelven por sí solos en el agua, a pesar que se pueden pulverizar con los dedos. Debido a estas circunstancias el loess forma una masa porosa que deja filtrar el agua. Además de los poros y capilares, los depósitos de loess pampeano presentan una estructura muy cavernosa y están atravesados en todas las direcciones por canalitos de distintos diámetros que provienen probablemente de raíces de plantas descompuestas o de gusanos (véase figs. 5, 6 y 7).

Esta estructura es uno de los caracteres distintivos del loess y que está relacionada con su origen, lo que no se observa en los otros sedimentos arcillosos.

Si el loess se compusiera de arcilla y arena, como siempre se afirma, los poros, canalitos y cavernitas estarían rellenos con materias coloidales, mientras que en el terreno pampeano están abiertas tanto en las capas más recientes, como en las más antiguas; en ciertas profundidades están saturadas constantemente de agua. No cabe la menor duda que esta estructura particular es debida a la escasez de minerales en estado coloidal.

Se entiende que en los depósitos del loess pampeano se observa toda



Fig. 5. — Estructura de loess del horizonte mesopampeano como se presenta en su estado natural en la barranca lavada por el mar
($\frac{1}{2}$ tamaño natural)

clase de transiciones, como es el caso en otras rocas sedimentarias. Cuando se trata de estudios de las aguas subterráneas, es necesario tomar en cuenta estas circunstancias.

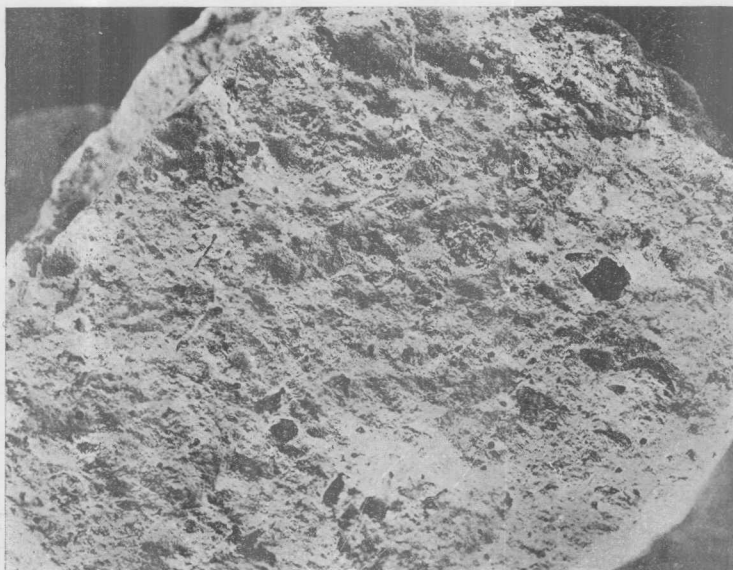
Sería un grande error creer que el loes pampeano forma una masa de polvo fino de minerales acumulados sueltamente. Si bien es cierto que los depósitos de loess, que se hallan en el valle superior del Rhin, considerados como típicos, son poco consistentes, éste no es un carácter general. Yo he estudiado estos depósitos y de ninguna manera se puede



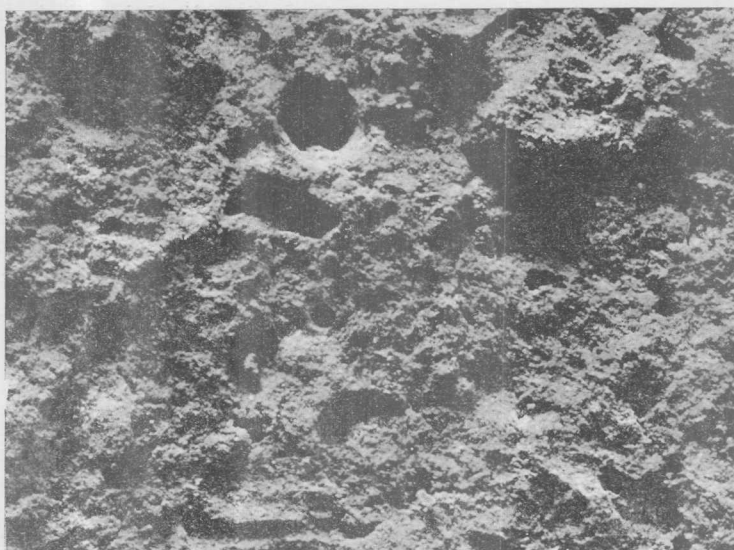
Fig. 6. — Estructura de loess del horizonte neopampeano de fractura fresca
tamaño natural

considerarlos típicos, porque se trata de loess muy impuro, como por ejemplo el de Córdoba.

Solamente las capas más recientes forman una acumulación de materiales sueltos, como en todos los otros sedimentos; la masa es tanto más consistente cuanto más antigua es. En la llanura pampeana tenemos depósitos de loess que presentan el aspecto de peñas; no se trata únicamente de bancos de toscas, si no de loess casi libre de cal. El fondo del río de la Plata está formado por loess del horizonte mesopampeano, que se diferencia del neopampeano por su mayor consistencia. Antes de existir el puerto de Buenos Aires, los carros entraban al agua, para des-



a



b

Fig. 7 — Estructura del loess del horizonte neopampeano de fractura fresca :
a, tamaño natural; *b*, ampliado tres veces y media

cargar las lanchas. El tránsito era enorme y los carros cargados pasaban sobre el piso de loess como sobre empedrado y nunca se formaron pantanos (véase figs. 8 y 9, que representan loess de aspecto de peñas).

En los horizontes inferiores se pueden construir galerías sin la necesidad de calzarlas. En la provincia de Entre Ríos he visto loess de edad cretácea, que se utiliza para construcciones.

Parece que el loess de la China presenta análogas condiciones, puesto que hay ciudades cavadas en las barrancas y millares de gentes viven en una especie de cavernas. La friabilidad es solamente un carácter del loess más moderno, pero como se ha descrito por primera vez el del valle del Rhin, que es poco consistente por ser del tiempo diluvial, se ha tomado la friabilidad por un carácter general.

En cuanto a la composición mineralógica, no es posible hacer una definición terminante en forma general, porque ésta varía mucho no solamente de una localidad a otra, sino también de un horizonte a otro en un mismo punto.

Como regla general se puede decir que cuanto más puro es el loess, tanto mayor es la cantidad de minerales zeolíticos que contiene. Estos minerales, que forman la masa principal, se encuentran tanto en las partes gruesas consideradas arena, como en las partes finas consideradas como arcilla, estando en estas últimas en proporción mayor. La separación de las zeolitas de los otros minerales por medio del análisis mecánico es muy difícil, pero se distinguen fácilmente tratándolos con colorantes. Las zeolitas del loess pampeano tienen un gran poder de absorción; mezclando una cantidad de loess con una solución acuosa de colorante queda este absorbido y en poco tiempo el agua se vuelve clara. Las materias colorantes forman con los silicatos de las zeolitas una combinación química insoluble en el agua. Hay loess que contiene tantos minerales zeolíticos, que toda la masa parece teñida. Es cierto que las arcillas presentan condiciones análogas, pero el poder de absorción colorativa es mucho menor; además las zeolitas del loess se distinguen de la arcilla pura (caolín) por la facilidad con que se descomponen en ácido clorhídrico.

Los minerales zeolíticos del loess pampeano han sido aún poco estudiados, pero presentan, en todo sentido, análogas condiciones con las que abundan en la tierra vegetal (Ackerboden), y no cabe duda que, en gran parte, son productos de la descomposición complicada de los sedimentos, después de ser depositados. En el loess pampeano se observan con el microscopio gran cantidad de laminitas y astillas transparentes, que algunos autores consideran sean células silicosas de plantas, lo que es muy probable, si se toma en cuenta que la vegetación es uno de los agentes más eficaces para la descomposición de las rocas.

Otros productos de origen secundario son las toscas, que se compo-

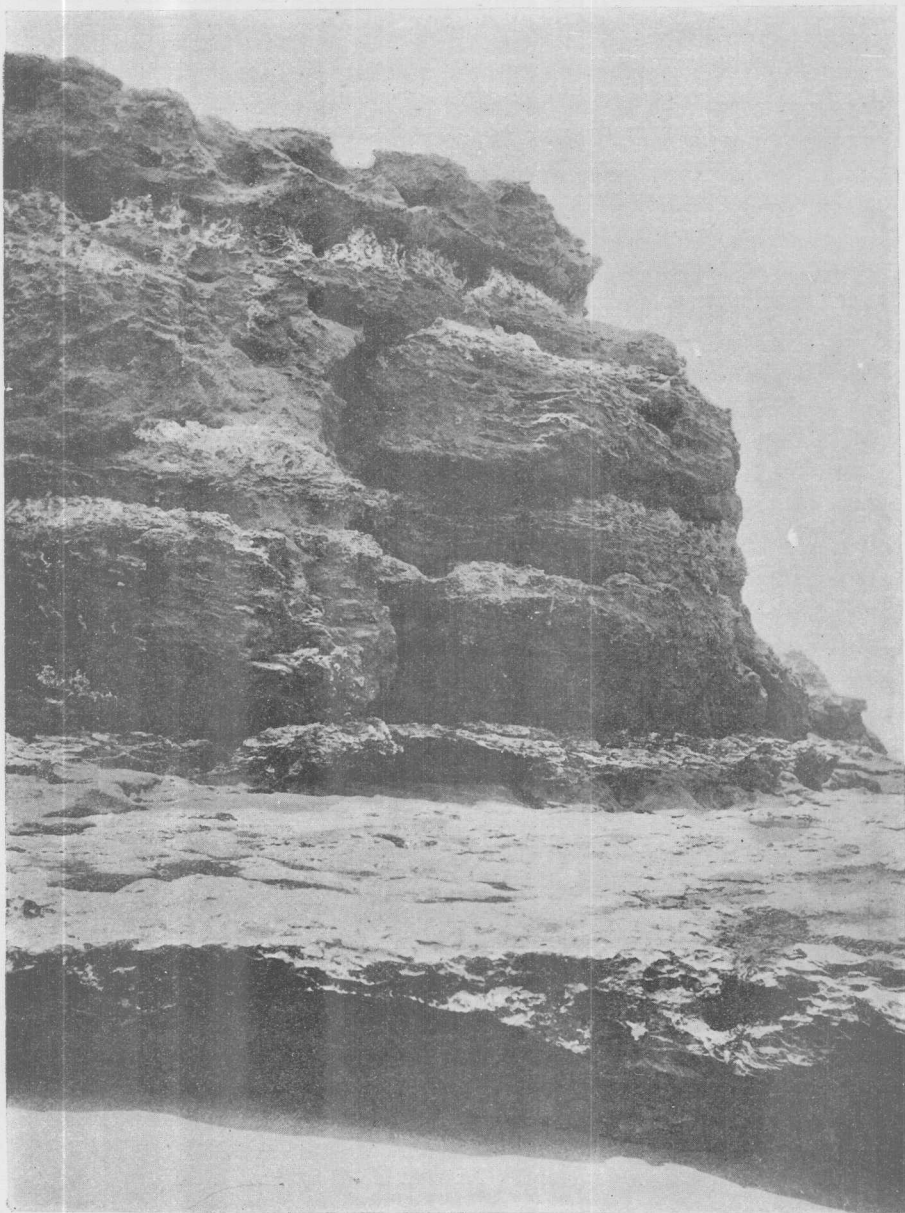


Fig. 8. — Depósitos de loess mesopampeano que presenta el aspecto de peñas
Vista tomada en la costa al sur de Miramar

nen de concreciones calcáreas que forman, principalmente en los horizontes pampeanos inferiores, bancos de considerables dimensiones. También los cristales de yeso y los granos de manganeso que se presentan en forma de concreciones, como los granos de hierro que en el loess típico se encuentran en proporción bastante considerable, son productos secundarios. Los últimos se distinguen de los granos de hierro magnético contenidos en la arena, por estar ligados con polvo de loess.

Como materiales primarios, es decir, materiales que no han sufrido alteraciones, sino que han sido depositados en el estado como se encuentran actualmente en el loess pampeano, hay que mencionar en primer lugar la arena de cuarzo y de rocas calcedónicas y sobre todo vidrios volcánicos. En algunas localidades abundan laminillas de mica, minerales de feldespatos, piroxeno, hornblenda, zircón, así como pequeños fragmentos de diversas clases de rocas, pero la presencia de estos materiales varía según la procedencia de los sedimentos. En el loess de Córdoba, por ejemplo, se observa entre el material no transformado gran cantidad de mica y otros productos de rocas cristalinas, y en el de Entre Ríos predominan los granos de arena de rocas calcedónicas. En las barrancas de la costa en Miramar el loess del horizonte superior se compone, en gran parte, de arena fina y polvo de conchillas, mientras que en el de los horizontes inferiores de la misma localidad, abundan materiales de erupciones volcánicas.

Vidrios volcánicos nunca faltan en las muestras de loess pampeano; en general son más abundantes en los horizontes inferiores que en los superiores y se ha afirmado que hay loess que los contiene hasta en un 90 por ciento; en tal caso no se trataría de loess sino de tobas. Efectivamente, se ven a veces pequeños estratos de ceniza volcánica en los depósitos de loess, y existen también capas de los llamados depósitos lacustres que presentan el aspecto de tobas; se trata, empero, de interposiciones de poca importancia y de naturaleza completamente distinta del loess típico.

En la formación de la toba patagónica se observan a veces capas de loess muy puro, y suelen encontrarse también en otras formaciones del terciario inferior, así como en la arenisca roja cretácica.

En Entre Ríos y en perforaciones hechas en la provincia de Buenos Aires he encontrado capas de loess típico de considerable espesor en medio de las areniscas rojas. Ya Darwin había hecho las mismas observaciones en el territorio de la República Oriental del Uruguay. Todo esto demuestra que el origen del loess no depende de la clase de sedimentos ni del tiempo, ni de la manera como han sido depositados, sino *del proceso de la transformación del material*.

El doctor Federico Bade ha practicado investigaciones petroquímicas del loess pampeano, y su informe que se publica a continuación, con-

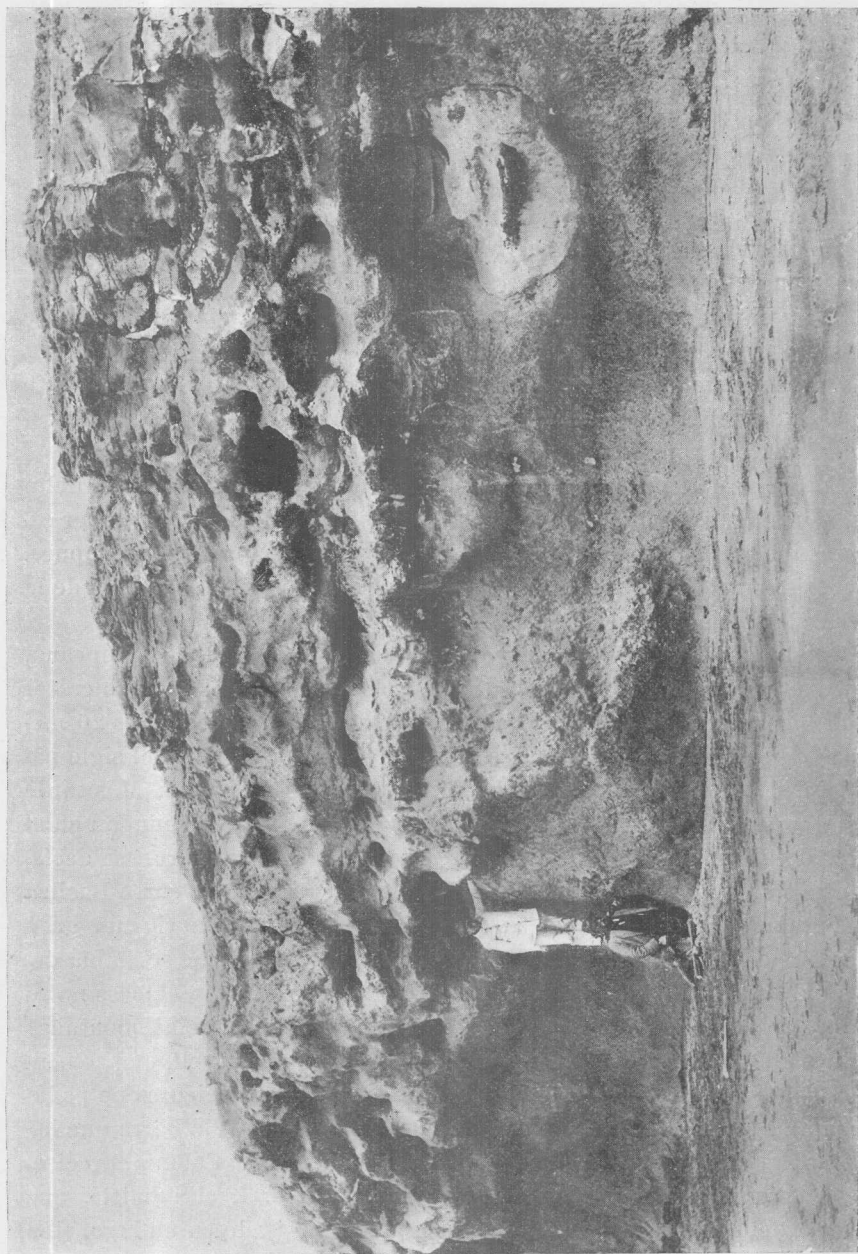


Fig. 9. — Vista de la barranca en la costa de Miramar, en que se ve el efecto de erosión de los vientos

tiene un resumen de los resultados obtenidos hasta ahora. De él se puede ver que la masa fundamental del loess se compone de productos de la descomposición de los sedimentos de cualquiera procedencia.

Una particularidad del loess es su color pardo; el tinte puede variar algo, puede ser más claro o más obscuro, amarillento o algo rosado, pero el color fundamental es pardo en toda región de la tierra, donde se encuentran estos depósitos, lo que seguramente está relacionado con su origen.

Esta uniformidad de color no se presenta en ninguna otra clase de sedimentos; hay, por ejemplo, también arcillas y limo pardos, pero tan frecuentes son los de otros colores verde, azul, etc., lo que no se observa jamás en el loess típico.

Sobre el origen del loess se ha escrito mucho y todavía hoy se discute este problema.

Durante mucho tiempo sólo se conocía en la geología el loess existente en el valle del Rhin, y se decía que este sedimento se depositaba únicamente en los grandes valles, lo que, por cierto, no es el caso.

En lugares expuestos a inundaciones, como, por ejemplo, en el delta del Paraná, no se forma loess sino arcilla, limo o arena; puede haber estratos insignificantes de loess, pero en este caso siempre es muy impuro. Depósitos de alguna consideración, como existen en las barrancas de la tierra firme, no se observan en las islas del Paraná.

En el valle del Rhin se encuentran, como en la llanura pampeana, frecuentemente, materiales de origen volcánico. En un antiguo cráter volcánico, cerca de Bonn, al cavar un pozo, hallaron hasta los 20 metros de profundidad loess, y algunos geólogos, a principios del siglo pasado, dedujeron de este hecho que fuese de origen volcánico. Más tarde esta teoría fué muy combatida, y como en algunas partes abundan en el loess del Rhin caracoles de agua dulce y restos de mamíferos, se decía, que se trataba de una formación lacustre. Se suponía que entre Basilea y Maguncia (Mainz) hubiese existido en tiempos cuaternarios un gran lago que se bifurcaba a los valles laterales y fué en el que se había depositado esta enorme masa de material tan uniforme. Pero el loess no se halla solamente en el valle sino también en las faldas de las montañas a unos 400 metros de altura. El gran geólogo inglés Lyell, que se ocupó mucho del problema, demostró que en tiempos tan recientes no podía haber habido un lago tan grande en estos parajes, pues la barra que los separaba del mar tenía que encontrarse más abajo de Colonia, precisamente en una región donde no hay montañas altas. Lyell admitió, que el loess debe ser de origen fluvial, pero no depositado en un lago, sino por inundaciones periódicas. Para explicar la existencia del loess en las faldas de las montañas donde no podían llegar las inundaciones, decía que forzosamente había que admitir hundimientos y levantamientos locales del terreno.

Después de largas discusiones se llegó a la conclusión que el material del loess del Rhin provenía de los glaciares y que había sido depositado por los vientos. Se afirmaba que éste se distinguía del de la arcilla por componerse de polvo fino de rocas trituradas mecánicamente y no de la descomposición química de las rocas feldespáticas como esta última. Basado en esta afirmación *errónea* se decía que el polvo más fino de las morenas terminales, una vez seco, fué llevado por los vientos y depositado en los valles como en las faldas de las montañas.

Es muy probable que una parte del material primario del loess del Rhin provenga de los enormes ventisqueros que cubrieron en el tiempo glacial gran parte de Europa, pero en tal caso ha sufrido las mismas transformaciones que el loess existente en la llanura pampeana.

No obstante estas circunstancias, se ha querido aplicar la teoría glacial para el origen del loess en general y se sostenía que todos estos depósitos tienen que ser de edad cuaternaria.

Una teoría, que cuenta hoy con muchos partidarios, es la que fundó von Richthofen, llamada « eólica », la que mucho antes de él ya había aplicado Bravard para el origen del loess pampeano.

Von Richthofen ha estudiado muy detenidamente los enormes depósitos de loess que existen en el norte de China y se convenció que este material podía haber sido depositado únicamente por los vientos. De aquí la denominación « teoría eólica ». Él combatió la idea de que el material procedía de morenas, y dijo : « Si el material proviniera de glaciares o de los hielos continentales y polares ¿dónde están estos depósitos que podrían suministrar semejante masa de polvo fino? » Él supuso que este material tuviese el mismo origen que la arena en los desiertos de la Asia central, que es producto de la descomposición de las rocas de las sierras y que los vientos hubiesen dejado la arena en las regiones desprovistas de vegetación, habiendo llevado el polvo fino a mayores distancias.

Antes que Richthofen practicara sus estudios, Pumpelly supuso que el loess en China se hubiera depositado en grandes lagos. Más tarde cambió de opinión y admitió la teoría eólica, pero conjeturó que una parte del material proviniera de glaciares y otra parte de la descomposición de las rocas de las sierras. Dijo que las rocas feldespáticas de gneiss y granito, por ejemplo, habían sido descompuestas hasta cientos de metros de profundidad y si asomaban estas rocas en la superficie era porque el detritus había sido llevado por la erosión. El material grueso quedó en la orilla de la estepa mientras que la arena fué llevada en forma de médanos y el polvo fino levantado por los vientos a grandes alturas y depositado en forma de loess.

Bailey Willis, que también practicó estudios en China, encuentra muy acertada la opinión de Pumpelly en su fondo, pero no en sus de-

talles; él entra en largas explicaciones, demostrando que el loess de China debe su origen a grandes cambios climatológicos, origen que atribuye también al de la Pampa. De esto me ocuparé cuando trate de nuestra región.

Todos los autores mencionados suponían que los sedimentos habían sido transformados en loess antes de haber sido transportados; esto no es cierto, a lo menos, no está en armonía con los fenómenos que se observan en la formación pampeana, como demostraré más adelante.

Llama la atención que mientras el loess de China y la teoría del origen eólico se encuentran citados en casi todos los tratados de geología el de la llanura pampeana, que es más importante, casi nunca se cita a pesar de las publicaciones de D'Orbigny, Darwin, Burmeister, Bravard, Ameghino, etc.

Recién a fines del siglo pasado, debido a descubrimientos de restos humanos en los depósitos del loess pampeano, se despertó el interés de los sabios extranjeros.

Para establecer si todo el loess pampeano es de edad cuaternaria o si existen depósitos terciarios, vinieron algunos geólogos para practicar investigaciones. Es de lamentar que ellos no hayan hecho estudios detenidos de esta formación y que hayan publicado sus opiniones sin conocerla a fondo, difundiendo ideas completamente erróneas, tanto respecto de su origen, como de su edad geológica.

Es muy natural que a un observador, como era D'Orbigny, tenía que llamarle la atención la admirable homogeneidad de la composición y del color que presenta el loess pampeano, que cubre tan extensa zona, así como los restos de mamíferos gigantescos que se encuentran en él. Partidario de la escuela de Cuvier, de la teoría de cataclismos y repetidas creaciones, dijo que estos grandes animales habían perecido evidentemente antes de la actual creación.

En la creencia que las cordilleras se hubiesen levantado repentinamente, supuso que forzosamente tenían que haberse producido grandes perturbaciones en la tierra, porque de otra manera no se podría explicar el aniquilamiento simultáneo de los grandes animales y la acumulación de tanta arcilla pampeana.

Él decía que estos mamíferos pertenecían a géneros que habían vivido en zonas de clima tropical, que habían sido arrastrados por las aguas a la cuenca pampeana y que las violentas corrientes habían formado una sola mezcla, depositándose de esta manera una masa porosa de un color uniforme rojizo sin estratificación bien visible.

Si bien la idea que los sedimentos pampeanos se hayan formado a causa de una gran catástrofe, ha sido muy combatida, el trabajo de D'Orbigny no ha dejado de tener influencia en la explicación del origen del loess. Todavía hay hoy geólogos que sostienen que la uniformidad

del material, de la textura y del color que se observa en todas partes donde existen estos depósitos, no se pueden explicar por la acción de los vientos y forzosamente hay que admitir que se hayan formado debajo del agua.

Darwin encontró conchas marinas mezcladas con huesos de mamíferos en el loess pampeano y dedujo de este hecho que la formación se había depositado en estuarios. Él supuso que en el tiempo que se depositó el loess pampeano existían en la provincia de Buenos Aires dos grandes estuarios, el del Río de la Plata y otro en Bahía Blanca.

La hipótesis de D'Orbigny y Darwin fueron muy combatidas por Bravard ¹. Con mucha razón él objetó que si se admitía que el loess pampeano hubiera sido depositado bajo el agua en antiguos estuarios era necesario reconocer también que el agua hubiese cubierto toda la superficie del terreno donde se encuentra. Éste se halla tanto en la cordillera a grandes alturas, como en toda la llanura y se pierde en la costa del Atlántico debajo de sus aguas.

Bravard se dedicó mucho a coleccionar fósiles en la provincia de Buenos Aires y dice que los mamíferos, cuyos restos se encuentran en el loess pampeano, han vivido en el mismo paraje donde están enterrados y que los esqueletos articulados demuestran bien claramente que no han sido arrastrados por las aguas. Él demuestra que los cadáveres han sido tapados de tierra por los vientos en la forma como se cubren actualmente en el campo. De sus observaciones hechas en el terreno llegó a las conclusiones siguientes :

1^a « La tosca con osamentos fósiles, que forma la base plana de las pampas y cubre los depósitos marinos del último período terciario en la Patagonia, en Entre Ríos y en el Brasil, no ha sido depositada por las aguas de un estuario;

2^a « Considerando las diferentes mesetas del terreno pampa, situadas a diferentes alturas, en el nivel uniforme que debían originariamente tener en la suposición de una formación submarina, es imposible encontrar, sea en las inmensas extensiones que ocupan, sea fuera de esta superficie, ninguna otra barrera a las aguas del océano Atlántico que las cadenas de las cordilleras; luego no se puede admitir la existencia de un estuario en una época geológica contemporánea a la formación de este terreno;

3^a « La tosca no ha sido formada, ni bajo las aguas del mar, ni bajo las de grandes lagos, porque no contiene ningún cuerpo organizado *marino o lacustre* (?) y en ningún punto de su inmensa extensión presenta en su espesor esas alteraciones de capa de arena, de guijarros y de cascajo, tan características de los aluviones de todas las edades en que se ve

¹ Registro estadístico del Estado de Buenos Aires, 1857.

siempre estereotipado, en cierto modo, el movimiento de las ondas que las han conducido;

4ª « Los cadáveres de los animales que poblaron en otro tiempo el vasto continente de la América y que se encuentran hoy en toda en su extensión enterrados a diferentes profundidades bajo la superficie del suelo, no han sido transportados de lejos, conducidos ni depositados por las aguas; porque todos los huesos de un mismo esqueleto se encuentran en conexión, o reunidos en grupo, y siempre bastante próximos los unos de los otros para no dar lugar a suponer que han sido batidos y removidos por las olas en el fondo del mar, de grandes lagos o de grandes ríos;

5ª « En fin, después de haber llamado la atención sobre el hecho tan remarcable de las impresiones de dípteros en la tosca en contacto con los esqueletos, y el no menos significativo de la frecuente reunión observada de los esqueletos por pares de la misma especie, terminaremos este parágrafo declarando que las causas hidrológicas son totalmente extrañas a los fenómenos de toda naturaleza que se han manifestado durante la formación pampa, ajenos también a las perturbaciones que la vida animal ha sufrido durante esta formación. »

Luego de estudiar detalladamente la formación de médanos, se convenció que los fenómenos que obran a nuestra vista bastan para explicar el origen de la formación pampeana.

Él opinó que el material proviene de los médanos de la costa y que ha sido dispersado por los vientos sobre la llanura pampeana y los valles y faldas de las montañas conjuntamente con la ceniza volcánica arrojada por los numerosos cráteres que existían antes en la cordillera y terminó su trabajo sosteniendo que la acumulación de los depósitos pampeanos es el resultado de causas atmosféricas y terrestres.

Como se ve, es Bravard quien ha implantado primeramente la teoría del origen eólico del loess, y no von Richthofen, pero como su trabajo ha sido publicado en el *Registro Estadístico* del Estado de Buenos Aires en 1857, el que tenía poca circulación en el mundo científico, ha quedado ignorado; seguramente von Richthofen no lo conocía, por eso dejó de mencionarlo.

Otro autor que trató de explicar el origen del loess pampeano es Burmeister. Como D'Orbigny y Darwin lo tomó por arcilla (Pampasthon) que, según él, corresponde al *diluvium* de los antiguos geólogos. Este sabio opinó que en su origen habían intervenido varias causas y dijo : « Es evidente que en una formación que cubre en un punto valles elevados hasta una altura de 12.000 pies, y en otro se presenta bajo el nivel del mar actual, no puede ser formada repentinamente por un cataclismo como ha creído D'Orbigny, quien deduce de la elevación súbita de las cordilleras el principio de la época geológica, que ha causado el depósito

de las pampas. Pero tampoco puede aceptarse la opinión de Darwin, que la formación diluviana de la República Argentina sea el depósito marino del gran estuario en la antigua boca del río de la Plata, cuando se observan en los puntos más remotos de nuestro suelo los mismos depósitos. »

Él combatió también la opinión de Bravard diciendo : « ¿ Cómo puede explicarse la formación de depósitos con conchas y cascajos por la acción de los vientos ? »

Burmeister dice : « ¿ Si la formación del depósito diluvial no es el resultado de un cataclismo, ni tampoco el depósito en un estuario, y de ningún modo, por último de un depósito exclusivamente atmosférico, cual es la verdadera causa de él, y qué fuerzas geológicas han acumulado tantas masas arenosas y arcillosas, que cubren hoy casi toda la superficie baja de la América del Sur hasta un espesor de 20 metros y más ? ¹ La contestación única, satisfactoria, a todos los fenómenos observados es que la acumulación de los terrenos diluvianos no es el producto de una causa sola. » Él participó de la opinión de D'Orbigny, que la época de la formación pampeana principió con una elevación de las cordilleras que ha causado una diferencia notable en el nivel del suelo argentino y dice : « Somos partidarios también de la opinión de Darwin, que inmediatamente después de la elevación del terreno más alto en los contornos de las cordilleras y serranías del interior de la república, se han conservado lagunas considerables de agua salada en los lugares más bajos. Pero no participamos de la opinión de los sabios, que el depósito pampeano sea un depósito marino. » Él cree que en estas lagunas y ensenadas los ríos y arroyos y principalmente las lluvias fuertes de avenidas hayan traído los depósitos diluvianos sucesivamente de las montañas vecinas, deponiéndolas en los valles elevados como en las llanuras.

Admite, por fin, la posibilidad de que animales gigantesco hayan caído muertos por circunstancias naturales en el suelo seco cerca de las ensenadas, y que se hayan conservado intactos por su tamaño colosal durante algún tiempo, hasta que una tormenta formidable como las que conocemos en nuestros días, los tapó con arena movediza, según lo explica Bravard. « Todos estos fenómenos, dice, son naturales y no es preciso recurrir a causas anormales y extravagantes para explicar la formación del suelo actual de la tierra. »

Se comprende que con esto Burmeister no puede explicar la sorprendente uniformidad que presentan los depósitos pampeanos y no hay necesidad de discutirlos. Si el material hubiera sido depositado en las lagunas, acarreado de las montañas por ríos y arroyos en época de grandes lluvias, se verían otros fenómenos, sobre todo presentarían estratifi-

¹ *Anales del Museo público de Buenos Aires*, tomo I, 1864 a 1869.

caciones; las capas de arena y guijarros alternarían con limo y arcilla, como en todos los aluviones, mientras que en la masa fundamental del loess pampeano no aparecen estratificaciones bien visibles.

Adolfo Doering trata estos depósitos bajo el punto de vista petroquímico. En un trabajo, publicado en el año 1874 ¹, él explica detenidamente el proceso químico de la descomposición de las rocas y me llama la atención que en este estudio no haya tomado en cuenta la acción de la vegetación que tanta participación tuvo en la formación del loess. En aquel tiempo él supuso que la gran uniformidad que demuestran los depósitos pampeanos en todas partes, solamente se podían explicar admitiendo que el terreno estaba cubierto de agua. Los argumentos que cita en apoyo de su opinión son muy interesantes y reproduzco las partes más esenciales. En la página 262, dice textualmente lo siguiente :

« En todo caso nunca se establece una completa separación de los minerales por la actividad del agua, siendo siempre depositados en una mezcla y llevados a la misma distancia los fragmentos más pequeños de los de más peso específico, con los mayores de los de peso menor. Estando, además, sometida la fuerza o velocidad de las olas del agua, a un cambio periódico, formando al mismo tiempo una especie de capa irregular, no se puede observar en ninguna parte un depósito uniforme de fragmentos de roca de la misma naturaleza o tamaño, si no sólo una mezcla irregular de ellos.

« El feldespato ofrece un grado relativamente ligero de su facultad de decaimiento, circunstancia muy aparente para poder ocasionar el rapto, o a lo menos el de los productos del desmenuzamiento acumulativo hacia localidades lejanas.

« Del mineral firme nace la greda morfa, voluminosa, que está sometida en sumo grado al arrollamiento; pero el descaecimiento del mineral que empieza ya en la roca compacta de los peñascos de la sierra, acompañale durante todo el curso de su viaje y entrega durante este procedimiento constantemente nuevo material de tierra fina que bajo estas circunstancias es depositada en localidades lejanas, aumentando considerablemente el contenido relativo de greda de los sedimentos de aquéllas.

« El contenido bastante considerable del silicato de tierra greda encontrado en el terreno del Rosario, caracteriza todo el territorio de las costas bajas del Paraná como resulta desde luego, de la calidad compacta gredosa de las clases de terreno entre Rosario y Buenos Aires.

« Volveríamos a lo expresado, manifestando las mismas apariciones explicadas anteriormente, y que se presentan a nuestra observación, aún ahora durante los presentes períodos aluviales por la actividad de los

¹ *Boletín de la Academia nacional de ciencias exactas de la Universidad de Córdoba*, tomo I, 1874.

ríos de las sierras, y nos quedaría que investigar si sirven ellos para aclarar la formación de la pampa. Aunque la suposición de un nacimiento gradual o aparición creciente de la pampa, por la actividad de los ríos en la gran extensión de la llanura de aquella, por sí sola ofrece poca probabilidad, desaparece tanto más al considerar las apariciones que acompañan a las operaciones de los ríos. En todas partes donde la planicie de la pampa es cruzada por aguas corrientes, causan estas alteraciones en el estado normal y uniforme de las capas del terreno. Por una parte ocasionan, por la corrosión, endijas hondas e irregularidades en la forma de la superficie; y por otra, sobrepasa siempre el tamaño de los fragmentos de rocas, que llevan consigo y depositan en gran calibre, al volumen de aquellos que se encuentran en las llanuras de los terrenos vecinos, como sucede en el territorio de las costas de río Primero, río Segundo, etc., prueba de que las olas del agua, que se mueven ahora en el territorio, son acompañadas de una fuerza y velocidad mucho mayor que aquellas bajo cuya influencia se efectuó la formación del terreno de la pampa.

« Es principalmente contraria a aquellas suposiciones, la singular y uniforme llanura de todo el territorio pampa. Admitiendo aún, que la transmigración de polvo de los pamperos haya contribuido en mucho a esta llanura, no se podría explicar de ello todavía, la uniformidad de un espacio de terreno tan grande. Y así parecen llevar todas estas señales a la única suposición probable de que un gran mar de agua, tapando toda la planicie, ocasionó por sus uniformes golpes de olas, la formación de pampa.

« Bajo esta suposición, las apariciones en las inundaciones y depósitos del constitutivo del terreno, aunque análogas a las inundaciones de los ríos al presente, habían sido siempre modificadas en el curso de sus evoluciones, y menos determinadas especialmente en sus cambios regulares.

« Nos tendríamos que figurar en este caso, la existencia de aguas permanentes cuyos límites señalarían en parte las sierras de San Luis, Córdoba, Catamarca, etc. El torrente del agua ocasionado por la fuerza de la caída en una dirección determinada, no reinaría en estas circunstancias, fuera de algunos torrentes locales y más generales, causados por el calentamiento irregular de las diferentes capas de agua, los motivos que ocasionan los golpes de olas en las aguas estancadas, son externos, pues principalmente se observan en su superficie y desaparecen gradualmente en el aumento de la hondura de las capas más bajas. Estando, a consecuencia de esta circunstancia, los parajes hondos del fondo del mar protegidos contra la influencia de los golpes de las olas, y los puntos sobresalientes, por el contrario, expuestos a sus ataques, tienen los últimos, al cabo de algún tiempo, que ser gastados gradualmente de-

positándose los productos de la inundación, tan pronto como llegan en sus cambios graduado a las capas de agua más lejanas e inmóviles, llenando las honduras del terreno y formando de este modo con el tiempo, si la calidad de los sedimentos es uniforme, una completa igualdad en el nivel del fondo.

« Al transferir estas particularidades a las circunstancias manifestadas, tendríamos que buscar los parajes hondos del fondo del supuesto mar de la pampa, por falta de otros puntos de apoyo positivos, ahí donde después de la vertiente de agua, y aún en las circunstancias presentes, se encuentran dichos parajes en los puntos lejanos de la tierra, mientras que tendríamos que descubrir, en las rocas o sierras sobresalientes, aquellos puntos de donde salía constantemente nuevo material para alzar el nivel del fondo del mar, y donde era llevado para aquella dirección. »

Cuando Doering conoció más a fondo la formación pampeana abandonó la hipótesis de que estos sedimentos hubieran sido depositados debajo del agua y en sus publicaciones que aparecieron más tarde, admite que se formaron en terreno seco.

En el año 1884 publicó, en el mismo *Boletín*, tomo V, un trabajo titulado *Estudios hidrognósticos y perforaciones artesianas en la República Argentina*. Este es un estudio científico muy importante y de gran utilidad práctica para el conocimiento de las condiciones de las aguas subterráneas. En él trató muy a fondo los fenómenos de las salinas que existen en terrenos muy modernos en el interior de las llanuras y de las sales que contiene el loess pampeano. Referente al origen de los depósitos salitrosos dice: » se han generalizado principalmente dos distintas opiniones; la una considera las salinas a causa de su contenido de cloruro, de origen marino y la otra sostiene que las materias salitrosas que encierran, no son más que los productos de lixivaciones de las rocas y sierras vecinas tal como lo indica en realidad el predominio de sulfatos sobre los cloruros en las efflorescencias salitrosas de estas depresiones. » Habla de las distribuciones, de la transgresión que dió origen a la formación marina entrerriana, la que no ha llegado, ni siquiera, hasta la altura de La Paz; no obstante, admite la posibilidad de una conexión antigua de la salina santiagueña con el océano terciario. Menos probable le parece una conexión con las salinas que existen en Córdoba.

Él hace presente, que los datos que existen hasta ahora acerca de la naturaleza de las diversas formaciones de las salinas, son insuficientes para formar con anticipación un juicio determinante sobre los detalles de su génesis y de la naturaleza de sus sedimentos inferiores.

Teniendo en cuenta que en todas las salinas que menciona, se trata de depósitos muy recientes y que en ninguna de ellas se han encontrado fósiles marinos, se puede afirmar ya hoy, que no son de origen marino.

Además, las mismas sales se encuentran también en los depósitos de loess que seguramente se forman en el mar.

De este problema me ocuparé más adelante.

Muy interesante es la descripción que hace del régimen de los ríos y arroyos que cruzaron las llanuras pampeanas.

En ella demuestra como continuamente cambiaron sus cursos y que un mismo río podía pasar con el tiempo por el mismo lugar por donde había pasado antes, pero en nivel más alto. Este sabio ha sido el primero que ha constatado que estos antiguos lechos de ríos cubiertos de una extensa capa de loess son los verdaderos « criaderos » de los pozos semisurgentes.

El autor que se ha ocupado más que ningún otro en el estudio del loess pampeano es Florentino Ameghino. En el antes mencionado libro titulado *La formación pampeana*, describió detalladamente estos depósitos y se ocupó de su origen y de la edad geológica que les corresponde.

Respecto a su origen, llegó a las mismas conclusiones de Burmeister; después de tratar la hipótesis de los distintos autores ya citados dice : « En resumen, la teoría del doctor Burmeister, la que más se acerca de la verdad, es completamente exacta en el fondo, pero errada en algunos de sus detalles. Como Burmeister afirmó que la acumulación de los terrenos pampas no es el producto de una sola causa, sino de muchas, es menester conocer todas las causas, para poder formarse una idea de la parte que cada una ha tomado en la formación de ese grandioso monumento geológico », y más adelante sigue diciendo : « No solamente creo, como el doctor Burmeister, que el principio de la época pampeana fué señalado por un sublevamiento que levantó a un nivel superior la cordillera de los Andes, sino que tengo la convicción profunda que aún después de verificado dicho sublevamiento, las fuerzas internas han continuado a reaccionar contra la parte de la corteza del globo, actualmente llamada pampa, produciendo un sin fin de sublevamientos y hundimientos, que continuaron durante toda la época pampeana y que han dado por resultado la esparción de los terrenos de transporte sobre toda la superficie de la vasta llanura. »

Anteriormente cuando traté de las acciones endógenas, ya me he ocupado de estos supuestos movimientos locales y no vuelvo a discutirlos; en ningún caso puede explicarse por ellos la uniformidad de la composición del material y estructura que presenta el loess pampeano.

En los trabajos que Ameghino publicó más tarde, se ocupó preferentemente de los fósiles que esta formación contiene y de la subdivisión en pisos, como de la edad geológica que les corresponde.

También el ingeniero Eduardo Aguirre se ha ocupado en varias publicaciones del origen del loess pampeano; él opinó que éste es de origen fluvial; comparó los depósitos que se hallan en el noroeste de la provin-

cia de Buenos Aires, con los del delta del Paraná, y supuso que éstos se extendían en aquel tiempo mucho más al sudeste que actualmente. Él manifiesta lo que transcribo ¹ :

« El origen de esta formación es igual al del loess europeo, que es una capa diluvial de origen fluvial, en que apenas puede distinguirse una estratificación, pues no se ha depositado en el fondo de estuarios, ni de mares, si no que es el producto de transporte de ríos y arroyos pequeños, cuyos sedimentos han ido avanzando en línea de una antigua costa o sobre una tierra ya emergida. » No participa de la opinión de Bravard que es una acumulación de sedimentos por los vientos y dice : « No puede admitirse, dados los caracteres físicos de la arcilla calcárea, que no puede formar nunca médanos movibles, porque se aglomera por sí sólo cuando los granos están suficientemente divididos. Tampoco se han encontrado cenizas volcánicas en la pampa. »

Aguirre tiene razón; gran parte del material seguramente ha sido transportado de las serranías por ríos y arroyos, pero luego ha sido dispersado por los vientos sobre el terreno y no cabe la menor duda que la masa fundamental es de origen eólico. Con esto puede explicarse, empero, solamente el transporte y la procedencia de los sedimentos y de ninguna manera el carácter que presentan estos depósitos ².

No es el objeto de este trabajo analizar todo lo que se ha escrito sobre el origen de la formación pampeana y me limitaré a comentar las publicaciones de los geólogos Gustavo Steinmann y Bailey Willis que en los últimos años se ocuparon mucho con el problema del origen del loess.

El profesor Steinmann es uno de los más obstinados defensores de la teoría del origen glacial de todo el loess, donde quiera que se encuentre. Después de haber efectuado una corta excursión en la provincia de Buenos Aires para darse cuenta de la formación pampeana, llegó a convenirse que los horizontes inferiores de esta formación no pueden ser de edad cuaternaria y para no abandonar su teoría glacial, se empeñó en demostrar que los depósitos de los horizontes inferiores y superiores tienen que ser de distinto origen. En una conferencia dada en la Sociedad geológica alemana ³ manifestó que las capas superiores se asemejan en su estratificación y composición al loess más reciente del Rhin.

Dice que es generalmente poroso y rico en cal, y que no presenta derivaciones de capas de tosca; donde él lo alcanzó a observar contiene sola-

¹ Constitución geológica de la provincia de Buenos Aires (Censo general de la provincia, 1882).

² Aguirre fué el primero que se ha dado cuenta del carácter litológico de los depósitos pampeanos y los comparó con el loess del Rhin.

³ Publicada en *Monatsbericht der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Jahrg, 1906.

mente pequeñas almendras de tosca nunca muy grandes y no forma bancos continuados de cantos rodados.

La parte mediana es, según él, de una construcción más complicada; pues dice que en las barrancas de la costa al sur de Cabo Corrientes, se observa en la falda descubierta, que pasa de 15 metros de altura, una masa sin tosca, de color castaño rojizo, que se alterna con otras capas más claras, ricas en toscas, y que los rodados de tosca alcanzan a veces a enormes dimensiones unidas a menudo en forma de bancos.

Éstos son, según él, los caracteres inequívocos del loess antiguo en el alto Rhin. Manifiesta que la formación pampeana inferior difiere notablemente de los horizontes más recientes.

Hace presente que en la formación del loess del Rhin no conoce nada parecido y que la construcción particular se le hizo comprensible al indicarle yo sitios de la formación antigua, donde Ameghino creyó haber reconocido en escorias y tierras cocidas, vestigios de actividad humana.

Él opina que se trata de trozos de lava, arrojados por el aire desde la cordillera distante más de mil kilómetros o lo que parece más probable que esta porosa lava haya sido trasportada por los ríos; dice que su presencia en este punto demuestra, en todo caso, que ha habido una gran actividad volcánica en el tiempo del pampeano inferior, lo que induce a suponer que la ceniza volcánica haya tenido gran participación en la composición de las capas inferiores. Más adelante entra en consideraciones generales de las formaciones diluviales de Sud América y trata de demostrar que los depósitos glaciales y los que se relacionan con ellos ya sea fluvio-glaciales, limo-glaciales o eolo-glaciales presentan una analogía que permite establecer la concordancia de los tiempos diluviales en todo el globo.

Comparando las condiciones que presentan los depósitos pampeanos con los del loess que hay en el valle del Rhin, él llegó a los resultados siguientes, que traduzco al español: « Las formaciones pampeanas mediana y superior corresponden al loess antiguo y al más reciente en la región del alto Rhin y la tierra postpampeana a nuestro loess de transporte secundario. El depósito del horizonte más antiguo de la Argentina presenta evidentemente contraste con los demás; también es dudoso, que tenga una esparción tan general como aquella. En los perfiles de loess en la región de Córdoba, estudiado prolijamente por Bodenbender, puede reconocerse a pesar de las facies fluviales allá predominantes, todos los depósitos de la formación pampeana, menos el más antiguo; éste podríamos más bien compararlo con las capas de Jujuy, teniendo en vista que ellas se formaron durante una época de erupciones de tobas volcánicas. Así como tenemos que buscar el equivalente de las capas de granos gruesos de Jujuy en las antiguas mantas de rodados de Europa, quizá tendríamos que comparar el piso de Monte Hermoso con las tobas

y arenas pliocenas superiores. Nuestra comparación conduce a un resultado muy importante; entre la región de loess argentino y el del alto Rhin hay una grande analogía que sería inexplicable, si el loess de las dos regiones no se hubiese formado de igual manera y al mismo tiempo. ¿Qué explicación nos suministra Sud América respecto del origen del loess? Agua y viento han contribuído conjuntamente, es generalmente la contestación y las opiniones difieren solamente sobre este punto. ¿A cuál de estos agentes hay que atribuir la mayor participación? Para la presencia del loess pampeano rigen generalmente las mismas reglas que para el de Europa; contrario a todos los otros depósitos análogos, se extiende independientemente de los actuales y anteriores cursos de ríos, de manera que si quisiéramos declararlo por un depósito de agua, tendríamos que recurrir al concepto antidiluviano del diluvio universal. Se extiende desde los terrenos bajos hasta arriba de las sierras pampeanas, cubriéndolas como con un manto; con todo esto conserva su condición independiente de la composición del subsuelo; también encima de capas sin cal es originariamente rico en carbonato igual al nuestro. Por lo tanto es exótico.

« Esto demuestra decididamente que su origen es eólico y el agua no puede haberlo transportado sino secundariamente y haberlo aplanado y ensuciado. Se ha formado, como en Europa, durante el tiempo diluvial, en repetidos y determinados períodos y evita, acá como allá, las regiones del último tiempo glacial. Esto presupone condiciones especiales para su origen, las que tuvieron lugar periódicamente. Si fuese solamente el polvo de la descomposición de las sierras, que se hubiera acumulado bajo un clima seco de estepa, como lo suponía von Richthofen, tendría que haberse formado y extendido el loess sobre vasta zona de la cordillera y de la llanura, lo que no es el caso. En Atacama, en la alta planicie boliviana y en la Pampa, se produce polvo que es alzado y llevado y luego depositado, pero de éste no resulta una formación de loess que pudiese ser comparado ni remotamente con el diluvial. Para producir éste, son indispensables inmensas cantidades de finísima arena seca, expuesta a los vientos, que incesantemente la arrojarían sobre extensa superficie. Si nos preguntamos: ¿cuándo y dónde, en tiempos diluviales, han existido tales condiciones? hallamos una sola contestación satisfactoria, dada en primer lugar, por Jentzsch.

«Donde se derriban grandes masas de hielo continental, las morenas de fondo son lavadas y preparadas por el agua de deshielo; los rodados y la arena gruesa, fina y finísima, son distribuídos sobre la superficie, este material triturado mecánicamente y no descompuesto químicamente, es suelto y además rico en carbonatos, donde las morenas se hallan en sierras calcáreas. Entra en acción el segundo factor, el viento, que reina constantemente con bastante violencia desde los glaciales en dirección

al ecuador; la arena gruesa queda depositada en el suelo en forma de dunas y la más fina es llevada como polvo por el aire.

« Así se verifica una separación del material con disminución del tamaño de granos con dirección del polo al ecuador. Si es exacta esta suposición, es de esperar que en todas las grandes zonas de hielo se encuentre confirmada esta ley de separación. En cuanto a los rodados y al loess se ha confirmado ya por hecho la ley de Elie de Beaumont. Es sabido que en Alemania del norte hay una ancha zona entre el loess y los rodados gruesos, pero más claras y más sencillas son las condiciones en Patagonia. Al sur hasta aproximadamente la altura del río Chubut (44°) existen morenas y rodados y entonces comienzan a predominar las arenas, según lo ha demostrado S. Roth y recién desde el río Negro (ca. 40°) aparece el loess, que se puede observar hasta el círculo trópico. Esta subordinación sencilla de las condiciones de las tres clases de materiales aparece más borrada en Europa central a causa de la dirección paralela de las sierras centrales y de los Alpes con la parte terminal del hielo. En Sud América y también en Norte América está más clara y más demostrativa.

« Así llegamos a las siguientes conclusiones :

« Los depósitos de loess diluvial se hallan desde los glaciales continentales hacia el ecuador, porque su origen exige una zona de depósitos fluvio-glaciales llanos. La formación de un depósito de loess presupone el retroceso de los glaciales continentales hasta los polos y por esto se reflejan más claramente los cambios climatológicos del tiempo diluvial en la división de los perfiles del loess, que en los depósitos glaciales, fluvio-glaciales e interglaciales.

« La naturaleza complexa de las variaciones climáticas en el tiempo diluvial que deducimos de los perfiles de loess del Alto Rhin, reaparece en la arcilla pampeana y con esto queda demostrada la concordancia de las dos regiones, según nuestros conocimientos actuales. »

CONSIDERACIONES GENERALES

« Todas las experiencias respecto a las formaciones diluviales de Sud América nos conducen a la conclusión, que, en primer lugar, todos los depósitos o fenómenos glaciales, como también los que se relacionan a ellos, ya sean fluvio-glaciales, o limo-glaciales y colo-glaciales, son estratigráficamente análogos a los del hemisferio del norte. Los rastros de la última época glacial nos llevan sin interrupción desde el Ecuador hasta el Cabo de Hornos. Vemos, en efecto, que sus extensiones, según observaciones hechas por Nordenskjöld, en Patagonia, H. Meyer en Ecuador (también en África Central) y por nosotros en el Alto Perú, apare-

cen ser en todas partes esencialmente iguales, verbi gratia, el retroceso de la nieve perpetua es en las mismas latitudes de igual proporción, pero parece ser algo más elevado en las latitudes altas que en las bajas.

« En el Tacora, situado a $17^{\circ}30'$ de latitud, cuya cima, de 6060 metros de altura, se halla en el límite de la nieve perpetua, encontramos las morenas frontales de la época glacial hasta los 4200 metros; en las cordilleras orientales, región más lluviosa, en el Tunari, aproximadamente en la misma latitud ($17^{\circ}10'$) el límite de la nieve se encuentra a 5200 metros, mientras que las correspondientes morenas frontales descenden hasta 3000 metros. No importa cómo se calcule el límite de la nieve durante el último tiempo glacial; su posición difiere hoy entre las dos montañas en el mismo sentido y más o menos en la misma proporción.

« Con esto queda comprobado, que en Sud América ya en tiempo glacial, reinaban las mismas diferencias climatológicas que hoy y como lo mismo está constatado en extensas regiones de Europa, resultan otras conformidades importantísimas entre muy apartadas zonas de los dos hemisferios. Procederemos entonces acertadamente, si nos abstenemos de toda pretensión de dar explicaciones sobre las épocas glaciales, que no sean de carácter general.

« Con esto parece, que la estratigrafía de las formaciones diluviales alcanzan un inesperado grado de analogía, que permite establecer la concordancia de los tiempos diluviales en todo el globo. Al mismo tiempo podemos determinar los depósitos terrestres en cuanto se relacionen con fenómenos glaciales con más precisión, que cualquier otra capa sedimentaria, para cuya paralelización casi sólo tenemos que limitarnos a los fósiles que contienen.

« Una determinación más exacta de los tiempos diluviales sólo nos podría ofrecer la disposición de las salinas, si se pudiese comprobar, que estuviera motivada por una causa general, como lo está demostrado en algunos casos, por ejemplo, en el triás y al fin del cretáceo. La precisión de la determinación de los tiempos diluviales tiene tanta más importancia porque nos permite establecer con exactitud la transgresión prehistórica del hombre sobre las distintas regiones de la tierra. En Sud América aparece el hombre recién contemporáneamente con la fauna del hemisferio del norte la que en aquella parte no existía aún en tiempos del piso del Monte Hermoso y la que aparece recién en los depósitos antiguos del loess (= pampeano intermedio Roth). Los vestigios seguros del hombre, que Roth me ha mostrado, no anteceden de ninguna manera a las capas superiores del loess antiguo, quizá llegan solamente hasta el loess moderno, quiere decir, hasta el último tiempo interglacial (Riss-Wurm). Todos los hallazgos más antiguos son, por lo menos, dudosos, en parte empero, como en las tierras cocidas en el pampeano inferior en Cabo Corrientes, no son producto de *homo americanus* sino pro-

ductos naturales, los que la fantasía del *homo europaeus* inmigrado ha estampado como productos artificiales. »

El profesor Steinmann ha visitado solamente las barrancas de los Lobos en la costa atlántica de Mar del Plata, y las del río Paraná en Baradero, yo le he acompañado en sus excursiones para discutir en el terreno los problemas del origen y la edad de la formación pampeana. Es natural que con tan pocos días él no se ha podido poner al corriente de todos los fenómenos que presenta tan magna formación.

Así, por ejemplo, no es exacto que en el loess neo-pampeano hay solamente pequeñas « almendras de toscas, nunca muy grandes ». Si bien es cierto que, en los depósitos superiores, éstos, en general, son menos abundantes que los inferiores, se observan, sin embargo, en los primeros frecuentemente bancos de toscas de considerable espesor y extensión, mientras que en el loess más antiguo faltan a veces por completo.

En la suposición que las tierras cocidas y escorias que él ha visto, en la base de la barranca de Los Lobos sean productos volcánicos, declaró que el loess antiguo tiene un origen distinto del de los horizontes superiores; sin embargo, estos productos son tan abundantes o más en las capas superiores que en las inferiores. Si las unas fuesen de materiales provenientes de glaciales, las otras tendrían que ser del mismo origen. La diferencia entre el loess neo- y meso-pampeano es mucho más grande que entre este último y el eo-pampeano.

Le ha llamado la atención al mismo Steinmann el aspecto peñascoso que presentan las capas del piso meso-pampeano y declaró que en Alemania no ha visto nada parecido, no obstante las paraleliza con las capas inferiores del loess cuaternario del Rhin.

Otra inexactitud consiste en la afirmación, que el loess pampeano típico falte en Patagonia y en la Cordillera. Con esto él demuestra que no conoce estos territorios, pues en Patagonia existen capas que no se diferencian del loess pampeano y en las cordilleras hay enormes depósitos que presentan más semejanza con el loess del Rhin que con el de las capas superiores de la provincia de Buenos Aires.

Hemos visto que él supone que el material del loess provenga de las glaciales de las regiones polares; como argumento aduce: « Es sabido que en la Alemania del norte hay una ancha zona entre el loess y los rodados gruesos, pero más claras y más sencillas son las condiciones en Patagonia. Al sur, hasta aproximadamente a la altura del río Chubut (44°), existen mórenas y rodados y entonces comienzan a predominar las arenas, según lo ha demostrado S. Roth, y recién desde Río Negro (ca. 40°) aparece el loess que se puede observar hasta el círculo trópico. Esta subordinación sencilla de las condiciones de las tres clases de materiales aparece más borrada en Europa Central. »

No me explico, cómo Steinmann puede hacer semejantes afirmacio-

nes ; mal podrá haber demostrado que los rodados fluvio-glaciales terminan en Chubut y que allá comienzan a predominar las arenas, puesto que estos rodados se extienden hasta las inmediaciones de Bahía Blanca, donde se observan en algunas partes estas capas depositadas directamente sobre el loess. No existen tales separaciones de materiales por zonas. En la provincia de Buenos Aires encontramos en medio del loess típico depósitos de arena eólica.

En Junín, por ejemplo, hay médanos de arena con fósiles característicos del pampeano superior y el loess de este horizonte es muy arenoso, mientras que el de más abajo es muy puro. La arena seguramente no procede de la Patagonia, sino de las serranías de Córdoba y San Luis, como lo demuestra la abundancia de materiales de rocas cristalinas antiguas que faltan en el sur. Es un concepto muy erróneo creer que el loess está formado por sedimentos triturados mecánicamente y no descompuestos químicamente. Más adelante demostraré que éste puede formarse de toda clase de materiales por procesos diagenéticos. También es un gran error, si él afirma que vestigios seguros de la existencia del hombre se han encontrado únicamente en las capas superiores. Restos humanos se hallaron en los tres horizontes neo, meso y eo-pampeano y los objetos mejor trabajados proceden de las capas más inferiores que afloran en la provincia de Buenos Aires.

Con lo expuesto está suficientemente demostrado que el profesor Steinmann no conoce a fondo la formación pampeana, y que no está autorizado a expresarse en forma tan terminante como lo ha hecho.

En análogas condiciones se encuentra el geólogo Bailey Willis ; él se había formado una opinión sobre el origen del loess pampeano antes de practicar estudios en la llanura pampeana. El objeto principal de sus investigaciones era establecer la antigüedad del hombre en la Argentina. Le he acompañado en una excursión de tres días por la ribera del río Paraná hasta San Lorenzo ; más tarde hizo otra en compañía de Ameghino por la costa atlántica desde Mar del Plata hasta Monte Hermoso, y una tercera excursión solo fué por el río Colorado hasta el Fortín Uno.

Basado en las observaciones hechas en estos tres cortos viajes publicó un informe en el *Bulletin* 52, del *Bureau of American Ethnology*, Washington, 1912.

Tal como Steinmann, que menciona todos los antecedentes favorables a su teoría sobre el origen glacial, Bailey Willis se vale solamente de los fenómenos que son favorables a su hipótesis, para afirmar que el loess se ha formado debido a cambios climatológicos periódicos.

Bailey Willis admite que la mayor parte del loess pampeano corresponde al período terciario superior, pero agrega que el proceso de su deposición no excluye que los depósitos más modernos sean de edad

cuaternaria. Contrario de Steinmann, quien como hemos visto supone que el material proceda de glaciares de las regiones del sur, dice que ha sido arrastrado por los ríos de la región norte y especialmente del oeste.

Bailey Willis cree que el antiguo continente de la provincia de Buenos Aires compuesto de rocas de cuarcita, dolomita y especialmente de granito y de pizarras cristalinas, se había sumergido debajo del océano, pero que depósitos marinos relativamente modernos, mesozóicos y terciarios, de que están formados en parte los Andes, no se habían encontrado en esta región ¹, la que formaba una isla cuando el océano llegaba hasta la cordillera actual. Después que este antiguo continente se había transformado en una llanura debido a un ciclo de actividad erosiva, se inició, según él, un nuevo proceso de perturbaciones, hundiéndose una parte, la de Buenos Aires por ejemplo, unos 300 metros debajo del río de la Plata y levantándose otra parte algunos cientos de metros, como la sierras del Tandil y de la Ventana. Terminadas estas perturbaciones de hundimientos y levantamientos, dice que ha entrado nuevamente un proceso de erosión para igualar el terreno.

Supone asimismo que existen dos grandes depresiones, de las que una forma el estuario del río de la Plata y la otra el de la Bahía Blanca, que se extienden hacia el interior en cuyo medio se hallan las sierras de Córdoba, del Tandil y de la Ventana.

Opina que los dos hechos, de que se trata de una superficie de un antiguo continente que se formó por erosión de las antiguas rocas cristalinas y de que durante la dislocación la superficie se cubrió con la formación pampeana, constituyen los acontecimientos fundamentales de la historia geológica de la región pampeana, y agrega que ésta se encuentra actualmente en un período de levantamiento y por consiguiente expuesta a la erosión.

Luego el autor formula las siguientes preguntas, que él mismo contesta: ¿de dónde procede el material? ¿cómo ha sido depositado? ¿qué episodios se pueden distinguir durante este largo proceso? ¿a qué épocas geológicas corresponden estos episodios? ¿en qué relaciones están con la aparición del hombre?

Referente a la primera pregunta manifiesta, que en cada una de las mencionadas depresiones se formó un sistema de ríos; en una el río Paraná y el Uruguay, en la otra el río Colorado y un gran afluente, el Salado o Curacó.

¹ Estas son conjeturas erróneas; parece que Bailey Willis no conoce la literatura: si él hubiera consultado solamente los trabajos de Burmeister, habría visto que en Buenos Aires existen interposiciones de capas marinas terciarias y en cambio, hasta ahora, no se ha constatado su existencia en la parte norte y oeste de la cordillera.

Estos ríos, o los anteriores a ellos, acarrearón el material característico del terreno de donde nacen sus afluentes. En un caso se trata de la región central y oeste de Sud América; el terreno es muy arcilloso con mucho hierro de distintos colores pardos, gran parte de los sedimentos pampeanos al norte de la sierra de la Ventana procede de estas regiones y tiene este carácter.

El sistema del río Colorado nace en Los Andes y acarrea grandes cantidades de arena y también limo de los que se formaron los depósitos arenosos que se diferencian tanto de la arcilla parda, descrita frecuentemente como arenisca terciaria.

Al mismo tiempo las sierras pampeanas han suministrado muchos materiales que se depositaron en sus inmediaciones y que también se componen de limo y arena.

La acumulación de tan enorme masa de material ha necesitado largo tiempo y presenta una singular uniformidad en que han intervenido distintos agentes, especialmente el viento, el que motivó su uniformidad.

Esto es, en resumen, lo que Bailey Willis dice de la procedencia del material, lo que, empero, se halla en completa contradicción con el examen petrográfico de las muestras que él llevó a los Estados Unidos y cuyo resultado se ha publicado en el mismo libro. Aparte de todo esto, no comprendo cómo pudo él decir que el terreno donde nacen los afluentes de los ríos Paraná y Uruguay, es arcilloso, siendo que estas cordilleras están formadas en gran parte de areniscas rojas y rocas cristalinas. Basta examinar el material que depositan actualmente estos ríos para convencerse que es completamente distinto del loess pampeano. Ciertamente es que el río Paraná, que cruzaba ya en los tiempos terciarios la llanura pampeana, ha suministrado mucho material, pero esto nos demuestra precisamente que estos sedimentos han sufrido una completa transformación después de haber sido depositados.

El loess que se halla en el sur de la provincia de Buenos Aires y que, según Bailey Willis, proviene de material acarreado por el río Colorado, no se diferencia en nada del que se halla al norte de las sierras de la Ventana. Es cierto que las barrancas del río Colorado se componen en muchas partes de areniscas, que no han sufrido una transformación después de haber sido depositadas como el loess que hay en la misma región.

Los mismos fenómenos se pueden observar en el noreste de la provincia: en el medio de depósitos de loess típico se encuentran capas fluviales de considerable espesor que no presentan ninguna alteración y que fueron depositadas por el antiguo río Paraná y otros ríos. Con esto está bien demostrado que el carácter singular del loess pampeano no depende de la procedencia del material, como quiere demostrar Bailey Willis.

De extrañar es lo que dice referente a las dos depresiones que ocuparon sus dos sistemas de ríos. Afirma, que en la provincia de Buenos Aires no existen depósitos marinos mesozóicos modernos y terciarios y sin embargo el terreno en Buenos Aires se sumergió, según él, 300 metros debajo del nivel del Río de la Plata. Para salvar esta contradicción aduce que la rapidez del hundimiento se habría correlacionado con la sedimentación de tal manera que los depósitos fluviales quedarían siempre arriba del nivel del mar.

Más adelante se verá que durante el tiempo en que se depositó la formación pampeana, ha habido varios hundimientos y que el mar penetró a veces muy al interior del continente. Las depresiones más grandes del tiempo terciario no se hallan ni en Buenos Aires, ni en Bahía Blanca.

Para explicar la transformación de los sedimentos fluviales en loess, Bailey Willis dice, que los depósitos aluviales en los ríos en regiones lluviosas con vegetación se componen de limo y arena de granos gruesos y finos y de carbonatos vegetales. Donde por una u otra causa, el terreno no está cubierto de vegetación, el viento lleva las partes finas, dejando las más gruesas. Debido al frotamiento de los granos entre sí producido por los vientos, éstos se gastan y también se descomponen químicamente, resultando un polvo de limo y arena cuarzosa fina con óxido de hierro. De esta manera se forma por la acción del agua y viento un producto, que presenta las condiciones químicas y físicas de la tierra pampeana. En los lugares húmedos y helados o cubiertos de vegetación, está excluida una acción de erosión; por lo tanto hay que presuponer que haya habido un clima seco y estéril en el tiempo que se formaron los depósitos de loess. Pero como en ellos abundan los restos fósiles de grandes mamíferos hervívoros, los que para su existencia necesitaban una abundante vegetación, él explica la contradicción suponiendo cambios climatológicos, y que en aquel tiempo haya habido condiciones geográficas especiales.

Luego entra en largas explicaciones sobre los cambios climatológicos que han tenido lugar en los tiempos cuaternarios, pero dice, que con esto no quiere afirmar que el loess pampeano sea de origen glacial, como tampoco que el de la China esté relacionado con glaciares. En la pampa no ha visto fenómenos por los cuales pueda constatar cambios de períodos glaciales e interglaciales; no obstante admite períodos de clima húmedo y de clima seco que teóricamente correspondan probablemente a períodos de alta y baja temperatura.

Él afirma que los cambios climatológicos se pueden constatar, tanto en las barrancas en las costas de Mar del Plata, como en las del río Paraná, por el carácter variante que presentan los depósitos y especialmente por los fenómenos de acción erosiva que se observan en ellos.

La erosión es, según él, una erosión típica de viento; dice que en las

barrancas del norte se ven los efectos de erosión en el límite del horizonte medio (ensenadense) y superior (bonaerense) pero como no es posible saber la cantidad de material que ha sido llevado por los vientos, tampoco se puede decir si se trata de una erosión local y si ésta ha sido motivada por un cambio de clima general o temporáneo local.

Pero como el mismo fenómeno se ve también en Miramar y Necochea es probable que sea general, motivado por un cambio geográfico y climatológico.

Por la naturaleza que presentan los depósitos de las barrancas del río Paraná se pueden distinguir, según él, seis episodios de cambios climatológicos que son :

- 1° Loess terroso pardo, aluvial, húmedo ;
- 2° Erosión de viento. Formación de tosca, semiseco ;
- 3° Formación lacustre, húmedo ;
- 4° Erosión de vientos y depósitos de loess, semiseco y seco ;
- 5° Formación de tosca, semiseco ;
- 6° Formación de tierra negra, húmedo.

Continúa diciendo que análogas relaciones estratigráficas se observan en otras localidades, lo que indica que tuvieron lugar cambios climatológicos durante el tiempo en que se depositó el loess pampeano y cree que sobre esta base se pueden hacer las subdivisiones en pisos ¹.

Esta clase de cambios periódicos del clima está en completa contradicción con los fenómenos que se observan en la formación pampeana y él mismo dice, que no ha practicado estudios suficientes para poder hacer afirmaciones terminantes. En primer término, si hubiera habido períodos secos y estériles, como él supone, los fósiles de mamíferos estarían limitados a ciertos niveles, y no distribuidos en toda la masa sin regla alguna.

Los vestigios de erosiones de vientos que él atribuía a un período seco, son fenómenos locales que no corresponden a determinados tiempos, se encuentran en todos los horizontes y frecuentemente en medio de capas de loess pardo, que según su hipótesis, ha sido depositado en una época de clima húmedo (véase fig. 9).

Los bancos de toscas están distribuidos también sin orden y se hallan en todos los horizontes, pero, como he dicho, en general, son más abundantes en los inferiores que en los superiores. La posición de estos bancos cambia a veces en cortas distancias; en las barrancas de la costa entre Mar del Plata y Miramar se pueden observar en una localidad varios bancos, uno encima del otro, en loess que corresponde a un mismo

¹ Bailey Willis entra a comentar la división de pisos hechos por mí y Ameghino, pero como aquí se trata esencialmente del origen del loess, no entro a discutir problemas cronológicos.

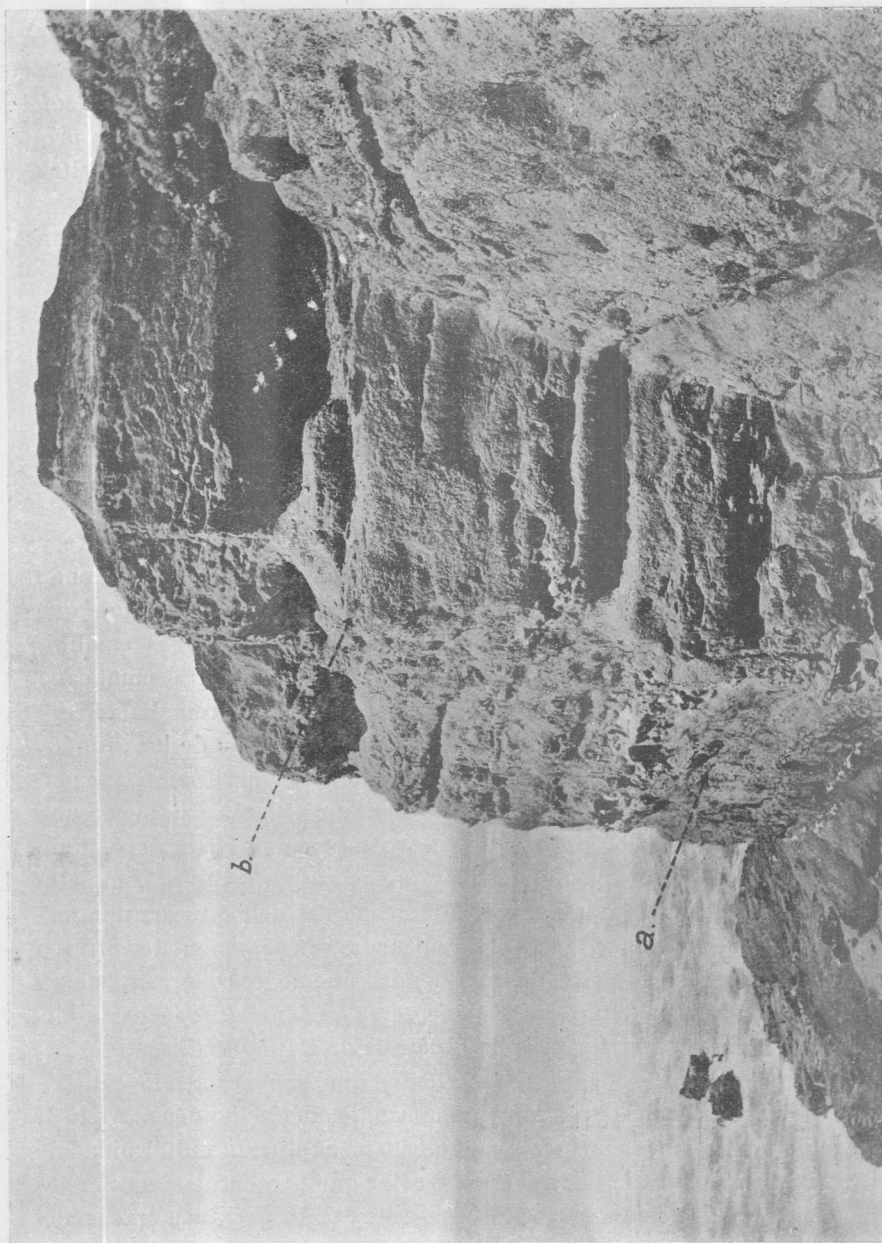


Fig. 10. — Vista de la barranca en la Bajada de los Lobos (Mar del Plata) : *a*, horizonte eopampeano ; *b*, horizonte mesopampeano

piso y a poca distancia son más escasos, faltando en otros lugares por completo (véase lámina XIII, *a*, *b* y *c*). Por la presencia de toscas no es posible hacer deducciones sobre el clima que reinaba en tiempo de su formación.

Todos los fenómenos que se observan en el loess pampeano indican que los cambios climatológicos no han influido mucho en la composición del loess. El que se encuentra debajo de la arenisca roja cretácea presenta las mismas condiciones que el que se halla encima de los depósitos marinos entrerrianos (terciario).

Nada indica que hubo períodos de climas húmedos que alternaban con secos y estériles.

Hay barrancas, donde están representadas capas que contienen faunas correspondientes a distintos tiempos geológicos, sin poder constatar discordancia.

El loess de un piso pasa gradualmente al de otro, y únicamente por los fósiles es posible determinar a qué piso corresponde. La base de la barranca, figura 10, está formada de loess que contiene la fauna del horizonte eo-pampeano y la parte superior contiene fósiles característicos del meso-pampeano y nadie puede decir dónde acaba un horizonte y principia el otro. La misma cosa sucede en la barranca, figura 11, donde están representados los horizontes neo- y meso-pampeano. No dudo que en tiempo cuaternario ha habido en nuestra región análogos cambios climatológicos que en la región norte. Si bien la llanura pampeana no ha sido cubierta de hielo, la baja temperatura que reinaba en ese tiempo probablemente ha contribuido a la desaparición de los grandes mamíferos, que se extinguieron por completo en el postpampeano; en este caso Ameghino tendría razón de atribuir al loess pampeano una edad terciaria. Parte de los estratos postpampeanos se han depositado seguramente en los tiempos glaciales y presentan un carácter completamente distinto del loess pampeano. Mientras este último forma una masa homogénea, los depósitos postpampeanos se componen de estratos muy heterogéneos. El origen de un depósito homogéneo presupone un clima poco variante, y uno heterogéneo, uno variante. Todas estas circunstancias hablan en contra de la hipótesis de Bailey Willis.

Seguramente son las aguas y los vientos que han acarreado y distribuido el material sobre la llanura pampeana, como lo he demostrado al tratar de las acciones endógenas, pero esto no explica la uniformidad de la estructura, composición litológica y color que presenta el loess en todas partes donde se encuentra. Estos agentes podían únicamente redepositar los sedimentos ya transformados en loess. No hay duda que una parte del material de las capas superiores proviene de depósitos de loess más antiguos. Frecuentemente se observan en la formación pampeana capas de toscas rodadas y estas únicamente pueden proceder de loess

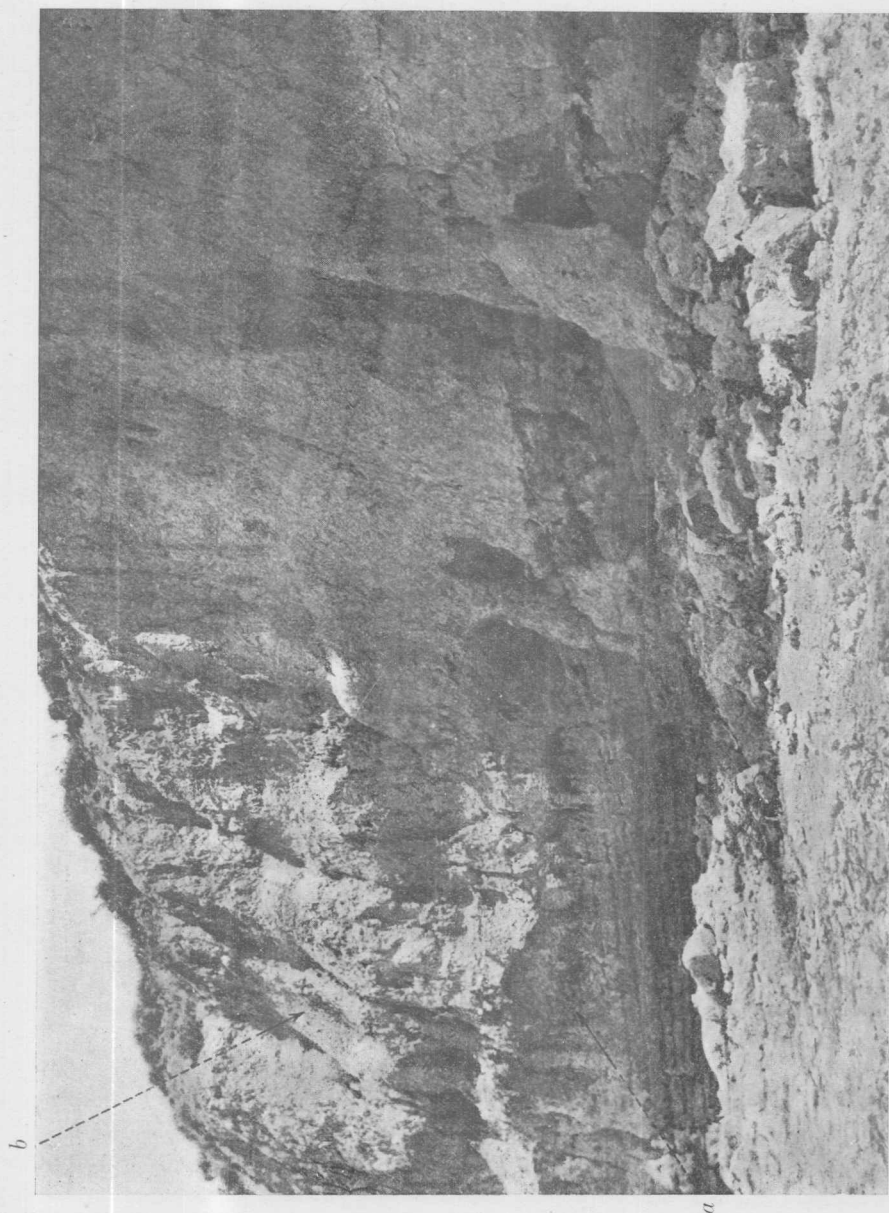


Fig. 11. — Vista de la barranca en el río Paraná, al norte de San Lorenzo : *a*, horizonte mesopampeano ; *b*, horizonte neopampeano.

más antiguo, pues este es el único sedimento en que se forman estas clases de rocas.

Las capas de loess removida se distinguen de los depósitos primarios por su color pardo sucio; en ellos abundan fragmentos de loess endurecido así como granos y rodados de tosca que presentan generalmente ligeras estratificaciones (véase fig. 11). Todo esto demuestra que en la rede-

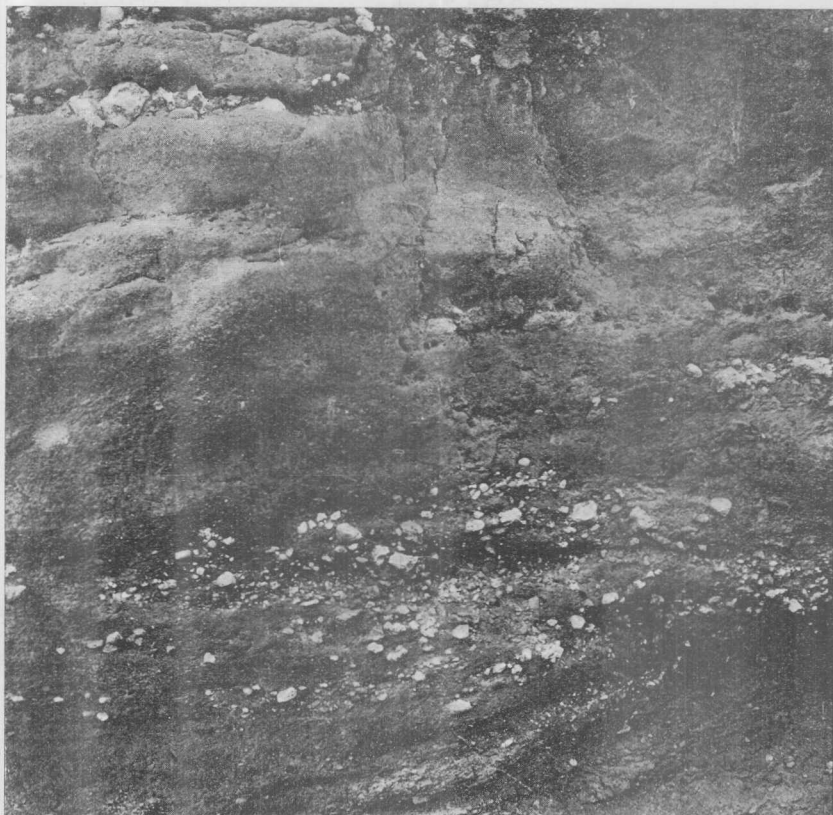


Fig. 12. — Estructura de loess removido con toscos rodados del horizonte mesopampeano

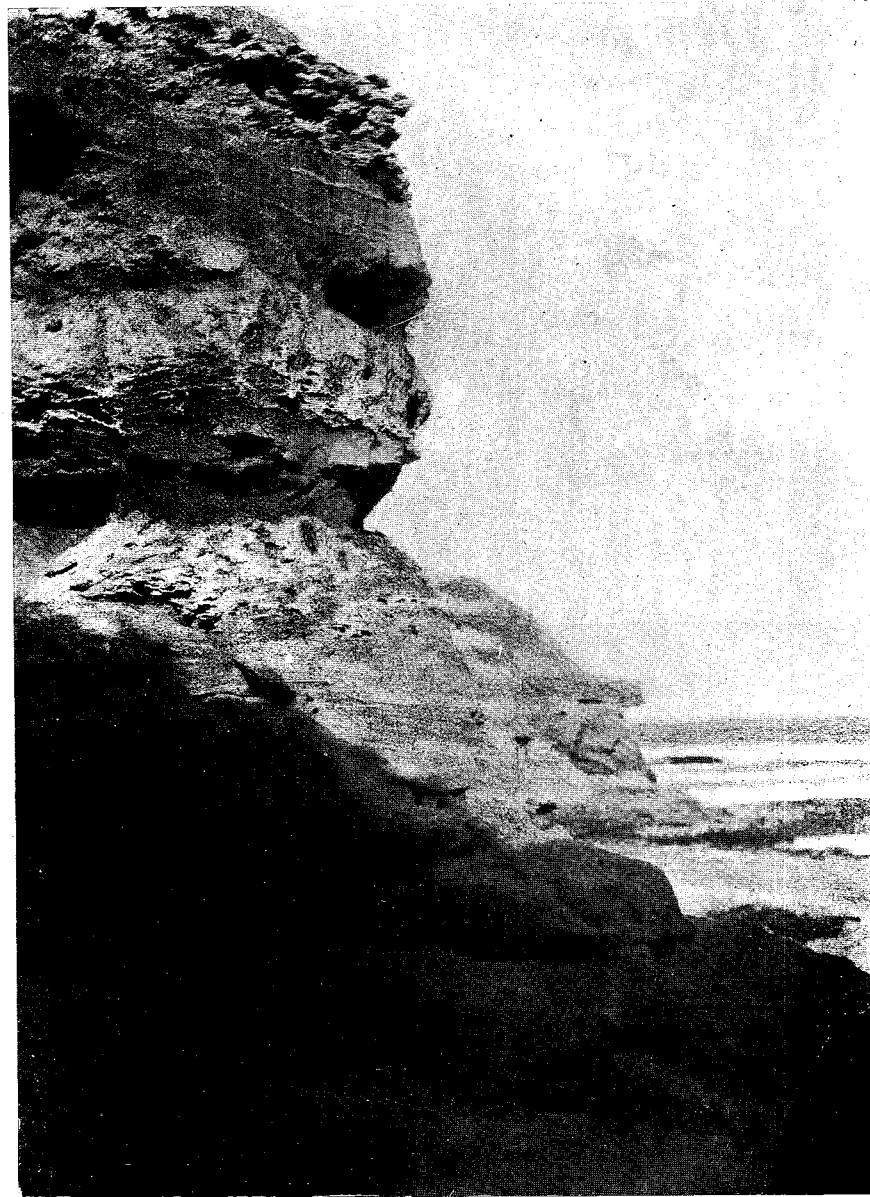
posición del loess las aguas tenían mayor participación que los vientos.

Los vestigios de erosión del viento, que se observan en las barrancas, son insignificantes en comparación con los del agua. Se ven con suma frecuencia anchos valles que han sido abiertos por ríos y arroyos a través de depósitos de loess antiguo rellenados de capas más modernas.

Ciertamente los vientos transportan continuamente materiales finos de un lado a otro y es cierto que las tormentas de tierra son más fuertes y más frecuentes en los años de seca que en los años lluviosos, pero esto



a



b



c

Vistas de las barrancas en la costa, entre Mar del Plata y Miramar, tomadas en tres distintas localidades que demuestran los cambios de la posición de los bancos de toscas

de ninguna manera nos prueba que durante el tiempo que se depositó la formación pampeana haya habido algún período en que toda esta región formaba un desierto estéril.

Las regiones de clima árido transfórmanse en desiertos con médanos de arena movediza, pero en ninguna zona desprovista de vegetación se ven formarse depósitos sedimentarios parecidos al loess pampeano.

El loess pampeano de todos los horizontes presenta el mismo carácter; la masa principal tiene el aspecto de los depósitos eólicos y contiene fósiles de mamíferos diseminados sin orden alguno; en él se encuentran interposiciones de capas de facies marinas, de arena pura fluvial y eólica, de ceniza volcánica, estratos lacustres o palúdicos con fósiles de agua dulce y depósitos de loess removido, caracterizado por las toscas rodadas. Las figuras 12 a 17 presentan la estructura de distintas capas de loess y lacustres.

En las serranías y en sus inmediaciones hay a veces en la masa de loess puro, fragmentos de rocas acutanguladas, como se observan en las morenas ¹. Entre las diversas facies se observan toda clase de transiciones; hay, por ejemplo, loess tan arenoso, que apenas se puede clasificar como tal, y en medio de la toba volcánica existen capas de loess muy puro, y otras más o menos transformadas.

Las distintas facies mencionadas se observan tanto en los depósitos más antiguos como en los más recientes.

Ahora bien, si la hipótesis de Bailey Willis fuese exacta, que el loess debe su singular uniformidad a cambios climatológicos periódicos, habría que admitirlos, no solamente para el cuaternario, sino por todo el terciario.

He tratado la opinión de estos dos geólogos tan detenidamente porque ellos, como he dicho ya, se han ocupado en los últimos años más que otros con el origen del loess. Hemos visto que uno y otro atribuían la uniformidad, que presentan estos depósitos, a la acción de los vientos. La diferencia entre Steinman y Bailey Willis consiste en que el primero opina que el material traído por los vientos ha sido triturado mecánicamente por los glaciares, mientras el segundo dice que se trata de sedimentos provenientes de las rocas descompuestas traídas por los ríos de las regiones montañosas y dispersadas en períodos áridos por los vientos. Resulta que ellos, así como los autores mencionados antes, creen que el material haya sido depositado en forma de loess, como se presenta en

¹ En Carhué, que se halla en plena llanura a más de 50 kilómetros de los primeros cordones de la Sierra de la Ventana, he visto capas de loess muy puro sembradas de rodados acutangulados sin otros vestigios característicos de morenas. Es muy probable que este material haya sido transportado por el agua muy gruesa durante grandes crecientes que llevaban los cascajos flotantes.



Fig. 13. — Estructura de loess removido, del horizonte mesopampeano

la llanura pampeana, lo que seguramente es un error. La masa principal del loess pampeano no se compone de arcilla y arena como la transportan los ríos, ni de limos glaciares, ni tampoco de arena o ceniza volcánica, como los depositan directamente los vientos. Las condiciones físicas y los caracteres petrográficos del loess pampeano son distintos de los de todos los mencionados sedimentos y está demostrado hasta la evidencia que se trata de un producto que ha sufrido un proceso diagenético, quiere decir que *los materiales han sufrido una transformación después de haber sido depositados*.

Me convengo siempre más que el material primario se compone, por lo menos en los horizontes inferiores, en gran parte de ceniza volcánica que ha sufrido una transformación.

Si examinamos las partes no descompuestas que contiene la masa, vemos que esta diferencia no es solamente de una localidad a otra sino también de un horizonte a otro. Ya he llamado la atención sobre el hecho que en el loess que se halla en la base de la barranca en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, predominan los productos volcánicos y en el de las capas neopampeanas de la misma localidad, las partículas de conchillas marinas y la arena fina. En el loess de Córdoba abundan los materiales de rocas cristalinas y en el que se halla encima de las capas marinas en Entre Ríos, la arena de rocas calcedónicas.

Gran parte del material no descompuesto del loess cretáceo se compone de los mismos sedimentos que las areniscas rojas en que abundan los productos de erupciones volcánicas.

Es evidente que el loess se puede formar de muy diversos sedimentos y que no depende de la clase del material primario sino del proceso diagenético que ha intervenido.

Los llamados depósitos lacustres, que a veces no tienen un metro de espesor y que se encuentran intercalados tanto en el loess cretáceo, como en el más moderno, neopampeano, presentan caracteres muy diferentes de los de la masa principal; sin embargo no cabe duda que se han formado de los mismos materiales primarios.

Este hecho demuestra claramente que la singularidad del loess no es motivada por la clase del material, ni por la manera cómo ha sido transportado, sino por la transformación que ha sufrido, después de haber sido depositado. En todas partes se puede observar que cuanto más rápidamente se han depositado los materiales tanto menos puro es el loess.

Un ejemplo tenemos en la diferencia que hay entre los estratos postpampeanos y los depósitos de loess pampeano; los primeros presentan, como he dicho, un carácter litológico y morfológico heterogéneo y los últimos, homogéneo. Los sedimentos postpampeanos se depositaron durante el período cuaternario; las capas inferiores que contienen restos de animales extinguidos, corresponden al tiempo diluvial y los superio-

res al aluvial. Se componen de estratos marinos, lacustres o palúdicos y de dunas. Desde Bahía Blanca hasta San Pedro se hallan únicamente



Fig. 14. — Estructura de loess en posición primaria, horizonte mesopampeano

en los terrenos bajos y alcanzan en algunas partes un espesor de más de treinta metros.

En ninguna parte se ven capas parecidas al loess primario; existen a veces pequeños depósitos que presentan analogías con el loess impuro

removido, lo que es muy explicable, teniendo en cuenta que una parte de este material proviene de la llanura pampeana. En el terreno alto no hay en ninguna parte de esta región estratos postpampeanos; sin embargo, no hay duda que durante todo el tiempo cuaternario ha habido también en estos lugares deposiciones de sedimentos, pero estas han sido tan lentas que se ha podido verificar un proceso diogenético más o menos perfecto. Así como en los lugares donde ha habido una sedimentación continua no se nota discordancia entre uno y otro horizonte, tampoco hay una discordancia entre la tierra vegetal y el loess; la transición es tan gradual que no es posible fijar el límite entre una y otro. Discordancias existen solamente en las partes donde ha habido una interrupción de sedimentación, por ejemplo, en los lugares de denudación, donde la tierra vegetal o capas más recientes se hallan directamente sobre capas más antiguas.

En el terreno alto de la llanura de la provincia de Buenos Aires el depósito de loess de los horizontes neo- y mesopampeanos no alcanzan un espesor de 40 metros.

El espesor del horizonte eopampeano no lo conocemos con exactitud, porque solamente las capas más superiores se hallan al descubierto. Se puede decir sin exageración, que el espesor de las capas visibles de los tres horizontes en la provincia de Buenos Aires no pasa en conjunto de 50 metros y durante este tiempo la fauna de mamíferos ha cambiado tres veces. Teniendo en cuenta que los depósitos postpampeanos alcanzan 30 metros de espesor, puede formarse una idea de la lentitud con que se efectuó la sedimentación del loess pampeano en la provincia de Buenos Aires. Un cambio de la fauna de mamíferos, como lo presenta la formación pampeana, se observa en otras partes solamente en capas que se depositaron durante el mioceno superior hasta el cuaternario.

Hace como 30 años, que he dicho que uno de los agentes más eficaces en la transformación de las distintas clases de sedimentos en loess ha sido la vegetación. Contrario a la hipótesis de Bailey Willis, según la cual, solamente en regiones estériles se forman depósitos de loess, sostengo que únicamente en lugares donde hay vegetación puede este formarse.

Es un hecho que no deja lugar a duda, que durante todo el tiempo en que se formó el loess pampeano, esta llanura estaba habitada por grandes mamíferos herbívoros, los que para su existencia necesitaban una abundante vegetación, que a su vez requería un clima húmedo. En todas partes donde hay plantas, se forma con el tiempo una capa de tierra vegetal y como no se encuentran interposiciones de esta clase de estratos, ni en los horizontes antiguos ni en los más recientes, forzosamente hay que admitir que esta se ha transformado en loess de la misma manera que los huesos frescos se convierten en fósiles. Se puede decir que el



Fig. 15. — Estructura de loess en posición primaria del horizonte eopampeano

loess es una tierra vegetal fósil. Contrario a la arcilla y el limo que contienen muchas materias orgánicas, el loess está casi libre de ellas.

La transformación de los diversos sedimentos en loess se verificó en las capas más superficiales, lo que nos explica la falta de materiales orgánicos, porque la oxidación de estas materias ha sido más completa que en los lugares que no estaban preservados del contacto directo con la atmósfera.

El loess se forma en todos los lugares donde hay tierra vegetal, no solamente en estepas como siempre se supone.

Esto se puede ver en los espesos bosques del Chaco, donde el suelo presenta las mismas condiciones, que en la llanura pampeana.

Las raíces de las plantas penetran al suelo, absorben la substancia mineral, que necesitan para su crecimiento y la vuelven a depositar en la superficie al descomponerse bajo otras combinaciones. Las plantas no sólo descomponen las rocas, sino que retienen también el material en las tierras donde crecen, de manera que las partes finas no pueden ser llevadas por los vientos y se forma en poco tiempo una capa de tierra vegetal donde antes no existía. Un ejemplo tenemos en Nápoles, cuando las corrientes de lava y ceniza en las grandes erupciones del Vesubio cubren el terreno. En las rocas volcánicas nacen primeramente pequeños organismos y luego plantas gramíneas que necesitan poca agua para crecer. Estas preparan el terreno para otras plantas y en pocos años el material volcánico se transforma en tierra vegetal muy fértil.

Practicándose una excavación en el terreno alto de la llanura pampeana, se ve que el contenido de *humus* disminuye gradualmente con la hondura hasta encontrarse loess puro, lo que está motivado por la forma en que se efectúa el proceso de la transformación. A medida que en la superficie se renuevan los productos de las plantas descompuestas y se mezcla con sedimentos que acarrearán el agua y el viento, las raíces de las plantas y otros procesos químicos descomponen los sedimentos y los materiales orgánicos desaparecen a causa de la oxidación, quedando por último como residuo los minerales que componen el loess.

En lugares donde la acumulación de nuevos sedimentos es rápido, el proceso de transformación es menos completo y por esto encontramos loess más o menos puro, lo que no sería el caso, si el viento lo hubiera depositado directamente. No es admisible suponer que los vientos, que transportan el polvo fino de otras regiones, depositen en una misma localidad en una parte loess puro y a poca distancia muy arenoso.

En todas partes donde por la naturaleza del terreno se puede constatar una sedimentación rápida, el loess es impuro. En las inmediaciones de las serranías abundan fragmentos más o menos grandes de rocas, que están diseminados en la masa de loess; estos seguramente no fueron

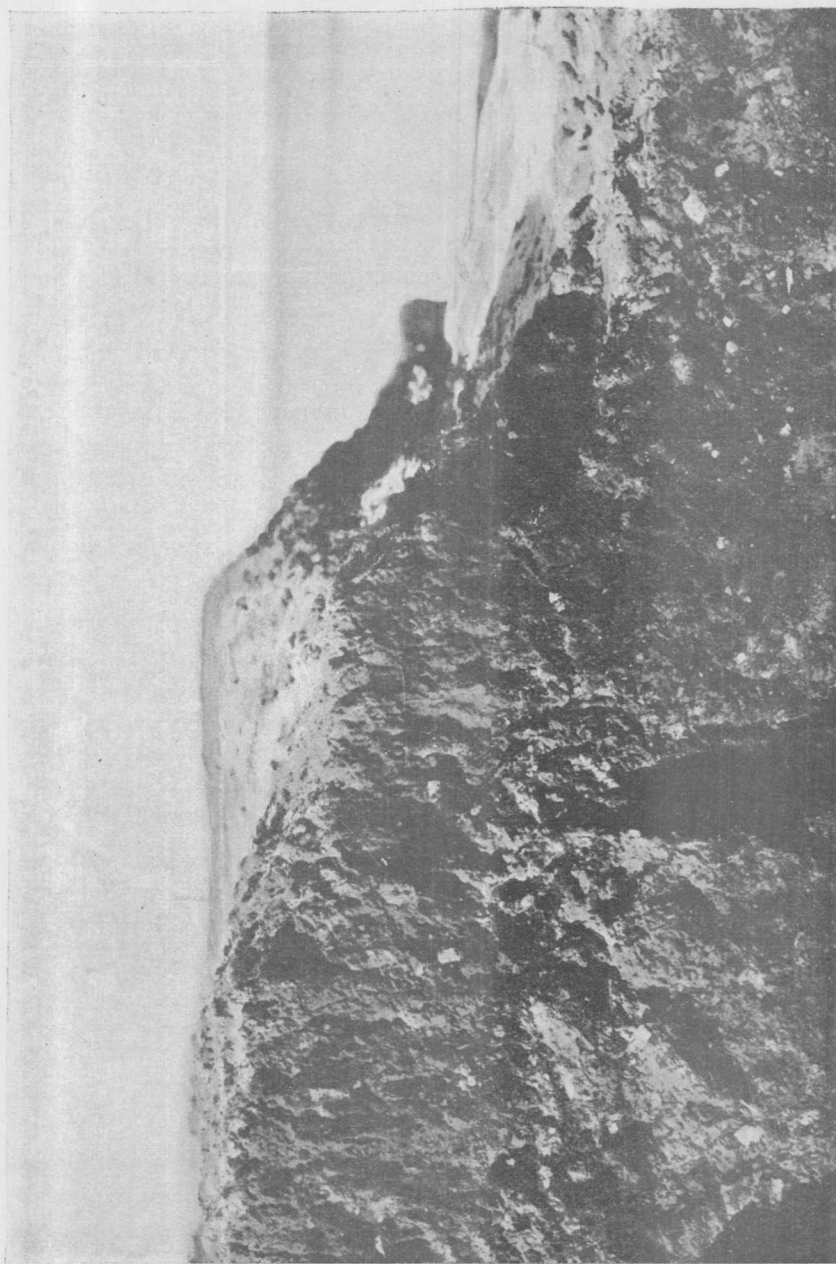


Fig. 16. — Estructura de depósito lacustre del horizonte neopampeano

transportados por los vientos, sino que son de la misma localidad y no han sido transformados en loess por su tamaño.

En el examen microscópico del loess pampeano se observan grandes cantidades de partículas irregulares, que algunos autores consideran como células silicosas de las plantas descompuestas.

No cabe la menor duda que las zeolitas, que forman la masa principal del loess pampeano típico, son minerales que se han formado secundariamente y es posible que provengan en parte de la descomposición de vegetales, pero no hay un método que permita identificar los que se han formado por procesos puramente químicos y los en que ha intervenido una acción biológica.

Si bien es cierto que la vegetación y los microorganismos, son los agentes más eficaces para la descomposición y transformación de los sedimentos en las capas superiores, no hay duda que la vida animal ha tenido también su participación. Darwin, por ejemplo, ha publicado un interesante estudio en que demostró que las lombrices, que viven en la tierra, tragan partículas de rocas, transformando de esta manera la composición de la tierra vegetal.

Todos estos procesos han sido, hasta aquí, poco estudiados, se conoce mejor la participación que ha tenido la vida orgánica en la formación de la caliza, que en la formación del loess.

Los trabajos petrográficos tratan extensamente de la diagénesis, que se produce en los sedimentos marinos y rocas metamórficas y no se ocupan de las acciones que se desarrollan en las capas de tierra vegetal.

Con la química agrícola, que se dedicó en los últimos años a la investigación de esta clase de problemas, estos estudios han adelantado mucho los conocimientos sobre el origen del loess. Ellos han contribuido a interpretar la verdadera naturaleza de los coloides del suelo; nos explican las causas, por qué los terrenos en los montes y en los campos en general presentan una estructura tan singular y demuestran cómo el polvo terroso fino se une en agregados o congregados (*Aggregate*), formando una masa de estructura migajosa, muy porosa y no plástica. La estructura migajosa que presenta el loess, es uno de los caracteres que lo distinguen de la arcilla y del limo. En las capas, donde las migajas están destruidas, lo que sucede frecuentemente en el loess removido, presenta más analogía con la arcilla y el limo, y algunos autores lo llaman loess limoso (*Loess-lehm*).

La diagénesis no ha terminado de ninguna manera con la transformación de los distintos materiales en loess; su acción es continua, como en todos los sedimentos.

Los bancos de toscas son de origen secundario, lo mismo que la consistencia petrosa que presentan las capas más antiguas, es debida a procesos químicos posteriores a la transformación primaria de los sedimen-

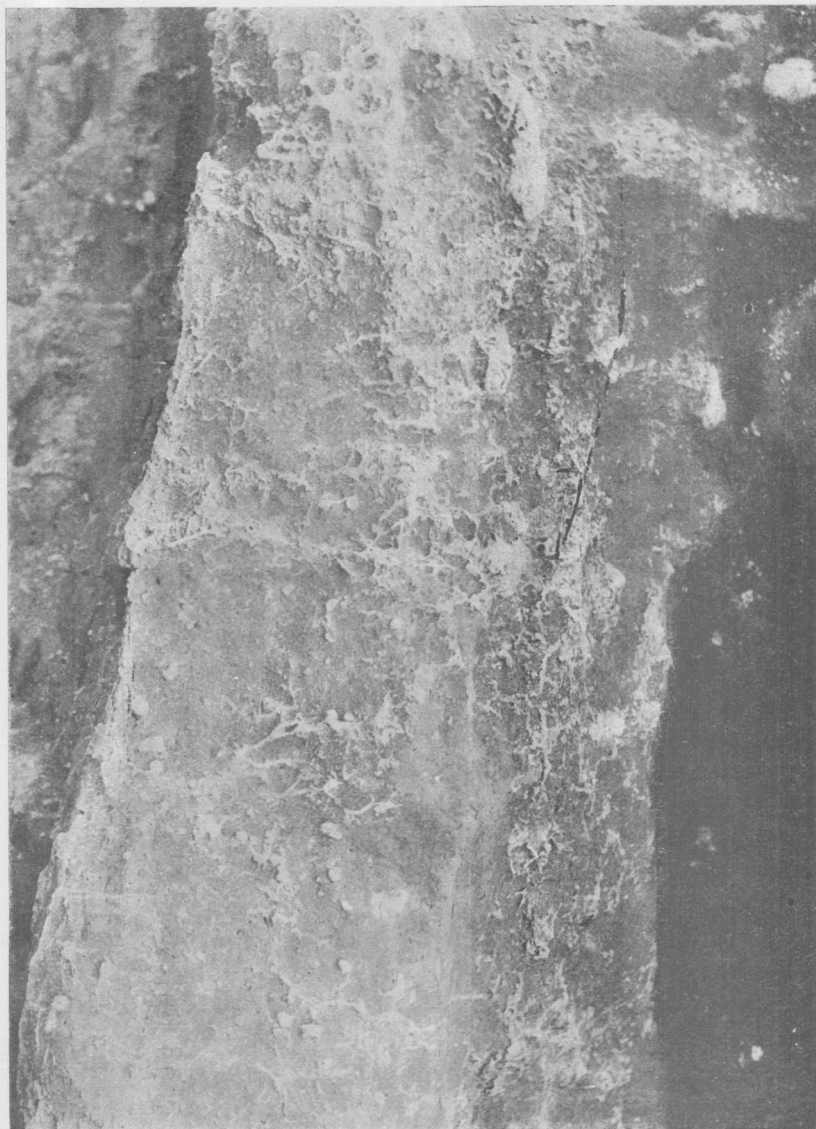


Fig. 17. — Estructura de capa lacustre del horizonte mesopampeano, intercalada en el loess

tos. Ciertamente la composición mineralógica del material influye en la diagénesis ; en loess muy calcáreo los bancos de toscas son más abundantes que en loess pobre de cal, pero las capas antiguas de igual composición que las más recientes son siempre más consistentes. El loess pampeano de los horizontes inferiores se diferencia del que hay en el valle del Rhin, porque es más antiguo y la diagenesis es más avanzada y no porque tiene distinto origen. 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.

En los depósitos cretácicos, encontramos bancos de loess tan consolidados que se lo puede usar para construcciones. Se podría objetar, que a éste no corresponde ya el nombre de loess, pero en tal caso habría que diferenciar también la arena suelta de la arenisca. En la formación de la arenisca roja encontramos arena suelta y bancos muy duros ; sin embargo, todo es considerado como arenisca.

Por lo expuesto está demostrado hasta la evidencia, que la formación del loess pampeano no está limitada a un determinado período geológico, como por ejemplo el glacial.

En resumen se puede decir *que el loess pampeano tiene el mismo origen que la tierra vegetal ; es tierra vegetal que ha perdido las sustancias orgánicas. En su génesis han intervenido dos procesos : el de la sedimentación y el de la loessificación.* En la sedimentación no solamente ha tenido participación el viento, sino también el agua. De arcilla proveniente de la descomposición de las rocas, depositada por el agua sobre superficies cubiertas de vegetación, puede formarse loess ; la materia coloidal de la arcilla toma en este caso una estructura migajosa y porosa, pierde su plasticidad y se transforma en una masa permeable. El material fino triturado mecánicamente por glaciares o cualquier otro agente, lo mismo que la ceniza volcánica depositada por los vientos, también tienen que experimentar una transformación para convertirse en loess. Su origen no depende ni de la composición del material ni de la manera de su transporte. El loess de la zona granítica de Tandil, por ejemplo, presenta la misma condición (estructura, color, etc.) que el de la sierra de la Ventana, que se formó de *detritus* provenientes de rocas de pizarra cristalina. En el uno como en el otro caso ha intervenido en su formación un proceso químico.

La loessificación se ha verificado en la tierra vegetal que está en contacto con la atmósfera donde podía verificarse el proceso de oxidación de las sustancias orgánicas ; en capas preservadas de la atmósfera no se forma loess. Se verificó también un proceso de metamorfosis en capas inferiores, en que ha intervenido como agente principal el agua que circula en ellas. Análogos procesos se verificaron, empero, también en otras

clases de depósitos sedimentarios. A este respecto véase el informe del doctor F. Bade, que se publica al final.

El proceso de sedimentación por el viento y el agua, y la loessificación, después de ser depositado el material no están en contradicción con ningún fenómeno que se observa en el terreno; así se comprende la presencia de cantos en el loess de las regiones montañosas, que por la teoría eólica no es explicable.

El conocimiento de estos hechos no es solamente de interés puramente científico, sino también de gran utilidad para las investigaciones prácticas. Sabiendo que la transformación de los minerales se opera en las capas superiores expuestas al contacto directo con la atmósfera, no podemos esperar encontrar en los depósitos de loess yacimientos de combustibles de origen orgánico porque debido al proceso de oxidación estas materias han desaparecido.

El carbón de piedra, el petróleo y los gases naturales tenemos que buscarlos en las capas marinas, lacustres o de pantanos, que se hallan en toda la llanura de la provincia de Buenos Aires, a mayores o menores profundidades, interpuestas en el loess de la formación pampeana. Estas capas se depositaron bajo condiciones muy distintas de las del loess; las materias orgánicas quedaron preservadas del contacto atmosférico y han estado sometidas a un proceso de descomposición completamente diferente del que se verifica en la tierra vegetal. De este problema me ocuparé en otro lugar.

He aquí el informe del doctor Bade, que contiene un resumen de los resultados obtenidos hasta ahora en los exámenes petroquímicos del loess pampeano.

El estudio petroquímico confirma plenamente que la formación del loess pampeano es debido a un proceso químico que el material ha sufrido después de haber sido depositado. En el análisis racional que el doctor Bade ha practicado, se verá que él distingue dos grupos de minerales, uno primario y otro secundario que se formó durante el proceso de loessificación. Él admite también dos transformaciones, una que se verifica solamente en las capas superiores (tierra vegetal) y otra que tiene lugar en el subsuelo, preservado de la influencia directa de la atmósfera.

Este proceso diagenético resulta bien claro del estudio sobre los fenómenos de absorción del loess pampeano.

VII

A. — Investigaciones petroquímicas del loess pampeano, por el doctor Federico Bade

En el presente trabajo se trata de aclarar en lo posible la composición del loess pampeano. Naturalmente el resultado obtenido está limitado por la naturaleza del método químico de investigación. Sin embargo, se han constatado algunos hechos que pueden ser de gran alcance para explicar el origen del loess.

La tarea de determinar cuantitativamente una mezcla de diferentes minerales, como el loess, los que están además en gran parte descompuestos, es casi imposible. Este material tan fino con 50 por ciento de partes arcillosas tampoco se presta para una separación mineralógica por su peso específico con la solución de Thoulet. Sin embargo hice un ensayo con el aparato Brogger aplicando el yoduro de metileno y mezclas de éste con benzene, pero sin resultado satisfactorio. Las partículas quedaron en suspensión por un tiempo demasiado largo y además una gran parte adheridas a las paredes del aparato. Por eso he renunciado a hacer la separación del loess íntegro; en cambio apliqué este método con buen resultado a la separación de la arena fina del loess, análisis específico (véase pág. 116).

De los métodos ópticos de investigación debí abstenerme, porque la fineza del material dificulta la determinación cuantitativa de los minerales. Quedaban entonces como únicos métodos de investigación los procedimientos químicos.

El método aplicado por mí se basa sobre el distinto comportamiento de ciertas clases de minerales tratándolos con soluciones alcalinas y ácidas. Por este método se puede determinar la presencia de ciertos *grupos* de minerales sin que se consiga individualizar la especie. En un trabajo que trata del loess de la formación pampeana los doctores W. Maigen y P. Werling ¹ han hecho un ensayo para caracterizar el loess por su comportamiento con ciertos disolventes. Además del análisis total ellos agregan los siguientes datos: 1° Las cantidades de óxido de aluminio y sílice soluble en una solución al 5 por ciento de hidrato de sodio; 2° Las de las sustancias solubles en ácido clorhídrico al 5 por ciento. La solución de tales concentraciones no se puede considerar como apropiada, sabiendo por las investigaciones de Lunge y Millberg

¹ *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Zu Freiburg i Br. Band XXI.*

que la sílice en forma de cuarzo en estado pulverulento no resiste a la acción disolvente de una lejía de 5 por ciento de sosa.

Pero el objeto de un ataque directo de la tierra pampeana con una solución alcalina no puede ser otro que el de determinar la cantidad de sílice libre que está en la tierra en forma amorfa soluble y además el óxido de aluminio no combinado. La primera puede tener su origen en los restos de esqueletos silicosos de foraminíferos o representarnos células silicizadas de vegetales. Por ensayos preliminares hemos podido constatar que la sílice de la tierra de infusorios (Kieselguns) tratándola con la solución de Lunge y Millberg (1 % NaOH y 5 % Na_2CO_3) es completamente soluble, pero lo mismo resulta con la sílice de las células vegetales; en un ensayo apropiado nos hemos cerciorado de este hecho. Elegimos el pasto fuerte para preparar con él una cantidad de células suficientes para nuestro objeto. Es evidente que por una simple incineración de éste se altera el estado del ácido silícico del esqueleto de la planta, transformándolo en un estado menos soluble. Para evitar este inconveniente no fué usada para la oxidación de las partes orgánicas del pasto la llama, sino una solución oxidante: la mezcla de bicromato de potasio con ácido sulfúrico. Conseguimos una cantidad suficiente de esqueletos que observándolos con el microscopio representaban todos los caracteres de células silicizadas de los vegetales, que resultaron solubles en la mencionada solución.

El resultado alcanzado por este método químico es, pues, limitado; este define en nuestro caso la presencia de cierta cantidad de ácido silícico libre y amorfo sin resolver el problema de su origen.

Por el mismo tratamiento alcalino entra en solución una cierta cantidad de óxido de aluminio. La presencia de este en estado libre y también la del óxido de hierro libre son una prueba determinante que en la formación de la tierra pampeana han influido en parte los mismos factores, que en las regiones tropicales favorecen la descomposición laterítica. Estas condiciones que contribuían a la formación de laterita son poco conocidas; la más verosímil es la teoría de Bauer. Según este autor, los hidratos de aluminio y de hierro representan los productos finales de un proceso de hidrólisis que han sufrido los silicatos disminuyendo la cantidad de sílice a causa del lavado de los suelos por las aguas de la lluvia.

Pero este proceso destructivo nunca ha tomado en la formación de la tierra pampeana un incremento tan grande como en las zonas tropicales. Al contrario, hay que admitir que dicho proceso de hidrólisis se ha detenido principalmente en una fase anterior a la descomposición laterítica, fase que podemos llamar constructiva, es decir, en la formación de los minerales de zeolitas.

Son estos minerales, silicatos dobles hidratados de aluminio, calcio y magnesia, que forman una gran parte del loess y que por sus cualidades

son semejantes o tal vez idénticos a las zeolitas del suelo (Bodenzeolithe).

El geólogo R. Gans trata de clasificar las múltiples zeolitas en su trabajo titulado *Zeolitas y compuestos análogos, su constitución y su importancia para la industria y la agricultura* ¹.

Según la capacidad de absorción respecto a soluciones de cloruro de amonio, de sales de calcio, potasio y sodio, el autor distingue tres grupos de zeolitas :

1^{er} Grupo : Aluminio-silicatos. Las zeolitas de este grupo que están caracterizadas por el *fácil intercambio* de sus bases ligadas con hidrato de aluminio, entre ellas hay que enumerar los siguientes minerales : Desmina, Stilbita, Chabasita y también los compuestos zeolíticos del suelo. Se supone en ellos un reemplazamiento de un hidrógeno hidroxílico del ácido silíceo por el radical $\text{Al}(\text{OH})\text{ONa}$.

2^o Grupo : Silicatos dobles de aluminio. La absorción, es decir, la conmutación de las bases de estos compuestos con otras de soluciones de sales es menos rápido, se acepta como probable un hidrógeno hidroxílico sustituido por el radical $(\text{AlO})\text{H}_2$.

También esta clase de zeolitas se encuentran en las capas superiores descompuestas del suelo y pueden formarse de los minerales del primer grupo por acción de ácidos.

3^{er} Grupo : Natrolita y Analcima. Estas demuestran apenas un poder de absorción. En estos silicatos la sílice está unida con el óxido de aluminio por una triple ligadura.

Esta clasificación de Gans tiene solamente un valor limitado para nosotros, pues como el loess representa una mezcla de distintos minerales y un aislamiento de las zeolitas no ha sido posible, lo único que podemos constatar es que en el loess están contenidos silicatos dobles de aluminio, y Ca y Mg, cuyo alto poder de absorción nos hace suponer la semejanza de estos con las zeolitas del primer grupo de las chabasitas y stilbitas.

Como todos estos minerales se caracterizan por la fácil descomposición con ácido clorhídrico, tenemos en la determinación de las partes solubles del loess en este reactivo un medio aproximado para avaluar la cantidad de las substancias zeolíticas ; fué esto la causa por qué nosotros hemos empleado el análisis racional del loess por el ataque con ácido clorhídrico. Nuestro modo del análisis racional se compone de las siguientes fases :

1^a Ataque con la solución alcalina ;

2^a Ataque con ácido clorhídrico ;

3^a Ataque con ácido sulfúrico ;

¹ *Jahrbuch der Rgl. Preussischen Geologischen Landesanstalt, Haft 2, 1905.*

4^a Disgregación del residuo con carbonato de sodio. Estas operaciones y sus resultados trataremos en la parte especial.

COMPOSICIÓN DE LA TIERRA PAMPEANA

Análisis físico de la tierra pampeana

La separación de las partículas de la tierra según su diámetro se ha hecho con el aparato de Schone. El loess presenta bastantes dificultades para la separación, por estar las partes arcillosas muy ligadas a las arenosas. Aun haciendo hervir previamente la tierra durante largo tiempo, como aconseja Hilgard para esta clase de sedimentos, no se obtiene el resultado deseado, pues siempre quedan partes arcillosas pegadas a las arenosas. Se podría tratar primeramente la tierra con ácido clorhídrico diluido para ablandarla, como recomiendan algunos químicos, pero a mi parecer este procedimiento es contrario al verdadero objeto del análisis que debe darnos a conocer la verdadera naturaleza de la tierra, porque de ella dependen en mucho sus cualidades físicas. Una partícula de carbonato de cal, por ejemplo, hace físicamente el mismo efecto que un grano de cuarzo o feldespato; el tratamiento con ácido clorhídrico haría desaparecer esta partícula de cal quedando naturalmente falseado el análisis físico.

En la muestra analizada por nosotros el contenido de carbonato de calcio es muy insignificante, así que no tendría mucha influencia en este caso el tratamiento con ácido clorhídrico; pero hemos observado otra alteración en el loess tratándolo con ácido clorhídrico diluido. El siguiente cuadro demuestra que se trata de cantidades no despreciables de sustancias minerales, que una solución de 5 por ciento del ácido extrae del loess.

Concentración del ácido clorhídrico al 5 por ciento

Temperatura	Tiempo en horas	Substancias disueltas		
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Normal	1/2	0,149	0,080	0,286
Normal	1	0,290	0,144	0,486
Normal	2	0,360	0,180	0,533
55°.	1/2	0,350	0,199	0,611

No se debe, pues, aconsejar que se prepare el loess de esta manera para obtener más fácilmente la separación mecánica. He encontrado que el siguiente procedimiento es más adecuado. La muestra de loess

se hierve primero con agua por algún tiempo; se decantan en seguida las partes arcillosas suspendidas en el agua y el residuo se aplasta cuidadosamente con un pistillo de goma; se decanta de nuevo y se sigue la operación hasta que las aguas de decantación no contengan arcilla. Hecho esto se deja pasar el residuo y las aguas de lavaje por el aparato de «Schone» obteniendo así, sin dificultad, la separación de las partículas según su diámetro.

Análisis físico del loess de La Plata

Diámetro en milímetros de las partículas	Gramos por ciento
Menor y hasta 0,004.....	54,0
De 0,004 hasta 0,03.....	2,5
De 0,030 hasta 0,035.....	10,5
De 0,035 hasta 0,040.....	5,7
De 0,040 hasta 0,045.....	4,0
De 0,045 hasta 0,050.....	5,0
De 0,050 hasta 0,075.....	17,0
De 0,075 hasta 0,1.....	2,0

Para formarse una idea de la fineza de las partículas del loess, hay que compararlas con los granos de arena de las dunas, conocidos por sus tamaños reducidos; según Atterberg, su diámetro es término medio 0,2-0,6 milímetros; ninguna fracción del loess llega a este tamaño.

Suponiendo que las finísimas partes formaran una simple mezcla resultaría un sedimento casi impermeable, debiéndose, por consiguiente, atribuir la permeabilidad del loess a la estructura particular que presentan estos depósitos.

La estructura particular es debida a una especie de concretación, es decir, a la unión de las partes arcillosas en forma de granos que constituyen una masa de estructura migajosa («Krümelstruktur»). Parece, con mucha probabilidad, que la materia de cementación sea ácido silícico, libre, amorfo y soluble, que siempre se encuentra en el loess en cantidad considerable, o quizá también masas zeolíticas.

El proceso de cementación se puede ver claramente en uno de los constituyentes del loess: examinando con el microscopio las partículas de «hierro magnético» contenidas en el loess, se observan que están casi siempre ligadas con otros minerales de tal manera que resisten a la separación mecánica, lo que no pasa con el hierro magnético de las arenas fluviales; en la estructura migajosa del loess debemos buscar la causa de su porosidad y, por consiguiente, su permeabilidad y su gran capilaridad.

Separación de las partes arenosas de loess por su peso específico

Para esta operación hemos usado el yoduro de metileno en combinación con el benzene, según R. Brauns; obtuvimos por este medio las siguientes fracciones:

Peso específico	100 partes de arena contienen por ciento
Hasta 2,51.....	7,5 muchas partes vidriosas
De 2,51 hasta 2,6.....	26,5 ortoclas y partes vidriosas
De 2,6 hasta 2,64.....	31,5 oligoclas y cuarzo
De 2,64 hasta 2,67.....	17,5 oligoclas y cuarzo
De 2,67 hasta 2,725.....	2,0 anortita
De 2,725 hasta 2,8.....	2,05 mica
Menor que 3,0.....	4,0 augita, turmalina, hornblenda
Mayor que 3,0.....	3,0 magnetita
Pérdida	5,5 pérdida

Separadas las partes arcillosas arenosas del loess encontré en éstas unas migajillas de color negruzco que llamaron mi atención; estas partículas de 0,1 milímetro de diámetro aproximadamente son poco consistentes, tratándolas con ácido clorhídrico daban lugar a fuertes desprendimientos de cloro: separándolas cuidadosamente por medio de lente he juntado material suficiente para efectuar este análisis:

Porcentaje de las partes solubles en ácido clorhídrico

Bióxido de manganeso	13,5 %
Óxido de aluminio.....	8,6
— de hierro.....	5,2
	27,3 %

Porcentaje de las partes insolubles en ácido clorhídrico

Sílice	61,2 %
Óxido de aluminio.....	4,4
— de hierro.....	3,8
— de calcio	1,2
— de magnesio	0,8
	71,4 %

La cantidad del peróxido de manganeso, que es muy notable, fué determinada según el método yodométrico de Bunsen. En el suelo y subsuelo de la provincia de Buenos Aires el manganeso se encuentra, a menudo, en la forma de concreción arcillosa, conteniendo peróxido de manganeso. En este caso la reacción de Volhard para la comprobación

de la presencia de manganeso o su dosaje naturalmente queda sin resultado, puesto que el peróxido de manganeso es insoluble en ácido nítrico; siendo así debe determinarse por extracción *clorhídrico* según el método de Fresenias.

ANÁLISIS QUÍMICO DEL LOESS PAMPEANO

El análisis químico racional nos proporciona datos notables sobre el carácter particular del loess; nuestro método de análisis se basa en las investigaciones de Lunge y Millberg sobre la solubilidad de las diferentes formas del ácido silícico en soluciones de carbonatos e hidratos de sodio. Según estos autores, el método más apropiado para separar el ácido silícico amorfo del cristalizado (cuarzo) consiste en aplicar una solución que contiene 5 por ciento de carbonato de sodio y 1 por ciento de hidrato de sodio. Esta operación produce solamente la solución del ácido silícico amorfo libre, que luego se determina del modo usual. Hecho esto se tratan los sedimentos con ácidos: es sabido que el ácido clorhídrico concentrado ataca solamente en una proporción insignificante la caolina, tipo de la arcilla pura, mientras que el ácido sulfúrico concentrado la descompone pero no altera los feldespatos.

Tratando, pues, una muestra de tierra, primero, con ácido clorhídrico, se descomponen ciertas sustancias minerales que acompañan a la arcilla. Uno de los caracteres singulares del loess pampeano es el alto porcentaje de sustancias minerales de fácil descomposición con el ácido clorhídrico. Ahora bien; los sedimentos volcánicos y el puzolano que se usa para morteros hidráulicos presentan condiciones semejantes, lo que se atribuye a la presencia de zeolitas, es decir, silicatos dobles de aluminio y principalmente de calcio que contiene cierta cantidad de agua de constitución. El ácido clorhídrico pone en libertad una cantidad considerable de ácido silícico, la cual se disuelve por el reactivo de Lunge y Millberg y se determina. Esta cantidad de ácido silícico es la que pertenece a las zeolitas; después de haber así eliminado los componentes de estos minerales, se vuelve a tratar la misma muestra con ácido sulfúrico concentrado, para descomponer la arcilla (caolina); las bases de estas sustancias van en solución y tratando el residuo con la solución alcalina de Lunge, se obtiene la separación del ácido silícico puesto en libertad que correspondía a la caolina.

El residuo que nos queda, contiene solamente cuarzo y feldespato o sustancias análogas; disgregándolo con carbonato de sodio y siguiendo el método común para análisis de silicatos, se determina, por fin, la cantidad total de ácido silícico, óxido de aluminio y de calcio. De las relaciones de estas sustancias se puede calcular entonces por la fórmula

publicada por Hazard y Tschermak el porcentaje de cuarzo, anortita, ortoclas y albita.

Para mayor claridad doy a continuación un cuadro que demuestra el curso que hemos seguido en el análisis racional :

Esquema para el análisis racional del loess

(Tierra pampeana tratada con el reactivo de Lunge)

Residuo	Solución
Lavado y tratado con ácido clorhídrico concentrado.	Contiene el ácido silíceo libre, amorfo, y el óxido de aluminio libre del loess.
Residuo	Solución
Tratado con el reactivo de Lunge.	Contiene las bases de las substancias zeolíticas.
Residuo	Solución
Tratado con ácido sulfúrico concentrado.	Contiene el SiO_2 de las zeolíticas.
Residuo	Solución
Tratado con el reactivo de Lunge.	Contiene las bases de la caolina (a).
Residuo	Solución
Disgregado con la mezcla de Na_2CO_3 y K_2CO_3 .	Contiene el ácido silíceo de la caolina (3) (b).

y después de determinado el contenido total en SiO_2 , Al_2O_3 y CaO , se ha calculado las cantidades del cuarzo y de los feldespatos.

El análisis total, que hemos efectuado antes del racional, nos suministra los siguientes datos :

I. Análisis total del loess pampeano de la barranca de La Plata

Agua a 120°	4,32 %
Pérdida al rojo.....	3,38
Ácido silíceo (SiO_2)	62,70
Óxido de hierro (Fe_2O_3).....	6,00
— de aluminio (Al_2O_3).....	15,00
— de manganeso (Mn_2O_3)	0,60
— de calcio (CaO).....	2,80
— de magnesio (MgO).....	1,9
— de potasio (K_2O).....	1,88
— de sodio (Na_2O) por diferencia.	1,40
Cloro (Cl)	0,02
Ácido sulfúrico (SO_3)	rastros

II. *Análisis racional del loess natural observando el esquema* (pág. 220)

1º Tratamiento directo con el reactivo de Lunge :

Ácido silíceo libre amorfo y soluble... 3,52 %

2º Tratamiento del residuo con ácido clorhídrico concentrado :

a) Soluble en el ácido :

Ácido silíceo (SiO_2)	0,25 %
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	4,26
— de aluminio (Al_2O_3)	7,51
— de manganeso (Mn_2O_3)	0,20
— de calcio (CaO)	1,25
— de magnesio (MgO)	1,12

b) Precipitado por el ácido clorhídrico y disuelto después por el reactivo de Lunge :

Ácido silíceo (SiO_2)

14,50 %

3º Residuo de la operación anterior tratado con ácido sulfúrico y después con la solución de Lunge :

a) Óxido de aluminio (Al_2O_3)	1,67 %
b) Ácido silíceo (SiO_2)	2,81

4º Residuo, disgregándolo con la mezcla de carbonato de sodio y de potasio, contiene :

Ácido silíceo (SiO_2)	41,05 %
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	6,70
— de calcio (CaO)	1,36

Nota. — Todos los datos fueron calculados en por ciento de la substancia original.

Resulta, pues, que el ácido silíceo contenido en el loess se reparte del modo siguiente :

1º Ácido silíceo libre :

a) Amorfo y soluble	3,52 %
b) Cristalizado (cuarzo)	20,29

2º Ácido silíceo combinado :

a) En substancias zeolíticas	14,75 %
b) En la arcilla (caolina)	2,81
c) En anortita	2,93
d) En feldespato de potasio y sodio ..	15,76
e) En pérdidas de la operación	2,64
Suma	62,70 %

Las partes finas del loess con un diámetro menor que 0,004 milímetros las hemos analizado en la misma forma :

Análisis total

Agua a 120°	5,30 %
Pérdida al rojo	7,33
Ácido silíceo (SiO_2)	55,80
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	5,60
— de aluminio (Al_2O_3)	17,68
— de manganeso (Mn_2O_4)	0,43
— de calcio (CaO)	2,15
— de magnesio (MgO)	1,64
— de alcalino por diferencia (Na_2O)	4,07

Análisis racional de las partes menores de 0,004 milímetros del loess

1º Tratamiento directo con la solución de Lunge :

Ácido silíceo (SiO_2)	7,34 %
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	0,34

2º Ataque con ácido clorhídrico concentrado :

a) Soluble en el ácido :

Ácido silíceo (SiO_2)	0,29 %
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	4,80
— de aluminio (Al_2O_3)	12,92
— de manganeso (Mn_2O_4)	0,35
— de calcio (CaO)	1,17
— de magnesio (MgO)	1,05

b) Óxido silíceo precipitado por el ácido clorhídrico y disuelto en la solución alcalina :

Ácido silíceo (SiO_2)	22,00 %
--	---------

3º Tratamiento del residuo con ácido sulfúrico concentrado y después con la solución alcalina :

a) Óxido de aluminio (Al_2O_3)	4,42 %
b) Ácido silíceo (SiO_2)	5,89

4º Disgregación del residuo con carbonato de sodio y de potasio :

Ácido silíceo (SiO_2)	18,83 %
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	3,36
— de calcio (CaO)	0,59
— de magnesio (MgO)	rastros

El ácido silíceo de las partes finas del loess está repartido del modo que sigue :

1º Ácido silíceo libre :

a) Amorfo y soluble	7,34 %
b) Cristalizado (cuarzo)	9,46

2º Ácido silíceo combinado :

a) En zeolitas.....	22,00 %
b) En caolina.....	5,90
c) En anortita.....	1,29
d) En feldespato de potasio y sodio..	8,10
Pérdidas	1,71
Suma.....	55,80 %

De estos análisis resulta que la mayor parte del loess pampeano y en más alto grado sus partes finas se compone de substancias zeolíticas, como lo demuestra el siguiente cuadro :

Tierra pampeana natural		Partes finas de 0,004 milímetros
Ácido silíceo libre amorfo	3,52 %	7,34 %
Cuarzo	20,30	9,46
Zeolitas.....	41,88	58,07
Caolina.....	4,48	10,31
Anortita	6,80	2,90
Feldespato de potasio y sodio. 23,62		11,89

Para demostrar mejor la singularidad de la tierra pampeana respecto a su gran contenido en substancias de fácil descomposición, agregaré finalmente un cuadro relativo a las cantidades de estos minerales contenidos en varias especies de loess :

Clase de tierra	Partes descompuestas
Loess de La Plata.....	45,40 %
Partes finas 0,004 milímetros del mismo.....	65,75
Loess natural de Córdoba	65,49
— de China (de la expedición de Richthofen)...	34,13
— de Alemania, según Hilger	31,22
Puzolana de la Auvergne, según Rivot.....	41,10

Hemos visto, pues, que el loess de la República Argentina sobrepasa, en cuanto a su fácil descomposición, la puzolana y mucho más aún el loess de Alemania y de China. Las cantidades de ácido silíceo puestas en libertad por el ácido clorhídrico y las de las bases que van al mismo tiempo en solución, no se hallan en una simple relación estequiométrica. Debemos suponer, pues, que los silicatos llamados zeólicos no corresponden a un solo tipo de minerales sino a una mezcla de varios.

Para ampliar el estudio sobre el loess pampeano, fueron investigadas algunas muestras más, procedentes de diferentes horizontes de la formación pampeana y elegidas por el doctor Santiago Roth ; eran las siguientes :

- I. Eopampeano de Miramar, profundidad de 8 metros ;
- II. Neopampeano de Baradero, profundidad de 3 metros ;
- III. Infrapampeano de Salto Oriental, que se encuentra bajo la arenisca roja ;

IV. Infrapampeano calcáreo que se encuentra bajo la arenisca roja;
V. Ceniza volcánica del neopampeano de Monte Hermoso, profundidad variable.

Para los análisis se ha seguido el mismo método explicado anteriormente con la muestra de La Plata.

I. LOESS EOPAMPEANO DE MIRAMAR

A. *Análisis general*

Ácido silícico (SiO_2)	57,16 %
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	5,43
— de aluminio (Al_2O_3)	17,28
— de calcio (CaO)	2,83
— de magnesio (MgO)	1,67
— de sodio (Na_2O)	} por diferencia 3,68
— de potasio (K_2O)	
Agua 120°	8,35
Pérdida al rojo	3,60
Total	100,00 %

B. *Determinación de los óxidos libres*

Las cantidades de anhídrido silícico y óxido de aluminio, contenidas en la tierra en estado libre, fueron determinadas por el método de Lunge, tratamiento con una solución alcalina (5 por ciento de carbonato de sodio y 1 por ciento NaO); el óxido de hierro libre, según Folmer Johnson, con una solución de sulfato de cobre; el eopampeano contiene:

Anhídrido silícico (SiO_2)	4,76 %
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	0,89
— de hierro (Fe_2O_3)	1,54

C. *Solución clorhídrica*

Ácido silícico (SiO_2)	14,44 %
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	3,25
— de aluminio (Al_2O_3)	7,34
— de calcio (CaO)	0,79

Las proporciones moleculares son las siguientes:

SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO
= 0,2391	: 0,0203	: 0,0708	: 0,0141
24	2	7	1
Al_2O_3	}	: $\text{SiO}_2 = 1 : 2,66$	
Fe_2O_3		: $\text{SiO}_2 = 1 : 3,43$	
Al_2O_3		: $\text{SiO}_2 = 1 : 3,43$	

D. Solución sulfúrica

		Proporciones moleculares
SiO ₂	2,54 %	0,04205
Fe ₂ O ₃	0,28	0,00175
Al ₂ O ₃	1,97	0,01928
CaO.....	0,39	0,00695
$\left. \begin{array}{l} \text{Al}_2\text{O}_3 \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 \end{array} \right\} : (\text{SiO}_2) = 1:2$		

E. Disgregación del residuo por medio de carbonato de sodio

		Proporciones moleculares
Ácido silícico (SiO ₂).....	34,80 %	0,5762
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃).....	7,98	0,0781
— de calcio (CaO).....	1,61	0,0287
CaO : Al ₂ O ₃ : SiO ₂	2,9 : 7,8 : 58	
	1 = 2,7 : 20	
	1 : 7	

II. NEOPAMPEANO DE BARADERO

A. Análisis general

Ácido silícico (SiO ₂).....	59,86 %
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃).....	4,80
— de aluminio (Al ₂ O ₃).....	17,40
— de calcio (CaO).....	3,08
— de magnesio (MgO).....	1,71
— de sodio (Na ₂ O).....	1,71
— de potasio (K ₂ O).....	1,97
— de manganeso (Mn ₃ O ₄).....	0,00
Agua 120°.....	6,04
Pérdida al rojo.....	3,22
Total.....	99,79 %

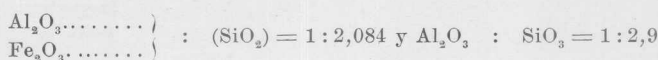
B. Determinación de los óxidos libres

Ácido silícico (SiO ₂).....	4,97 %
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃).....	0,83
— de hierro (Fe ₂ O ₃).....	0,39

C. Extracción clorhídrica

		Proporciones moleculares
Ácido silícico (SiO ₂).....	11,79 %	0,1953
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃).....	4,53	0,0284
— de aluminio (Al ₂ O ₃).....	6,91	0,0676
— de calcio (CaO).....	1,95	0,0347
— de magnesio (MgO).....	1,08	0,0268

Relación molecular :



D. Solución sulfúrica

		Proporciones moleculares
Ácido silíceo amorfo soluble (SiO_2)..	3,22 %	0,0671
Óxido de hierro (Fe_2O_3).....	0,14	0,0009
— de aluminio (Al_2O_3).....	3,01	0,0295
— de calcio (CaO).....	0,19	0,0034
— de magnesio (MgO).....	0,17	0,0042
$\begin{array}{l} \text{Al}_2\text{O}_3 \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 \end{array} \} : (\text{SiO}_2) = 1:2,2$		

E. Composición del residuo no atacado por ácidos

		Proporciones moleculares
Ácido silíceo (SiO_2).....	38,62 %	0,6394
Óxido de aluminio (Al_2O_3).....	5,21	0,0510
— de calcio (CaO).....	0,73	0,0130
$\text{CaO} : \left\{ \begin{array}{l} (\text{Al}_2\text{O}_3) : (\text{SiO}_2) = 1:4:50 \\ (\text{Al}_2\text{O}_3) : (\text{SiO}_2) = 1:12 \frac{1}{2} \end{array} \right.$		

III y IV. INFRAPAMPEANO DEL SALTO

A. Análisis general del loess

	III	IV (Calcareo)
Ácido silíceo (SiO_2).....	61,46 %	56,56 %
Óxido de hierro (Fe_2O_3).....	4,91	4,19
— de aluminio (Al_2O_3).....	14,72	13,93
— de calcio (CaO).....	2,46	6,47
— de magnesio (MgO).....	1,85	1,77
— de sodio (Na_2O).....	1,56	1,70
— de potasio (K_2O).....	1,74	1,74
— de manganeso (Mn_3O_4)....	0,19	0,14
Agua 120° (H_2O).....	7,11	6,71
Pérdida al rojo.....	4,56	6,80 ⁽¹⁾
Ácido carbónico (CO_2).....	0,0	3,20
Total.....	100,56 %	100,01 %

B. Determinación de los óxidos libres

	III	IV
Ácido silíceo amorfo soluble (SiO_2)..	4,03 %	5,83 %
Óxido de aluminio (Al_2O_3).....	0,37	0,19
— de hierro (Fe_2O_3).....	0,28	0,00

(¹) Incluso 3,2 por ciento de ácido carbónico.

C. Extracción clorhídrica

	III	IV	Proporciones moleculares	
			III	IV
Ácido silíceo (SiO_2)	10,83 %	9,08 %	0,1793	0,1503
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	3,48	3,73	0,0218	0,0234
— de aluminio (Al_2O_3) . . .	5,32	4,13	0,0503	0,0400
— de calcio (CaO)	1,44	5,49	0,0257	0,0978
— de magnesio (MgO) . . .	1,56	1,36	0,0387	0,0337

Relación molecular :

	III	IV
Al_2O_3 : (SiO_2)	1 : 3,6	1 : 3,75
Al_2O_3 } : (SiO_2)	1 : 2,57	1 : 2,38
Fe_2O_3 }		

D. Extracción sulfúrica

	III	IV	Proporciones moleculares	
			III	IV
Ácido silíceo (SiO_2)	10,35 %	8,50 %	0,17136	0,1407
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	1,49	0,03	0,00933	0,0002
— de aluminio (Al_2O_3) . . .	5,56	4,71	0,0544	0,0461
— de calcio (CaO)	0,10	0,00	0,0018	0,0000
— de magnesio (MgO) . . .	0,37	0,37	0,00917	0,00917

Relación molecular :

	III	IV
Al_2O_3 : (SiO_2)	1 : 3,18	1 : 3,06
Al_2O_3 } : (SiO_2)	1 : 2,7	1 : 3,00
Fe_2O_3 }		

E. Composición del residuo no atacable por ácidos

	III	IV	Proporciones moleculares	
			III	IV
Ácido silíceo (SiO_2)	35,28 %	35,17 %	0,5841	0,5813
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	2,87	4,67	0,0281	0,0455
— de calcio (CaO)	0,52	0,91	0,0093	0,0163
— de magnesio (MgO)	0,04	0,05	0,0010	0,0010

Relación molecular :

	III	IV
Al_2O_3 : (SiO_2)	1 : 20,8	1 : 12,7

Hemos agregado a los análisis de muestras de loess pampeano el de una ceniza volcánica de Monte Hermoso, pues como en parte los minerales del loess consisten en materiales vitreos de origen volcánico y que, según B. Willis, importan hasta un 80 por ciento, sería interesante esta-

blecer por un análisis racional si la fácil descomposición del loess respecto a ciertos reactivos se puede atribuir a un mayor o menor contenido de « ceniza volcánica ».

A. *Análisis general de la ceniza volcánica de Monte Hermoso*

Ácido silíceo (SiO_2)	66,04 %
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	2,18
— de aluminio (Al_2O_3)	13,09
— de calcio (CaO)	0,71
— de magnesio (MgO)	0,55
— de sodio (Na_2O) ... } por diferencia...	6,57
— de potasio (K_2O) .. }	
— de manganeso (Mn_3O_4)	0,17
Agua a 120° (H_2O)	5,75
Pérdida al rojo	4,94
Total	100,00 %

B. *Determinación de los óxidos libres*

Ácido silíceo libre (SiO_2)	1,45 %
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	0,46

C. *Extracción clorhídrica*

		Proporciones moleculares
Ácido silíceo (SiO_2)	3,76 %	0,0621
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	0,50	0,0031
— de aluminio (Al_2O_3)	1,60	0,0157
— de calcio (CaO)	0,14	0,0025
— de magnesio (MgO)	0,33	0,0082
— de manganeso (Mn_3O_4)	0,05	0,0002

Relación molecular :

$$\begin{aligned} (\text{Al}_2\text{O}_3) & : (\text{SiO}_2) = 1 : 4 \\ (\text{Al}_2\text{O}_3) \} & : (\text{SiO}_2) = 1 : 3,3 \\ (\text{Fe}_2\text{O}_3) \} & \end{aligned}$$

D. *Extracción sulfúrica*

		Proporciones moleculares
Ácido silíceo (SiO_2)	0,50 %	0,0083
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	0,14	0,00137
— de calcio (CaO)	0,05	0,0009
— de magnesio (MgO)	0,02	0,0005

Relaciones proporcionales :

$$(\text{Al}_2\text{O}_3) : (\text{SiO}_2) = 1 : 6$$

E. Composición del residuo no atacable por ácidos

		Proporciones moleculares
Ácido silíceo (SiO_2).....	59,55 %	0,9859
Óxido de aluminio (Al_2O_3).....	10,53	0,1030
— de hierro (Fe_2O_3).....	1,60	0,0100
— de calcio (CaO).....	0,56	0,0100
— de magnesio (MgO).....	0,20	0,0050
— de manganeso (Mn_2O_4).....	0,19	0,0008

Relación molecular :

$$(\text{Al}_2\text{O}_3) : (\text{SiO}_2) 1 : 10$$

CONSIDERACIONES

Comparando los resultados de los análisis totales de estas muestras, llama la atención una uniformidad bastante grande del porcentaje de los componentes principales. Las muestras de loess de Baradero y de Miramar tienen casi una composición idéntica, con la única excepción del contenido en ácido silíceo que en el loess eopampeano sobrepasa por 2,5 por ciento al de Baradero, no obstante de tratarse de localidades tan distantes una de la otra.

En cambio en el loess infrapampeano observamos una disminución en el porcentaje de óxido de aluminio y un ligero aumento en sílice.

La ceniza volcánica se distingue por su alto contenido de álcali 6,57 por ciento contra 3,7 por ciento de las muestras de loess y en sílice 66,04 por ciento.

El análisis racional de la ceniza volcánica demuestra que el porcentaje de sustancias zeolíticas y caolínicas es muy pequeño, por lo tanto la fácil descomposición del loess con ácidos, no se puede atribuir a la presencia predominante de vidrio volcánico; así que el loess no puede contener un 80 por ciento de estos minerales como se afirma en la publicación de Willis, porque en este caso el loess sería casi indescomponible por ácido.

Separación física. — Era de esperar que con mayor cantidad de partes arenosas contenidas en el loess aumentara también proporcionalmente el porcentaje en sílice, pero no es así. Obtuvimos por el aparato Schone las siguientes fracciones del loess :

	Arena			Partes arcillosas	
	0,2mm	0,1-0,2mm	0,05-0,1mm	0,01-0,05	0,01mm
Miramar eopampeano.....	0	13,1	23,3	12,85	45,01
			36,40		57,86

		Arena		Partes arcillosas	
Baradero neopampeano....	{ 0	11,2	18,29	30,43	45,73
			19,41		76,16
I. Salto infrapampeano....	{ 0	37,93	20,70	8,34	27,65
			58,63		35,99

Resulta entonces, como el porcentaje de sílice no guarda proporción con el porcentaje en partes arenosas, que estas últimas no pueden ser constituidas en mayor parte por cuarzo; un hecho que fué comprobado por el análisis general.

Óxidos libres. — Casi la décima parte de la sílice del loess, sea de cualquier formación y procedencia, se encuentra en estado amorfo libre, mientras la cantidad de óxido de aluminio libre es muy variable. En la formación eo- y neopampeana es casi idéntica alrededor de 1 por ciento, en cambio baja en el loess infrapampeano a 0,20 por ciento. Podemos suponer que el proceso de descomposición laterítica ha tenido lugar en la formación infrapampeana en menor escala, o que el óxido de aluminio, una vez formado, ha entrado de nuevo en combinaciones silicosas. Se podría objetar, empero, que el método de determinar el sílice amorfo y libre y el óxido de aluminio libre, por medio de un ataque directo con la solución de Lunge, no es apropiado porque pueden ser disueltos por este reactivo también los alumosilicatos. Desgraciadamente no existen trabajos sobre la solubilidad de los silicatos respecto a soluciones alcalinas de la concentración del reactivo de Lunge. En cambio fué constatado por W. Pukall, que tratando la caolina con una solución concentrada de hidrato de sodio, aquélla se transformaba en una substancia arenosa casi completamente soluble en ácido clorhídrico. Esta substancia es idéntica, como demostró el mismo autor, a un mineral zeolítico obtenido por acción recíproca de metasilicato y aluminato de sodio en solución alcalina, es decir, que la acción de hidrato de sodio sobre el alumosilicato no es la de un disolvente sino la de una neutralización parcial, formando un nuevo compuesto zeolítico, un hidroalumosilicato de sodio igualmente insoluble en agua.

Podemos admitir con más razón que una solución alcalina (1 % hidrato de sodio y 5 % carbonato de sodio) usada por nosotros, no puede disolver alumosilicatos del loess, sino los compuestos que ya se encuentran en estado libre y respecto a la sílice también en forma amorfa.

Además las cantidades de óxido de aluminio y de sílice encontradas como libres, se hallan en una relación molecular tan irregular y distinta de todos los compuestos alumosilicosos conocidos que por este motivo tampoco es aceptable admitir la solubilidad de óxido de aluminio y de la sílice en forma de combinaciones preexistentes.

La relación molecular entre el óxido de aluminio y de la sílice en amorfo libre es la siguiente :

I. Miramar eopampeano ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	1 : 9
II. Baradero neopampeano ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	1 : 10
III. Salto I infrapampeano ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	1 : 18,4
IV. Salto II calcáreo ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	1 : 52

Ahora, como demuestra el cuadro siguiente, entre todos los minerales conocidos de la clase de los alumosilicatos no hay ninguno que posea una relación mayor entre el óxido de aluminio y la sílice que 1 : 4,5. Pues las proporciones moleculares de los alumosilicatos, puestos en orden, según Dana, son las siguientes :

Caolinita.....	
Halloysita ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	1 : 2
Newtonita.....	
Cimolita ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	1 : 4,5
Montmorillonita ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$)...	1 : 4
Pyrophyllita ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	1 : 4
Allophana ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	1 : 1
Collyrita ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	2 : 1
Schrotterita ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$).....	8 : 3

Queda, pues, excluída la suposición que las cantidades de óxido de aluminio y sílice, disueltas por el reactivo de Lunge, formaran combinaciones estequiométricas, y confirma la idea de hallarse en estado libre como productos de la descomposición parcial laterítica de las rocas primarias que ha dado lugar a la formación del óxido de aluminio libre (hidragillita).

Mucho más importantes han sido los procesos hidrolíticos de descomposición de rocas primarias para la formación de zeolitas (como primera fase de este proceso se puede aceptar la formación de ácidos alumo-silicosos complejos del tipo de la caolinita). De nuestros ensayos de absorción efectuados con el loess pampeano con diferentes soluciones de sales y colorantes, resulta que no existe casi ningún mineral o roca natural que demuestre un grado tan perfecto de fenómeno de asorción, es decir, de la transmisión de bases de ciertos silicatos del loess por las de las soluciones salinas, sean orgánicas o inorgánicas. Como ya mencionamos, son las zeolitas las únicas entre los minerales conocidos y bien caracterizados que demuestran una capacidad de reacción aproximada, como se observa en el loess.

Aceptamos, pues, la presencia de silicatos amorfos en el loess, que son de una composición parecida a las zeolitas y que intervienen en las absorciones más importantes.

Disponemos en el tratamiento con el ácido clorhídrico de un medio de fijar aproximadamente la cantidad de sustancias zeolíticas que contiene el loess pampeano, determinando la cantidad de bases que van en solución y la de sílice que forma con ellas los compuestos silicosos.

En el siguiente cuadro doy los resultados obtenidos, calculados en proporciones moleculares:

I. *Eopampeano Miramar*

CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1,5	2,5	3	7	24
<u>4</u>		<u>10</u>		24

corresponde a :

II	III	II	III
4 (R O)	10 (R ₂ O ₃)	2 R O	5 R ₂ O ₃ 12 SiO ₂ .

II. *Neopampeano*

CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
3,5	2,7	2,8	6,8	19,5

o en números redondos :

6	10	20
---	----	----

corresponde a un silicato :

II	III
6 R O	10 R ₂ O ₃ : 20 SiO ₂
II	III
3 R O	5 R ₂ O ₃ : 10 SiO ₂

III. *Salto I*

CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
2,57	3,87	2,2	5,2	18

o en números redondos :

6		2	5
		<u>7</u>	
II		III	
6 R O	:	7 R ₂ O ₃	:
		18 SiO ₂	

En estos cálculos presuponemos que la cantidad de hierro soluble en ácido clorhídrico forma parte de las zeolitas, reemplazando en parte el óxido de aluminio en los alumosilicatos. La relación molecular entre la

suma de los radicales trivalentes Fe_2O_3 , Al_2O_3 y la sílice sería en las muestras investigadas, entonces, la siguiente:

III								
I. Miramar.....	R_2O_3	:	SiO_2	1 : 2,4 y	Al_2O_3	:	SiO_2	1 : 3 $\frac{3}{7}$
III								
II. Baradero.....	R_2O_3	:	SiO_2	1 : 2 y	Al_2O_3	:	SiO_2	1 : 2,9
III								
III. Salto I.....	R_2O_3	:	SiO_2	1 : 2 $\frac{4}{7}$ y	Al_2O_3	:	SiO_2	1 : 3 $\frac{3}{5}$

Pero tomando en consideración el hecho que casi todas las zeolitas conocidas no contienen hierro, podría ser posible también que el óxido de hierro soluble en HCl correspondiera a un silicato amorfo hidratado simple de hierro, tal vez de la forma del chloropalo $\text{Fe}_2 (\text{SiO}_3)_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$.

Si restamos del total del sílice la cantidad correspondiente al óxido de hierro en este mineral o sea 3 : 1 obtendremos las siguientes relaciones moleculares para el óxido de aluminio y el de la sílice:

Miramar.....	Al_2O_3	:	SiO_2	1 : 2,6
Baradero	Al_2O_3	:	SiO_2	1 : 1,91
Salto I	Al_2O_3	:	SiO_2	1 : 2,3

Ahora bien, ordenando los diferentes grupos de zeolitas según su proporción molecular entre el óxido de aluminio y el de la sílice resulta la siguiente serie de compuestos:

I. Grupo de Mordenitas con la proporción molecular.....	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} = \frac{1}{10}$
II. — de Heulandita — — — — —	$\frac{1}{6}$
III. — de Philipsita — — — — —	$\frac{1}{4}$
IV. — de Chabasita — — — — —	$\frac{1}{4}$
V. — de Natrolita — — — — —	$\frac{1}{3}$
VI. — de Thomsonita y Hidronefelita con la proporción molecular...	$\frac{1}{2}$

Como nosotros encontramos para los silicatos descompuestos por el ácido clorhídrico una relación molecular entre el óxido de aluminio y la sílice que varía entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ es de suponer que las sustancias zeolíticas se asemejan al tipo de Thomsonita y Natrolita.

La relación de álcali que tal vez puede tomar parte en la composición de la zeolita la hemos deducido de la cantidad de álcali soluble en HCl concentrado.

Sobre la probable constitución de las zeolitas del loess nos vamos a detener más adelante en el capítulo que trata de los fenómenos de absorción del loess.

Minerales descompuestos por el ácido sulfúrico. — Estos compuestos del loess los hemos llamado caoliníticos por ser la caolina tipo de los

alumosilicatos caracterizados por su fácil descomposición en ácido sulfúrico concentrado y por su estabilidad al ataque con ácido clorhídrico.

Las relaciones moleculares entre el óxido de aluminio y la sílice en las muestras investigadas fueron las siguientes :

Miramar (Al_2O_3 : SiO_2)	1 : 2
Baradero (Al_2O_3 : SiO_2)	1 : 2
Salto I (Al_2O_3 : SiO_2)	1 : 3,18
Salto II (Al_2O_3 : SiO_2)	1 : 2,17

Con excepción de las muestras del Salto I, las otras demuestran la relación molecular 1 : 2 que corresponde en los minerales de alúmino-silicatos al de la primera clase comprendiendo : Kaolinita, Halloysita y Newtonita.

Según Dana, las dos especies de minerales como Kaolinita y Newtonita no se descomponen con ácido clorhídrico pero sí con ácido sulfúrico en calor, mientras que la Halloysita se descompone con todos los ácidos. Pero existen variedades de Halloysita, como Lenzinita, que no se gelatiniza por el ácido clorhídrico. Llegar a una decisión respecto a uno de estos minerales es naturalmente imposible, pero la poca plasticidad que demuestra el loess es lo que conduce a la consecuencia de colocar los minerales caolíníticos del loess a la clase de Halloysita (Var. Bol. Lenzinita, etc.) que en comparación con la verdadera caolina no posee plasticidad.

El contenido de sustancias caolínicas en el loess es muy variable según su procedencia, si calculamos sobre la cantidad de óxido de aluminio la cantidad de Halloysita según la fórmula de Le Chatelier $2(\text{H}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2)$. Sílice : 43,5 por ciento, Óxido de aluminio : 36,9 por ciento, Agua : 19,6 por ciento, obtendremos las siguientes cantidades de sustancias caolínicas :

Miramar	5,41 %
Baradero	8,14
Salto I	15,03
Salto II	12,75

Una cantidad de 15 por ciento de caolina como en el loess de Salto I ya debía ejercer su influencia y producir una cierta plasticidad del loess, sin embargo no se observa mayor plasticidad que en las otras muestras. Creemos, pues, que las sustancias caolínicas del loess no corresponden a una caolina verdadera sino más bien a variedades al tipo de Halloysita.

Cuarzo y Feldespato. — Los residuos de las distintas muestras de loess y de la ceniza volcánica, que nos quedaron después del tratamiento con el ácido sulfúrico y la solución de Lunge, representan un conjunto de minerales, prevaleciendo los de la clase de feldespato y cuarzo.

Hemos calculado el contenido en anortita, ortoclasa, albita y cuarzo, según Hazard, aceptando los valores aproximados para las relaciones siguientes:

Para la anortita:

$$\frac{\text{CaO}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{1}{1,825} \text{ y } \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} = \frac{1}{1,182}$$

Para ortoclasa y albita:

$$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} = \frac{1}{3,546},$$

resultando para las muestras de:

	Miramar Eopampeano Por ciento	Baradero Neopampeano Por ciento	Salto I y II Infrapampeano		Monte Hermoso Ceniza volcánica Por ciento
	Por ciento	Por ciento	Por ciento	Por ciento	Por ciento
Anortita.....	0,06	3,65	2,6	4,55	2,8
Ortoclasa y albita. .	26,51	20,41	9,57	15,83	50,02
Cuarzo	12,3	23,56	27,64	22,6	24,62
Suma calculada.....	46,87	47,62	39,81	42,98	79,44
Suma encontrada por residuo pesado....	46,8	47,6	40,2	43,0	81,1

La concordancia entre los residuos calculados, o sean las sumas de anortita, ortoclasa, albita y cuarzo, y los residuos encontrados por pesada es tan grande que no es posible negar una aproximación muy probable entre la composición calculada con la verdadera.

Resumiendo los datos de los análisis racionales resulta el cuadro siguiente:

	Loess pampeano				Ceniza volcánica Neopampeano Monte Hermoso
	Eopampeano Miramar Por ciento	Neopampeano Baradero Por ciento	Infrapampeano Salto I y II		Por ciento
	Por ciento	Por ciento	Por ciento	Por ciento	Por ciento
Hidragilita.....	0,89	0,83	0,37	0,19	0,46
Sílice amorfo soluble.	4,76	4,97	4,03	5,83	1,45
Sílice (cuarzo).....	12,3	23,56	27,64	22,6	24,62
Zeolititas aprox.....	30,00	28,00	25,00	26,00	6,5
Sub. caolínicas.....	5,41	8,14	15,03	12,75	1,7
Anortita.....	8,06	3,65	2,6	4,55	2,8
Ortoclasa y albita....	26,51	20,41	9,57	15,83	50,02

Es muy lógico preguntarse ahora si existe una relación entre la composición del loess y su edad geológica, pero nuestro material investigado no es suficiente para poder contestar tal pregunta. Habría que extender los estudios analizando muestras de distintas formaciones, pero que sean del mismo lugar, y no como en nuestro caso, de muestras no solamente de distintos horizontes, sino de lugares distantes unos de

otros centenares de kilómetros. Sin embargo, creo que no sea superfluo llamar la atención sobre algunos hechos observados en este estudio comparativo, con distintas formaciones del loess pampeano.

El contenido en hidrargilita es el mayor en las formaciones eo y neo-pampeano, casi tres veces del de infrapampeano, mientras que la cantidad de sílice amorfa soluble no varía mayormente.

Respecto a la cantidad de zeolitas se nota que el loess de las formaciones eo y neo-pampeano tiene mayor cantidad de estos silicatos como también de feldespatos, pero en cambio, corresponden a las formaciones más antiguas mayor cantidad en sustancias caolínicas.

Ahora bien; los minerales determinados por el análisis racional podemos dividirlos en dos grupos: el primero, o los minerales preexistentes primarios, como el cuarzo, los feldespatos y semejantes y el otro que comprende los minerales llamados secundarios que se han formado durante el proceso de loessificación como el hidrargilita, las zeolitas, la sílice amorfo soluble y las sustancias caolínicas.

Según la idea que nos formamos sobre la observación de este proceso de loessificación, tenemos que esperar lógicamente una constancia o aumento de los minerales secundarios.

Es posible que las transformaciones primordiales del loess tengan lugar solamente en una capa superior o en el suelo accesible entonces a la acción de diversos factores como la vegetación, la influencia de la atmósfera, etc.; y una vez substraídas a ellas, es decir, formando subsuelo, cesa este proceso, teniendo lugar la segunda etapa, la fosificación caracterizada por la desaparición casi completa del humus.

Supongamos que la descomposición laterítica que da lugar a la formación de hidrargilita como la formación de zeolitas son fenómenos particulares al suelo.

El contenido de estos componentes debe ser entonces independiente de la edad de la formación pampeana.

Observamos, en realidad, que la cantidad de hidrargilita y zeolitas es algo mayor en las formaciones más modernas, debido probablemente a una cierta solubilidad de estos minerales en soluciones alcalinas y como tales podemos comprender las aguas de la primera napa.

Mientras constatamos una cierta retrogradación de hidrargilita y zeolitas a la par de mayor edad geológica de las formaciones pampeanas, en cambio notamos un aumento bien apreciable en sustancias caolínicas y disminución correspondiente en feldespatos. Debemos atribuir este fenómeno a un proceso diagenético, ayudado durante el período de fosificación por los productos de descomposición del humus.

B. Estudio sobre los fenómenos de absorción del loess pampeano

El análisis químico racional de diferentes muestras del loess, descripto en el capítulo anterior y además los fenómenos de absorción observados con el loess respecto a soluciones de ciertas sales y colorantes básicos, nos llevaban a la conclusión de que una gran parte de loess pampeano debe estar constituida por sustancias zeolíticas.

Es nuestra opinión que estas zeolitas no solamente llevan una misión importante como parte integrante del loess, desde el punto de vista mineralógico, sino que también su presencia nos facilita aclarar ciertas particularidades de la formación pampeana, como la presencia de la tosca, la de las aguas alcalinas, cambio de distintas napas de agua de diferente tipo, etc.; por eso hemos creído necesario estudiar detenidamente el efecto recíproco entre las soluciones y el loess pampeano.

Veremos más adelante que nuestros resultados concuerdan en parte con los obtenidos por diferentes autores, efectuados con las tierras arables para fines agrícolas.

Un resumen bastante amplio sobre trabajos de absorción se encuentra en el tomo LII del *Buro of soils*, Norte América; además en la enciclopedia de Fremy tomo OXIX por Schlosing y en la tesis del doctor Orsini F. F. Nicola, *Contribución al estudio de los fenómenos de absorción y adsorción*, de los cuales nos hemos servido en mayor parte para la breve exposición histórica sobre trabajos de absorción.

En el año 1848 M. Huxtable y M. S. Thompson descubrieron una nueva calidad en la tierra vegetal: la de fijar ciertas materias fertilizantes; al mismo tiempo M. Thompson encontró la particularidad de la tierra arable de retener el amoníaco tanto de una solución alcalina amoniacal como también de soluciones de sus sales como sulfatos, nitratos o clorhidratos. Poco más tarde comenzaba M. Th. Way sus investigaciones clásicas, demostrando que el poder absorbente de las tierras arables no se limita a las sales amoniacales sino se extiende también a todas las sales solubles de bases alcalinas y alcalino-terrosas. Demostró también que la naturaleza de los ácidos que entran en las sales alcalinas solubles es indiferente. M. Th Way ya se ocupaba también de la cuestión a que elementos del suelo debía atribuirse el poder absorbente y llegaba a la conclusión que este no pertenecían ni a la arena ni a la cal (carbonato de cal) sino a las partes finas y arcillosas.

Fué el primero que atribuyó la absorción a un intercambio entre la base de ciertos silicatos del suelo (zeolitas, caolinas) y la de la sal usada como fertilizante.

Los trabajos de Way quedaron casi olvidados pero sus resultados fueron completamente confirmados por los ensayos de R. Gans ejecuta-

dos en parte con tierras vegetales, pero, lo que es más importante, con diferentes minerales de la clase de zeolitas, como apophilita, analcima, natrolita, desmina, stilbita y chabacita.

Antes de entrar más detalladamente en la discusión de los trabajos de R. Gans, que indudablemente resolvieron de un modo concluyente las dudas respecto a las verdaderas causas de los fenómenos de absorción, mencionaré, todavía, por interés histórico, los trabajos de algunos autores que si en realidad no contribuyeron en aclarar los fenómenos de absorción, más bien desviaron los conceptos sencillos sobre estos que ya fueron exteriorizados por Way en sus primeros trabajos.

Según Schlosing, que ha puesto en paralelo la fijación de los principios fertilizantes con los fenómenos de tintorería, el humus de los suelos se comporta como un mordiente, quiere decir que sirve para retener estos principios sobre la superficie de los elementos arenosos; una suposición que él no comprueba con datos experimentales.

M. Grandeau ha estudiado especialmente la influencia de la materia orgánica en la fijación de los principios fertilizantes; como objeto él ha elegido para sus investigaciones la llamada «tierra negra» de Rusia, que según este autor es de una gran simplicidad; una mezcla de arena blanca y humus. La disposición del ensayo era la siguiente: La tierra fué puesta en un balón y lavada con un ácido muy diluído, que debía eliminar las bases, insolubilizando al mismo tiempo los ácidos húmicos; después de haber tratado la tierra con una solución amoniacal, quedaba la arena casi enteramente decolorada. Evaporando en sequedad una parte de la solución amoniacal del humus y calcinándola, encontraba en las cenizas potasio, calcio, óxido de hierro y ácido fosfórico. M. Grandeau deduce ahora que estos principios unidos a la materia húmica se han escapado a la acción disolvente del ácido diluído: el poder absorbente del humus los había retenido. A mi parecer la conclusión a que ha llegado M. Grandeau no es del todo convincente. Con mayor razón se puede atribuir el contenido de la ceniza a un intercambio del amoníaco con las bases de zeolitas de la tierra arenosa (como calcio y potasio) sin necesidad de recurrir a un poder de retención del humus; puesto que se trata de una tierra conocida por su fertilidad no es de suponer de que la arena blanca sea compuesta por cuarzo; en este caso naturalmente no podría poseer un poder de absorción.

El humus mismo, probablemente, contiene el ácido fosfórico en forma de un ácido complejo orgánico.

Llama la atención que los grandes químicos agrícolas como Knop y Grandeau, no obstante los trabajos de Way, se formaran ideas tan extrañas sobre fenómenos de absorción. Knop cree que por la absorción del amoníaco de una solución de cloruro de amoníaco se forma ácido clorhídrico libre, que en suelos pobres de cal, hay que neutralizarlo,

agregando carbonato de calcio para que se verifique la absorción. Pero, según los ensayos de Way, la absorción de nitrógeno está basada en el intercambio del amoníaco contra la base de ciertos hidroalumo-silicatos dobles. Es sabido que Knop ha usado el poder de absorción de los suelos relativo al amoníaco para su método de clasificar las tierras arables. La facilidad con que el suelo suministra a las plantas ciertos elementos fertilizantes que muy amenudo se encuentran en un estado apenas accesible al ataque con ácidos diluídos, pero sí fácilmente solubles a causa de fenómenos de absorción, la explica Grandeau por una hipótesis ingeniosa. Él supone que los principios nutritivos pueden unirse a la materia húmica que posee para ellos una gran afinidad y, una vez unidos a esta materia, se hallan más susceptibles para ser disueltos por los ácidos de las raíces de las plantas que penetrarían en ellas dejando afuera los coloides (humus) retenidos por la membrana externa de las células.

Más tarde la mayoría de los químicos se inclinaron otra vez a la opinión de Way, aceptando como causa principal para el poder de absorción de los suelos el intercambio químico; confirmativos en este sentido son los trabajos de Frank en 1866. Él ha estudiado el efecto de la absorción de KCl, pero en vez de agitar la tierra con una cierta cantidad de una solución de KCl al uno por ciento, la deja filtrar por una capa de tierra de distintos espesores; su modo de operar es, pues, muy parecido al nuestro. De sus resultados menciona solo los más importantes: Frank constataba que el contenido de cloro no cambiaba pasando la solución por una capa de tierra; que en una profundidad de 12 pulgadas el filtrado contenía solamente un 9 por ciento de la cantidad anterior de potasio y al fin penetrando por una capa de 6 pies, todavía retiene un 2 a 2,5 por ciento del potasio original. Por eso opina el autor que a una cierta atenuación, una parte de potasio en 40 ó 50.000 partes de agua, es más efectivo para retener la substancia disuelta que el poder de absorción del suelo. Encontraba, además, que la absorción de potasio de una solución de sulfato, es más rápida y que la presencia de cloruro de sodio disminuye la absorción de potasio. Una solución que contiene 1 gramo de cloruro de sodio y 1 gramo de cloruro de potasio disueltos en 100 centímetros métricos de H^2O atravesando una capa de tierra de 18 pulgadas, guardaba todavía 18 por ciento del potasio primordial contra 5 por ciento sin adición de cloruro de sodio; es decir, la presencia de sodio reduce la absorción de potasio.

De las investigaciones de Salomón efectuadas con soluciones de nitrato de calcio quedaba establecido que el contenido de humus no influye sobre la absorción, lo que es contradictorio a la teoría de Grandeau. Treutler demostraba, además, que la presencia de humus rebajaba la absorción, probablemente por la formación de grandes cantidades de ácido carbónico.

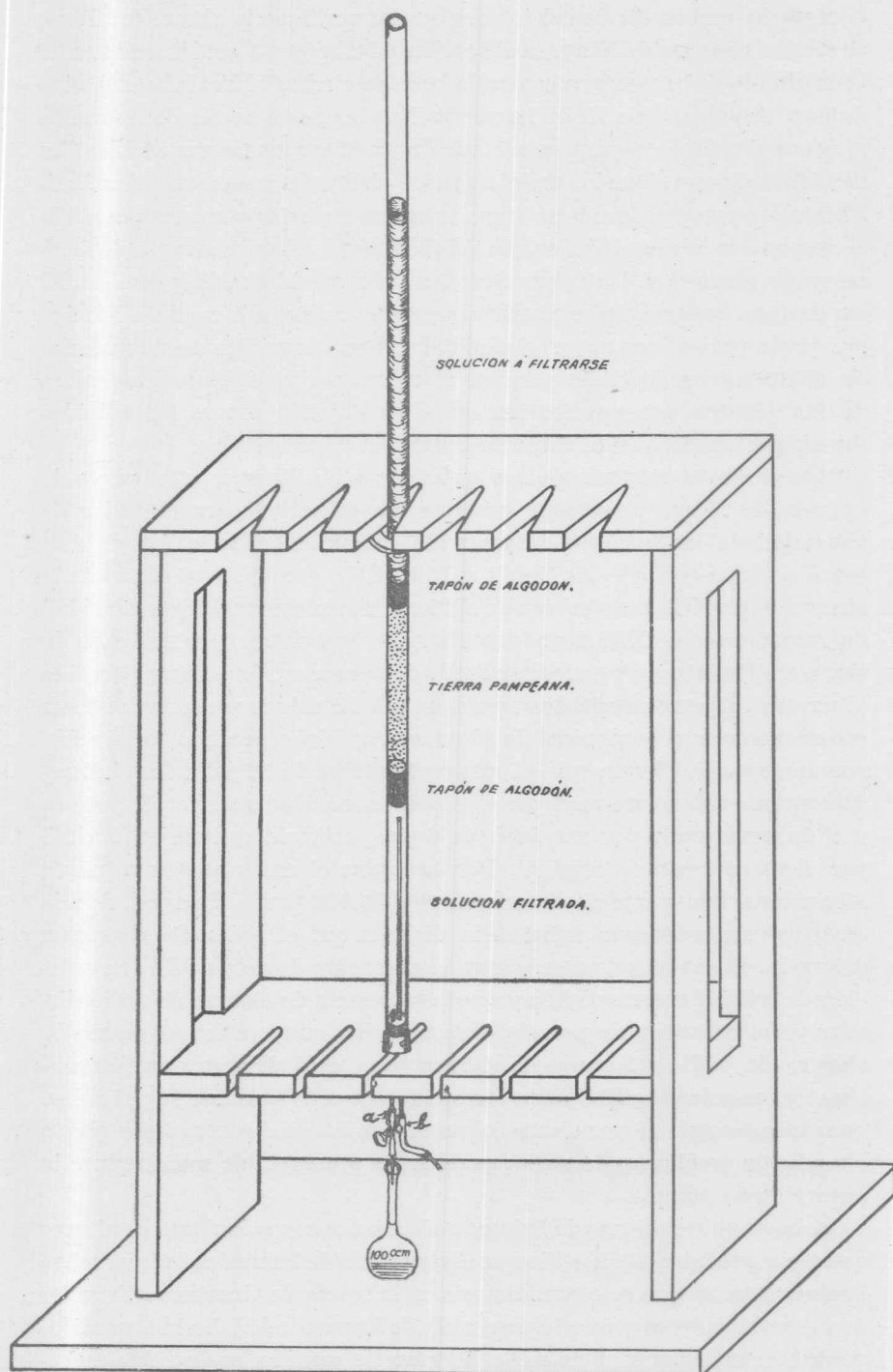


Fig. 21. — Aparato para ensayos de absorción

Si es cierto que los trabajos de Biedermann no aportan ningún nuevo elemento para la teoría de la absorción, no obstante demuestran el gran valor de una íntima coherencia entre el poder de absorción de los suelos y su fertilidad.

Antes de tratar los resultados de nuestras investigaciones debo hacer presente, que la forma de ejecutar los ensayos influye mucho sobre ellos.

Muchas de las contradicciones son debidas a menudo porque los ensayos no fueron verificados del mismo modo. Hay que distinguir bien las dos formas de practicar la absorción, sea por filtración de una solución de sales por una capa de tierra y analizando los cambios que han sufrido los filtrados; o poniendo en contacto una cierta cantidad de tierra con la de una solución, agitándola. En el primer caso, el de la filtración, se puede, agregando siempre nuevas cantidades de la solución salina, llegar a un agotamiento completo del poder de absorción contra la base de la solución salina empleada; en el segundo caso, agregando a la tierra una cantidad dada de solución salina no se llega a un intercambio total. Púés como la reacción entre las bases de las zeolitas y la de la solución es reversible, se establece un equilibrio interviniendo la acción de masa.

Los ensayos de Way, Knop, Rumpler, Henneberg, Stchmann y Brustlein pertenecen todos al segundo caso.

Los ensayos de filtración, probablemente por exigir largo tiempo, varias semanas a veces, son poco numerosos; entre ellos figuran los de Frank, ya mencionados, con tierras arables y además los nuestros con el loess pampeano.

Nos decidimos por el método de filtración, por ser éste el que más se aproxima a las condiciones naturales en que obran en la naturaleza las aguas subterráneas sobre las capas de loess y esperando que tal vez los fenómenos de absorción nos podían dar alguna luz sobre las relaciones genéticas de las aguas subterráneas de la formación pampeana.

La disposición de los ensayos fué la siguiente: En un tubo de vidrio de 1,5 metros de largo y 2,5 centímetros de diámetro se pusieron 100 gramos de tierra pampeana secada a 120°, que formaban una columna de 25 centímetros de espesor sujeta entre dos tapones de algodón desengrasado de manera que dejaba libre en la parte inferior del tubo, un espacio de 35 centímetros de altura que servía para almacenar el filtrado. La base del tubo fué cerrada por un tapón de goma provisto con dos tubos de vidrio, uno, el más corto *a* (véase dibujo fig. 21) servía para dar salida a la solución filtrada y el otro, *b*, que alcanzaba hasta el algodón inferior para dejar pasar el aire desalojado por el líquido filtrante.

Para la filtración fueron usadas soluciones de distintas sales, con preferencia de las que suelen encontrarse en las aguas de la Provincia, como cloruros, sulfatos, bicarbonatos alcalinos, bicarbonatos y cloruros

alcalino-terrosos. Para obtener datos directamente comparables se ha empleado soluciones $\frac{1}{10}$ normales de las distintas sales.

Cada una de estas soluciones fué puesta en la parte superior de su tubo respectivo. El tiempo necesario para que se acumularan en la parte inferior 100 centímetros cúbicos del filtrado era, término medio, 3 a 4 días. Las reacciones que tuvieron lugar entre las soluciones filtrantes y la tierra pampeana están ilustradas para mejor claridad por cuadros que van adjuntos.

El primer campo doble, de 10 centímetros de altura, representa 100 centímetros cúbicos de la solución aplicada antes de la filtración, es decir, la parte izquierda, azul, el cation potasio; en la parte derecha, colorada, el anion claro; los siguientes campos dobles corresponden entonces, en el mismo orden a los filtrados; el cambio de bases está expresado por un cambio de colores, eligiendo para el calcio y magnesio: verde y amarillo.

I. *Ensayo de filtración con una solución $\frac{1}{10}$ normal de cloruro de potasio.* — Por el análisis se constata que en el filtrado 1 quedó presente todavía una parte del potasio 7 por ciento, la mayor parte: 65,29 por ciento, está reemplazada por calcio y una parte menor, 27,86 por ciento, por magnesio. El contenido de cloro quedó estable.

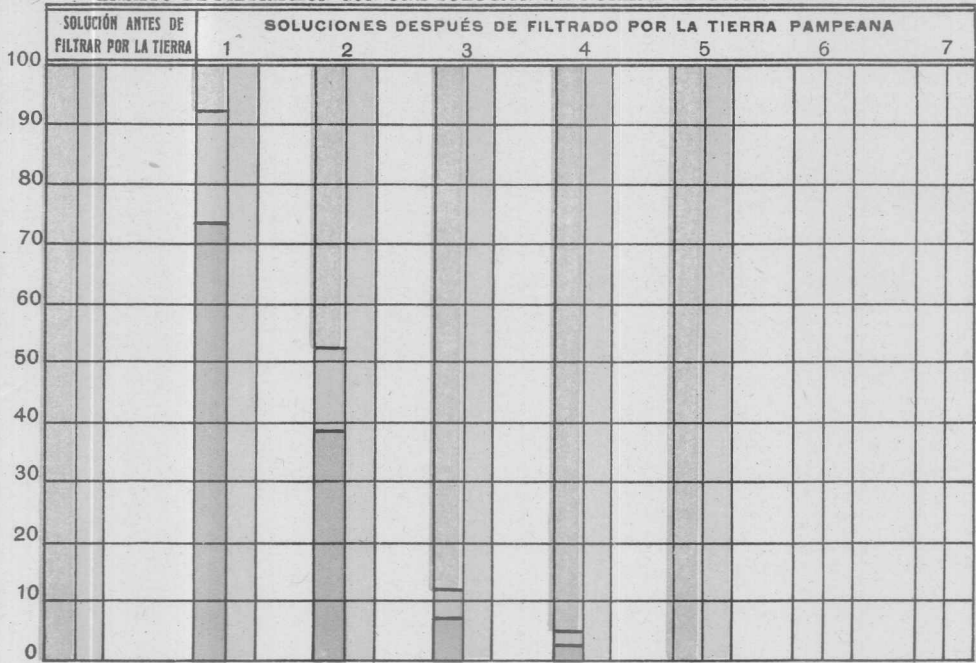
Por la filtración a través de la capa de loess, el líquido ha sufrido, pues, una transformación fundamental. Mientras que antes de la filtración la solución contenía solamente cloruro de potasio, ahora contiene principalmente cloruro de calcio y de magnesio. En los filtrados sucesivos siempre quedó invariable el contenido de cloro bajando rápidamente el tenor en calcio y magnesio hasta que desaparece totalmente en el quinto filtrado, como se ve en los datos correspondientes:

		Por ciento			Por ciento
Filtrado 1	{	Calcio 65,29	}	Cambio total	93,15 Cl 100
	{	Magnesio. 27,86	}		
— 2	{	Calcio 38,8	}	—	39,0 Cl 100
	{	Magnesio. 10,2	}		
— 3	{	Calcio 9,24	}	—	11,74
	{	Magnesio. 2,5	}		
— 4	{	Calcio 3,82	}	—	4,77
	{	Magnesio. 1,15	}		
— 5	{	Calcio vestigios	}	—	0,0
	{	Magnesio. 0,0	}		
Suma total.....					148,66 cm $\frac{N}{10}$ KCl

La cantidad de cloruro de potasio que ha sufrido un intercambio con el calcio y magnesio de las zeolitas de la tierra pampeana no es despre-

CUADRO I

ENSAYO DE FILTRACIÓN CON UNA SOLUCIÓN 1/10 NORMAL DE CLORURO DE POTASIO

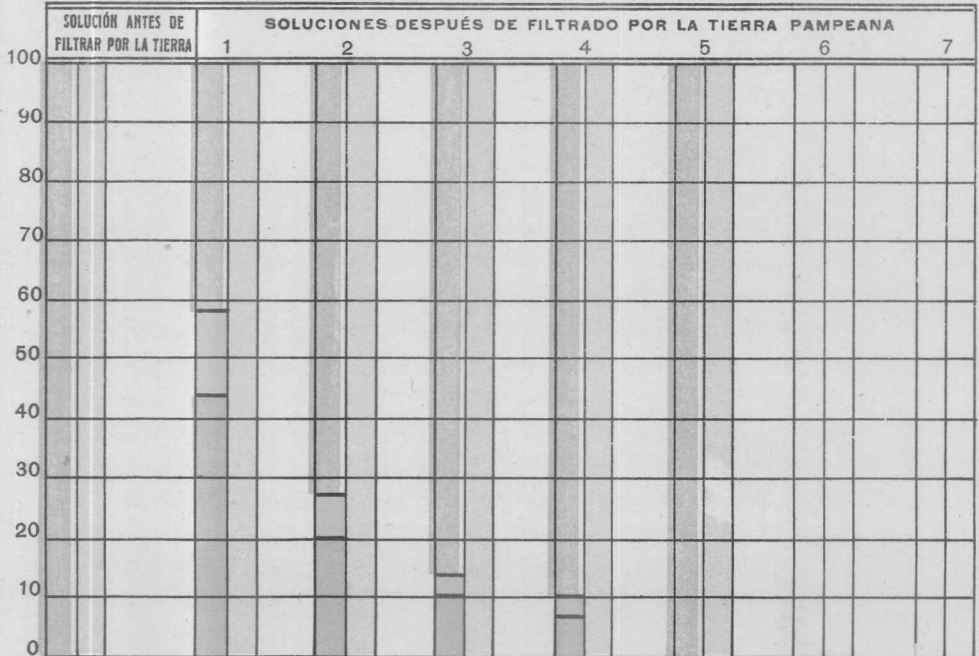


☐ SODIO.
☐ CALCIO.

☐ MAGNESIO.
☐ CLORO.

CUADRO II

ENSAYO DE FILTRACIÓN CON UNA SOLUCIÓN 1/10 NORMAL DE CLORURO DE SODIO



☐ SODIO.
☐ CALCIO.

☐ MAGNESIO.
☐ CLORO.

ciable: 100 gramos de esta tierra pueden transformar 1,25 gramos de cloruro de potasio en 0,65 gramos cloruro de calcio y 0,184 gramos de cloruro de magnesio.

II. *Ensayo con una solución de cloruro de sodio $\frac{1}{10}$.* — En los filtrados sucesivos se ha encontrado el contenido de cloro invariado. También tuvo lugar un cambio del sodio contra calcio y magnesio que se manifestaba en las distintas fracciones del modo siguiente:

En el filtrado 1 (100 cm) se ha conmutado del contenido de sodio:

		Por ciento		Por ciento	
En el filtrado 1	{	Contra calcio.....	44	{ Total	59,68
		— magnesio	15,68		
— 2	{	— calcio.....	21,5	{ —	28,95
		— magnesio	7,45		
— 3	{	— calcio.....	12,6	{ —	18,10
		— magnesio	5,5		
— 4	{	— calcio.....	9,55	{ —	13,35
		— magnesio.....	3,8		
— 5	{	— calcio.....	7,23	{ —	9,93
		— magnesio.....	2,7		
— 6	{	— calcio.....	6,05	{ —	8,15
		— magnesio.....	2,1		
— 7	{	— calcio.....	4,2	{ —	5,8
		— magnesio.....	1,6		
— 8	{	— calcio.....	3,2	{ —	4,4
		— magnesio.....	1,2		
		Suma total.....			148,36

La reacción entre la solución de cloruro de sodio y la tierra pampeana es análoga a la del primer ensayo con cloruro de potasio, pero hay una diferencia bien pronunciada respecto a la velocidad con que se producen los intercambio de las bases; con cloruro de potasio la conmutación de bases es mucho más enérgica; ya en el primer filtrado encontramos 93 por ciento del potasio reemplazado por calcio y magnesio, mientras del sodio solamente 59,68 por ciento; en cambio en el cuarto filtrado, del potasio 4,77 por ciento no más, pero del sodio 13,35 por ciento; recién en el octavo filtrado la reacción entre sales de sodio y las zeolitas de la tierra ha disminuído tanto como en el cuarto filtrado de la solución con cloruro de potasio.

Los resultados totales son casi idénticos en los dos primeros ensayos; de una solución $\frac{1}{10}$ normal de cloruro de potasio, fueron transformados 148,66 cm por ciento, y de una solución igual de cloruro de sodio, fueron transformados 148,36 cm por ciento en cloruro de calcio y magnesio; si se compara la cantidad de sodio y potasio, reemplazada por calcio y magnesio, resulta que están entre sí, como sus pesos atómicos.

III. *Ensayo de filtración con una solución de sulfato de sodio $\frac{1}{10}$ normal.* — El objeto de este ensayo era el de comprobar si el radical ácido tiene influencia alguna o no sobre el intercambio entre las bases zeolíticas y el sodio.

Se han seguido analizando las filtraciones hasta que cesó la reacción casi completamente, lo que sucedió en el filtrado 7.

El intercambio entre las bases zeolíticas y el Na, es análoga a los casos anteriores: se observa estabilidad de la cantidad de cloro y reemplazamiento parcial del sodio por calcio y magnesio.

Del sodio 100, se han conmutado:

		Por ciento		Por ciento	
En el filtrado 1	{	Contra calcio.....	45,29	}	Total 61,29
		— magnesio.....	18,00		
— 2	{	— calcio.....	22,54	}	— 29,38
		— magnesio.....	6,84		
— 3	{	— calcio.....	15,00	}	— 20,45
		— magnesio.....	5,45		
— 4	{	— calcio.....	10,25	}	— 14,35
		— magnesio.....	4,1		
— 5	{	— calcio.....	6,75	}	— 9,25
		— magnesio.....	2,5		
— 6	{	— calcio.....	5,68	}	— 7,88
		— magnesio.....	2,2		
— 7	{	— calcio.....	4,00	}	— 5,65
		— magnesio.....	1,65		
Intercambio total.....					148,25 cm $\frac{1}{10}$ $\frac{\text{Na}_2}{\text{SO}_4}$

Comparando los cuadros II y III se verá, que la absorción del sodio por la tierra pampeana se verifica del mismo modo e independientemente del radical ácido.

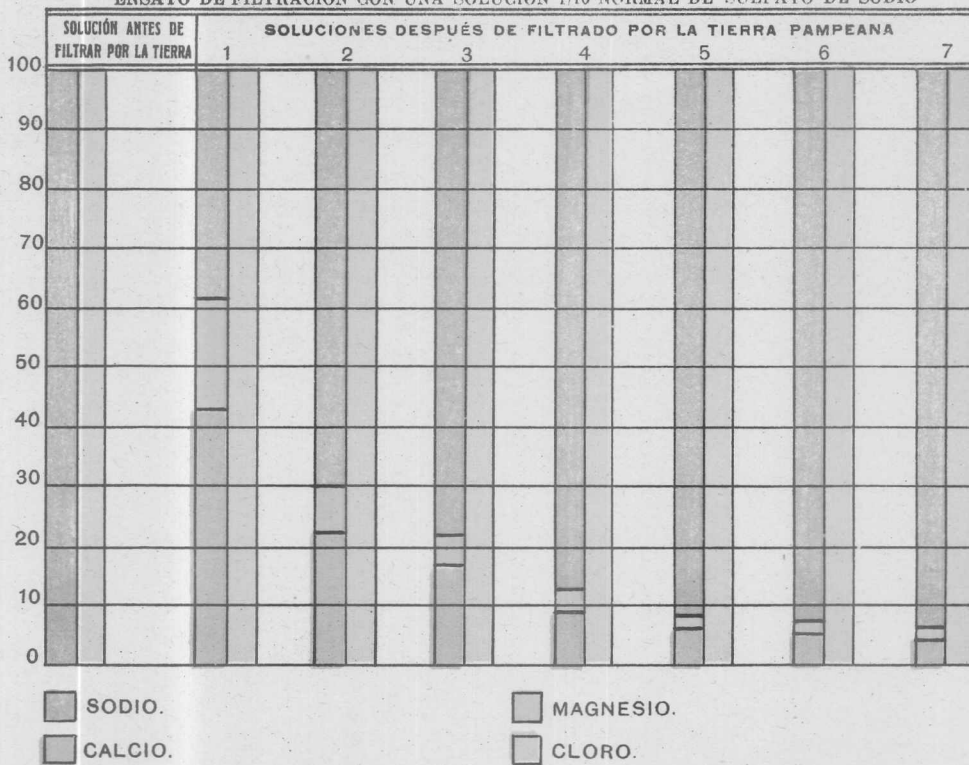
IV. *Ensayo con solución $\frac{1}{10}$ normal de cloruro de magnesio.* — Las investigaciones precedentes nos dan a conocer que las sales de potasio y sodio cambian sus bases contra calcio y magnesio de las zeolitas; ¿ahora cómo se comportan soluciones de sales alcalino terrosas al filtrarlas por el loess? ¿tendrá lugar a su vez un intercambio de calcio o magnesio y sodio o potasio de las zeolitas? Para resolver esta cuestión fué investigada la absorción que debía tener lugar filtrando una solución $\frac{1}{10}$ N de cloruro de magnesio eligiéndola como tipo de sal alcalino terrosa.

De los análisis de los filtrados sucesivos resultaba que se han conmutado:

		Por ciento		Por ciento	
En el filtrado 1	{	Contra calcio.....	69,20	}	Total 96 Cl 100
		Quedaron invariados.	26,8		

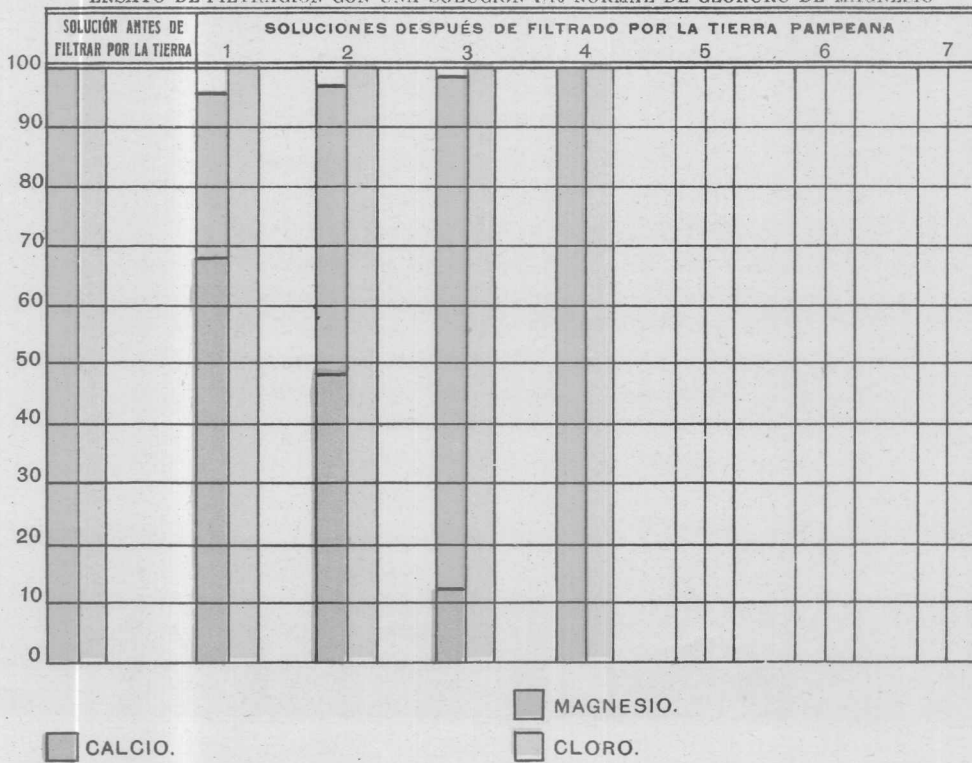
CUADRO III

ENSAYO DE FILTRACIÓN CON UNA SOLUCIÓN 1/10 NORMAL DE SULFATO DE SODIO



CUADRO IV

ENSAYO DE FILTRACIÓN CON UNA SOLUCIÓN 1/10 NORMAL DE CLORURO DE MAGNESIO



A la cantidad invariada de cloro corresponden aproximadamente la suma de las cantidades de calcio y magnesio 96 por ciento. La diferencia de 4 por ciento de magnesio tal vez representa la cantidad que fué reemplazada por álcali, pero es tan mínima que prácticamente no se puede hablar de un intercambio del magnesio de la solución y del álcali de las zeolitas.

Bien pronunciado, empero, es el intercambio del magnesio de la solución y el calcio de las zeolitas; es sorprendente que la misma proporción que observamos ahora en el primer filtrado entre el calcio y magnesio, es decir, 2,5 a 1, resultaba también, al filtrar una solución de cloruro de potasio por el loess: 1° en el primer filtrado de cloruro de potasio había de calcio 68,29 por ciento y magnesio 25 por ciento; y 2° en el primer filtrado de cloruro de magnesio había de calcio 69,2 por ciento y de magnesio 26,8 por ciento.

Para poder determinar la cantidad de calcio proveniente del loess conmutado por magnesio hemos proseguido la filtración hasta el cuarto filtrado donde ya se manifestaba la ausencia del calcio.

Del contenido de magnesio de la solución se ha cambiado :

		Por ciento	
En el filtrado 1	{	Contra calcio..... 69,60	
		— álcali..... 3,6	Determinada por diferencia
Inmutable		MgO..... 28,8	
En el filtrado 2	{	Contra calcio..... 48,55	
		— álcali (?)..... 1,7	
Inmutable		MgO..... 49,75	
En el filtrado 3	{	Contra calcio..... 7,14	
		— álcali (?)..... 0,46	
Inmutable		MgO..... 92,40	
En el filtrado 4	{	Contra calcio..... 0,00	
		— álcali..... 0,00	
Inmutable		MgO..... 100,24	

100 gramos de loess trasmutan pues 0,6 gramos de cloruro de magnesio en 0,69 gramos de cloruro de calcio.

Aproximadamente la misma cantidad de cloruro de calcio (0,65 grs.) encontramos en los filtrados de la solución de cloruro de potasio.

Podemos afirmar el principio, entonces, que el calcio de las zeolitas del loess pampeano es convertible contra potasio, sodio y magnesio en igual grado, tratándose de soluciones equivalentes.

V. *Ensayo con una solución de bicarbonato de sodio $\frac{1}{10}$ normal.* — Esta sal es la causa de la fuerte alcalinidad de las aguas de la provincia y a veces uno de los componentes que más prevalecen en ellas. Era de preveer que, filtrando una solución de bicarbonato de sodio por una capa

de loess, tuviera lugar un reemplazamiento de sodio por calcio y magnesio de las zeolitas de la tierra, fenómeno ya constatado con otras sales de sodio, pero en este caso la absorción de sodio debía traer ciertas complicaciones.

El intercambio entre la base de soluciones de cloruro y sulfatos alcalinos y el Ca o Mg de las zeolitas del loess produce la formación de sales de calcio y magnesio fácilmente solubles, que después se encuentran en el filtrado, no así con el bicarbonato de sodio. Es cierto que primeramente también van a producirse cantidades de bicarbonatos de Ca y Mg proporcionales al poder de absorción de la tierra para el sodio, pero no se van a presentar en los filtrados.

Es a saber que la concentración máxima de soluciones de bicarbonatos de Ca y Mg estables todavía a temperatura normal y presión atmosférica es la que corresponde más o menos a una solución $\frac{1}{10}$ normal de estas sales.

Filtrando ahora una solución $\frac{1}{10}$ normal de bicarbonato de sodio y suponiendo que la conmutación de sodio y Ca y Mg se verifica en este caso en proporciones iguales como con las soluciones de cloruro y sulfato de sodio, había que encontrarse en el filtrado 1, una solución $\frac{1}{15}$ normal de bicarbonato de Ca y $\frac{1}{20}$ de bicarbonato de Mg aproximadamente.

Soluciones tan concentradas no son estables, tiene que haber forzosamente una precipitación parcial de los carbonatos de calcio y magnesio con desprendimiento, al mismo tiempo, de ácido carbónico. El filtrado tendrá por consiguiente una alcalinidad menor que la que tuvo la solución antes de filtrarse. La disminución de la alcalinidad es la medida exacta de la cantidad total de los carbonatos alcalino terrosos precipitados e incrustados ahora en el loess.

Los ensayos que damos a continuación demuestran claramente que los fenómenos producidos por filtración, de una solución de bicarbonato de sodio $\frac{1}{10}$ normal, toman este curso previsto por nosotros.

La alcalinidad de la solución que era antes de la filtración, 100, ha bajado en el filtrado 1 a 65,6 por ciento, correspondiendo :

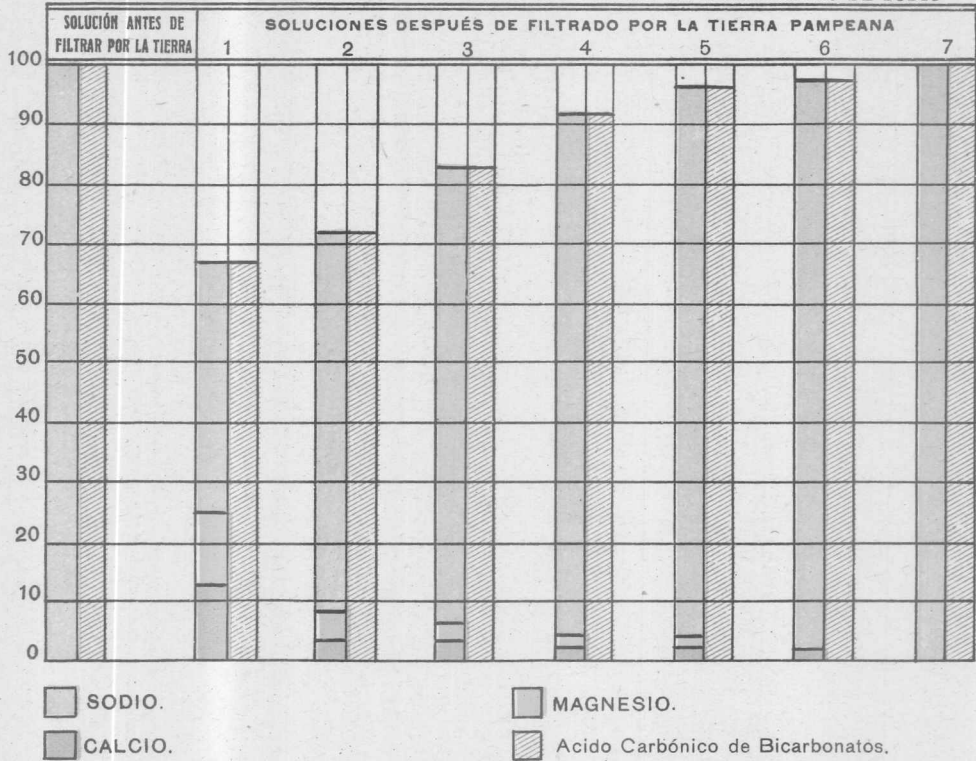
Bicarbonato de calcio.....	12,6
— de magnesio.....	13,6
— de sodio (por diferencia).	40,00

En el filtrado 2, ha bajado a 71,2 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonato de calcio.....	2,85
— de magnesio.....	6,75
— de sodio.....	61,6

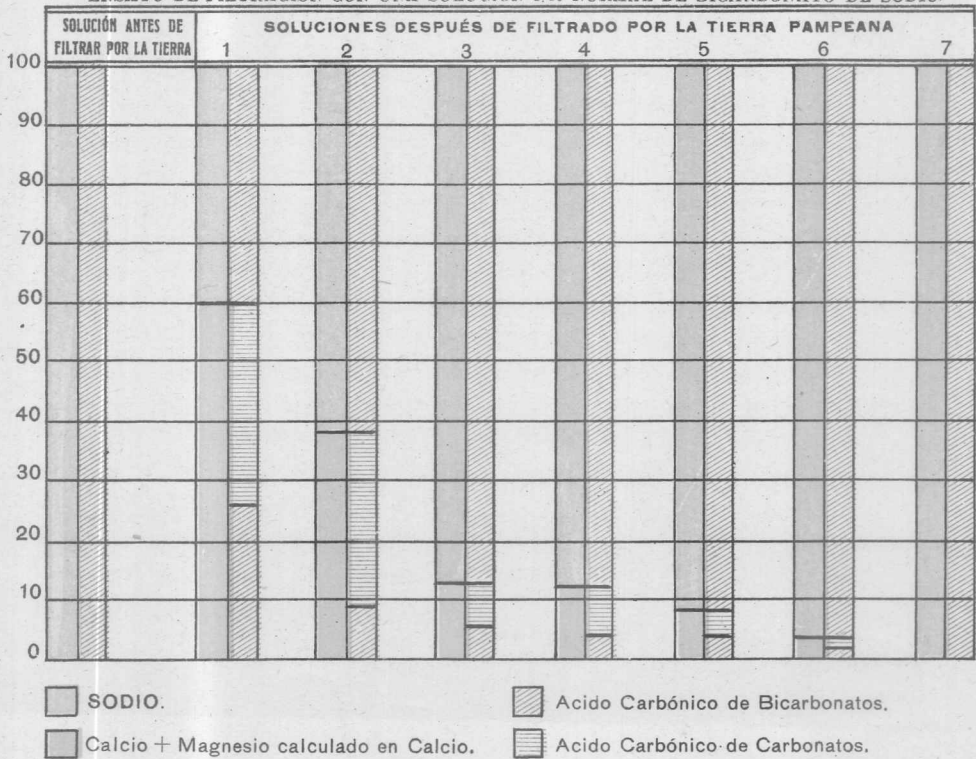
CUADRO V^A

ENSAYO DE FILTRACIÓN CON UNA SOLUCIÓN 1/10 NORMAL DE BICARBONATO DE SODIO



CUADRO V^B

ENSAYO DE FILTRACIÓN CON UNA SOLUCIÓN 1/10 NORMAL DE BICARBONATO DE SODIO



En el filtrado 3, ha bajado a 83,3 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonato de calcio.....	2,6
— de magnesio.....	3,2
— de sodio.....	77,5

En el filtrado 4, ha bajado a 91,8 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonato de calcio.....	1,43
— de magnesio.....	2,00
— de sodio.....	88,37

En el filtrado 5, ha bajado a 95,71 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonato de calcio.....	1,1
— de magnesio.....	1,62
— de sodio.....	92,99

En el filtrado 6, ha bajado a 98,2 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonatos álcalis terrosos.....	1,5
— alcalino.....	96,7

En el filtrado 7, quedó invariable la alcalinidad.

Sorprende que en todos estos filtrados siempre se encuentra una mayor cantidad de magnesio que de calcio, al revés de lo que pasaba filtrando cloruro y sulfatos alcalinos. En estos casos, la relación entre calcio y magnesio de los filtrados era más o menos 2,5 de calcio contra 1 parte magnesio. Podemos explicarnos esta excepción, fácilmente, por el siguiente razonamiento: es muy probable que se hayan formado a causa de la absorción cantidades de bicarbonatos de calcio y magnesio en la proporción observada antes (2,5 Ca : 1 Mg) inmediatamente después se precipita una gran parte en forma de carbonatos insolubles y naturalmente mayor cantidad de calcio por ser más insoluble el carbonato de esta base que el de magnesio. El filtrado que sólo contiene las cantidades no precipitadas de calcio y magnesio en forma de bicarbonatos, debe contener lógicamente más magnesio que calcio.

Para ilustrar mejor el intercambio total del sodio de la solución y del calcio y magnesio de las zeolitas, se ha agregado el cuadro V. b.

La suma del calcio y magnesio precipitada en forma de carbonatos y expresada en calcio fué hallada por la diferencia de la alcalinidad antes y después de haber filtrado. Sumando esta cantidad de calcio a la de los bicarbonatos (magnesio expresado también en calcio) obtenemos los siguientes datos :

Del sodio, de la solución de bicarbonato de sodio, 100, se han conmutado contra calcio (calcio y magnesio):

En el filtrado 1, 60 por ciento de esta cantidad :

Como carbonatos.....	34,4	%
— bicarbonatos.....	25,6	

En el filtrado 2, 38,4 por ciento de esta cantidad :

Como carbonatos.....	28,8	%
— bicarbonatos.....	9,6	

En el filtrado 3, 22,5 por ciento de esta cantidad :

Como carbonatos.....	16,7	%
— bicarbonatos.....	5,8	

En el filtrado 4, 11,63 por ciento de esta cantidad :

Como carbonatos.....	8,2	%
— bicarbonatos.....	3,43	

En el filtrado 5, 8,01 por ciento de esta cantidad :

Como carbonatos.....	4,29	%
— bicarbonatos.....	3,72	

En el filtrado 6, 3,3 por ciento de esta cantidad :

Como carbonatos.....	1,8	%
— bicarbonatos.....	1.5	

Absorción total 143,84 cm³ $\frac{1}{10}$ normal.

En 100 gramos de loess se precipitan 0,5 gramos carbonatos alcalino terrosos expresados en CaCO₃ o en 1 metro cúbico (2500 kgrs.) 12,5 kilogramos carbonato de calcio.

VI. *Ensayo de filtración con una solución de $\frac{1}{10}$ normal de carbonato de sodio.* — Es conocido que ya una cantidad relativamente limitada de carbonato de sodio en las aguas de riego, es muy dañina para los cultivos, según consta por las investigaciones de Hilgard; es pues de interés, no solamente científico sino más bien práctico para la agricultura, investigar el comportamiento del loess pampeano respecto a una solución de esta sal.

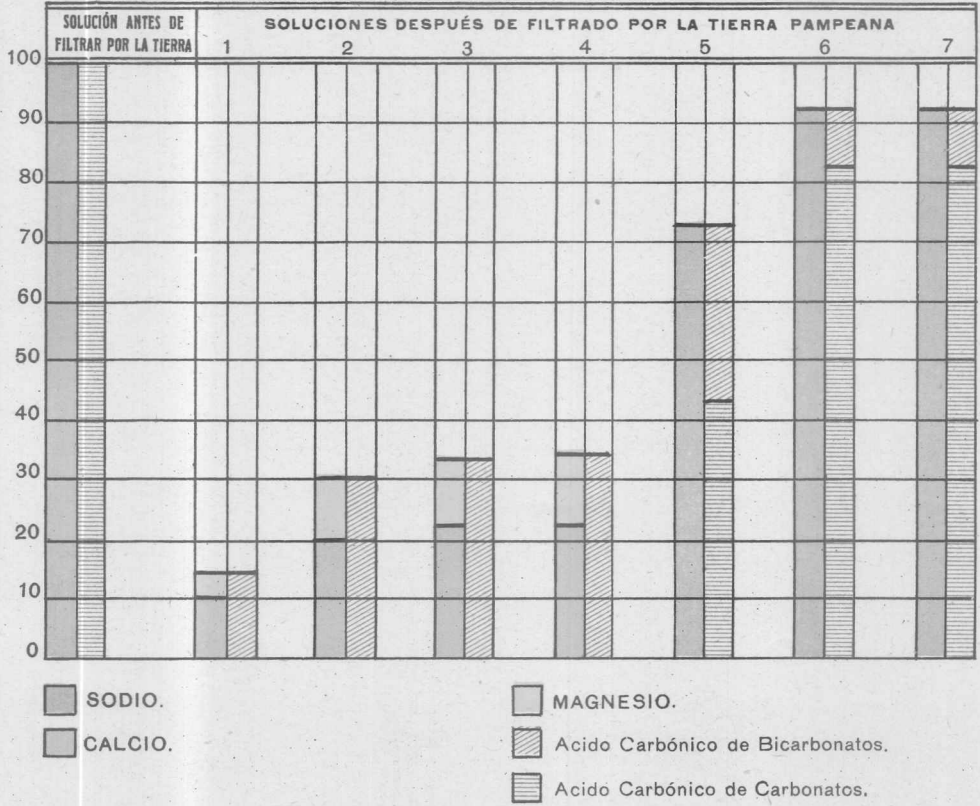
Citaré brevemente los resultados de los ensayos, considerando en un capítulo aparte las consecuencias para la agricultura intensiva.

La alcalinidad 100, ha bajado en el filtrado 1, 14,15 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonato de calcio.....	9,85
— de magnesio (no existen carbonatos)..	4,30

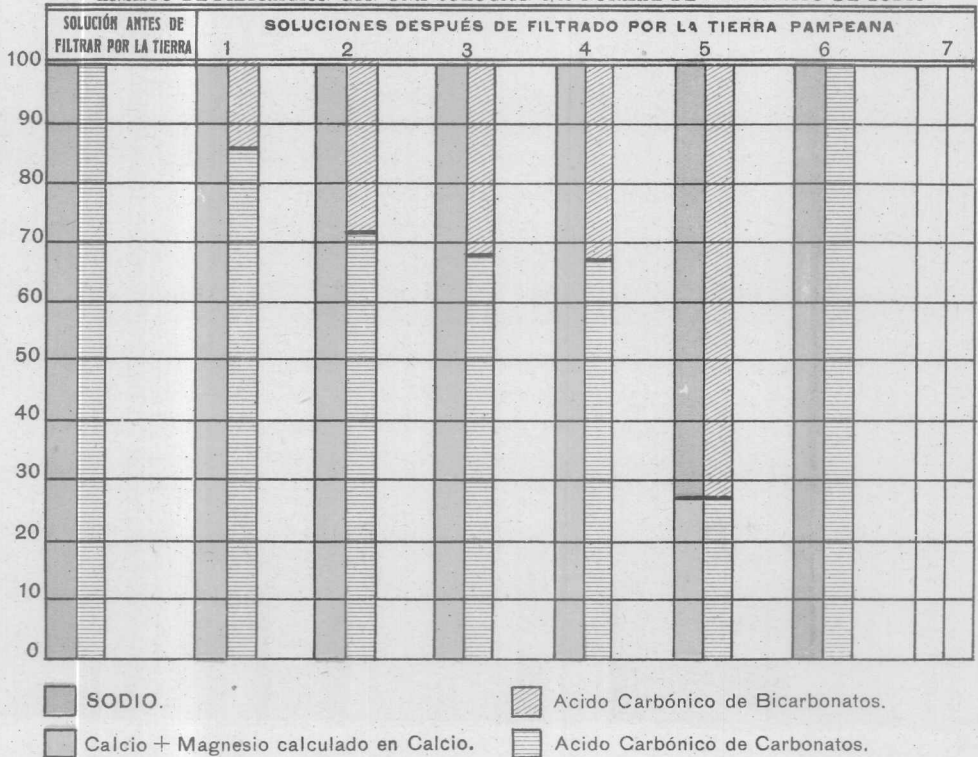
CUADRO VI^A

ENSAYO DE FILTRACIÓN CON UNA SOLUCIÓN 1/10 NORMAL DE CARBONATO DE SODIO



CUADRO VI^B

ENSAYO DE FILTRACIÓN CON UNA SOLUCIÓN 1/10 NORMAL DE CARBONATO DE SODIO



En el filtrado 2, 30,00 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonato de calcio.....	21,78
— de magnesio (no hay carbonatos).....	8,22

En el filtrado 3, 32,8 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonato de calcio.....	22,5
— de magnesio (no hay carbonatos).....	10,3

En el filtrado 4, 32,9 por ciento, correspondiendo :

Bicarbonato de calcio.....	22,5
— de sodio (no hay carbonatos)	10,4

En el filtrado 5, 73,8 por ciento, correspondiendo :

Carbonato de sodio.....	41,8
Bicarbonato de sodio	32,00

En el filtrado 6, 91,00 por ciento, correspondiendo :

Carbonato de sodio.....	82,00
Bicarbonato de sodio	9,00

En el filtrado 7, 91,00 por ciento, correspondiendo :

Carbonato de sodio.....	82,00
Bicarbonato de sodio	9,00

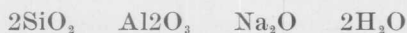
En el filtrado 8, ha alcanzado su alcalinidad primitiva.

En los primeros cuatro filtrados se constataba la ausencia total de sodio, de 400 centímetros cúbicos $\frac{1}{0.1}$ de carbonato de sodio; es de suponer que se habían formado cantidades equivalentes de carbonatos alcalinos terrosos, las que, por su insolubilidad, naturalmente no aparecen en los filtrados; sin embargo, debe haber tenido lugar, además, otra reacción entre la solución carbonatada y la tierra que se manifiesta por la presencia de bicarbonatos. Un simple intercambio de Ca y Mg del loess y el sodio de la solución debía producir precipitación de carbonatos alcalinos terrosos en el loess, con su correspondiente disminución de la alcalinidad del filtrado. La presencia de bicarbonatos, en los primeros 4 filtrados, no existe, como tampoco otras sales lo que demuestra que una parte del sodio del carbonato fué absorbido bajo desprendimiento de ácido carbónico que a su vez ha disuelto una pequeña cantidad del carbonato de calcio y magnesio precipitado en la tierra y es este el que fué encontrado en forma de bicarbonato en los filtrados 1 y 4.

Este proceso de absorción del sodio, de la solución de carbonato de sodio, no es debido pues únicamente a un intercambio de bases, como

en los casos anteriores, sino debe haber tenido lugar también una cierta neutralización de compuestos ácidos por parte del carbonato de sodio sin cambio de bases. Sobre la naturaleza de estos componentes de carácter ácido no podemos hacer solamente meras conjeturas. Parece, a primera vista, lo más verosímil aceptar que sea el ácido silícico libre y amorfo del loess, que se disolvía poniendo en libertad ácido carbónico, pero debemos prescindir de esta idea por no haber encontrado sílice en los filtrados.

Más admisible es la idea de interpretar la neutralización parcial del carbonato de sodio como causado por una agregación del sodio a ciertos silicatos de la clase de los ácidos alúmino-silícicos; un fenómeno de esta clase fué observado por Pukall¹; tratando caolina por carbonato de sodio o hidrato de sodio, se forma una zeolita de la composición siguiente:



Además R. Gans² en sus investigaciones sobre zeolitas y compuestos análogos constató que la absorción de amoníaco, en algunos suelos arcillosos, aumentó a causa de un previo tratamiento con una solución de carbonato de sodio. No da una explicación del hecho observado por él, pero aceptando la posibilidad de una nueva formación de zeolitas a base de sustancias arcillosas, resulta bien esclarecido este fenómeno.

La absorción de carbonatos alcalinos por la arcilla o suelos arcillosos ha sido discutida en una controversia por I. Dumont y L. Maquenne³, mientras el primero declara todavía como prematuro dar una explicación razonable sobre este hecho, L. Maquenne replica que el poder absorbente de la arcilla es una consecuencia lógica de la constitución química... es decir, que tendrá lugar la saturación de oxidrilo libre del hidrato de aluminio de la molécula de la arcilla por sodio. Hemos visto que esta explicación abarca solamente una fase de la absorción, no tomando en cuenta el cambio de bases.

El fenómeno de la absorción de carbonato de sodio por el loess pampeano se compone, pues, resumiendo en pocas palabras nuestras anteriores consideraciones, de dos reacciones distintas: primera, intercambio de Na de la solución y calcio y magnesio de la tierra, con precipitación de carbonatos alcalino-terrosos, y segunda, neutralización de una parte de carbonato de sodio, probablemente por los ácidos alúminosilícicos (sustancias del grupo de la caolina), a consecuencia de éste, resulta la formación nueva de zeolitas y desprendimiento de ácido carbónico.

¹ *Berichte*, página 2099, 1910.

² *Jahrbuch des preuss. geol. Landesanstalt*, página 186, 1905.

³ *Comptes-rendus de la Academie de Sciences*, tomo CXLII, página 347.

El poder de absorción del loess pampeano no es despreciable: 100 gramos de esta tierra hacen desaparecer 1,77 gramos de carbonato de sodio o 1 metro cúbico, 44 kilogramos.

VII. *Ensayos con soluciones de bicarbonatos alcalino-terrosos.* — Al fin hemos *ampliado de absorción* investigando el efecto de la filtración por capas de loess sobre soluciones de bicarbonatos de calcio y magnesio.

Me limito a mencionar el resultado que, como era de esperar, no era otro que el obtenido con soluciones de cloruros y sulfatos alcalino-terrosos, es decir, cambio de una parte de calcio por magnesio y por otra parte cambio de magnesio por calcio, estableciendo siempre la relación de 1 : 2 entre calcio y magnesio en los filtrados.

De estos ensayos resulta que el poder de absorción de la muestra de loess analizada proveniente del horizonte neopampeano, se manifiesta en el intercambio de bases alcalino-terrosas de las zeolitas por las alcalinas de soluciones salinas, fenómenos bien conocidos en las tierras de cultivo. Podemos, pues, atribuir a las zeolitas del loess, un origen análogo a éstas.

Lo que he dicho sobre el intercambio de bases no se puede generalizar para cualquier clase de loess, al contrario, es de suponer que el loess de mayor profundidad ya se encuentra en un estado de « saturación absorbitiva » para sales alcalinas, es decir, que esta clase de loess en contacto con soluciones de ellas queda indiferente no demostrando un intercambio de calcio y magnesio de sus zeolitas y álcali de las aguas por haberse agotado su poder de absorción para bases alcalinas.

En cambio, deben reaccionar fuertemente con soluciones de sales alcalino-terrosas absorbiendo las bases de ellas, conmutándolas contra las alcalinas de sus zeolitas.

Sería quizás posible hacer una clasificación del loess basada sobre las manifestaciones de su poder de absorción. Formando como elemento de comparación la absorción de bases alcalinas, seguramente encontraríamos en la formación pampeana horizonte con absorción muy activa y otras « saturadas » (refiriéndome siempre a la absorción de bases alcalinas) que no demuestran tal absorción. La razón de esta diferencia debemos buscarla en el efecto del contacto del loess con las napas de diferentes tipos de agua. En otro trabajo que trata de la clasificación de las aguas de la llanura pampeana, demostraré que efectivamente existen horizontes de distinto carácter de absorción y haré un ensayo para establecer una relación genética entre los distintos tipos de agua, apoyándome en los fenómenos de absorción.

VIII

Formación post-pampeana

Esta formación ha sido descrita también bajo distintas denominaciones. A. Doering la llamó « formación querandina » y la dividió en dos pisos, uno inferior, « querandino », y el otro superior, « platense », considerándola de edad diluvial. Él separó el aluvial de esta formación, llamándolo « formación ariana ». F. Ameghino en unos trabajos adoptó la denominación de Doering y en otros la llamó post-pampeana, dividiéndola también en dos pisos y las separó del aluvial.

Antes, cuando yo conocía solamente estos depósitos en la costa del Río de la Plata y en las depresiones por donde corren los ríos y arroyos que desembocan en el Río Paraná, los consideré como correspondientes a la aluvial; más tarde, cuando he tenido ocasión de estudiarlos en toda su amplitud, me convencí que gran parte de ellos tienen que ser diluviales. No es posible establecer un límite fijo entre lo aluvial y lo diluvial por la fauna marina, porque ésta no ha cambiado durante la transgresión y la regresión que se efectuaron en ese tiempo. Muy distintas se presentan las condiciones en cuanto a la fauna de mamíferos, pues durante el tiempo que se depositaron estas capas, un gran número de familias se han extinguido por completo.

En la costa atlántica y en el Delta del Paraná las capas post-pampeanas se componen de arcilla, limo, marga, arena y rodados; estos últimos se encuentran solamente en la parte sur de la provincia de Buenos Aires. Desde San Pedro hasta el Río Negro hay en todas partes del litoral, en el terreno bajo, bancos de conchillas, en que abunda especialmente el género *Azara labiata*. Estos depósitos se extienden en algunas partes hasta una distancia de 70 y más kilómetros de la costa actual. En el norte y en el este de la provincia de Buenos Aires las capas con fósiles marinos faltan por completo en el terreno alto, mientras que en el sur, en Carmen de Patagones, por ejemplo, se hallan arriba de las mesetas, en una altura de más de 50 metros sobre el nivel del mar.

En las depresiones, en el interior de las llanuras, las capas marinas están reemplazadas por estratos palúdicos (lacustre Ameghino); Ameghino considera estas dos facies como dos pisos de distinta edad geológica, lo que es una contradicción, puesto que él mismo dice: « Mientras en la costa se depositaban los bancos de conchas marinas mencionadas, tierra adentro se formaban grandes lagunas a lo largo del curso de los antiguos ríos nuevamente interrumpidos. » La facie marina que consideró más antigua, la llamó piso querandino y, la facie palúdica, piso

platense. El doctor Lutz Witte ha practicado un estudio muy detenido en el partido de Patagones de los depósitos provenientes de la transgresión y regresión postpampeana y si bien es cierto que se trató de investigaciones locales, estas nos han suministrado datos de gran importancia para la interpretación de las relaciones estratigráficas de estas capas en general ¹.

En el noreste de la provincia de Buenos Aires existen bancos de conchillas y capas palúdicas (lacustre Amegh.) que dejan lugar a dudas si corresponden a una misma transgresión o a dos distintas. Este problema lo vienen a resolver los estudios de Witte.

Por las relaciones estratigráficas que presentan los distintos bancos de conchillas que se hallan en la región de San Blas, llegó a la conclusión, que todas han sido depositadas durante la misma transgresión y regresión, pero que se pueden distinguir cinco estados de avances y retrocesos del mar. Él dice que después de la regresión en el tiempo plioceno, que dió lugar a la formación de las areniscas rionegrenses, hubo una nueva transgresión marina en la época cuaternaria y opina que los tres primeros estadios corresponden al tiempo diluvial y los dos segundos al aluvial. El primer estadio está representado por los rodados fluvio-glaciales (tehuelches) con fósiles marinos que se hallan en una altura de 50 a 60 metros sobre el nivel actual del mar; en el segundo estadio, representado por bancos de conchillas en las mesetas, cerca de la costa llegó el mar a una altura de 10 metros.

El considera que este último corresponde al piso querandino de Ameghino.

Los depósitos del cuarto estado se componen de bancos de conchillas, terrenos salitrosos cerca de la costa y los del quinto, de rodados y de arena movediza moderna.

Comparando estas condiciones estratigráficas con las del nordeste de la provincia, resulta que Ameghino tenía razón al atribuir los pisos querandino y platense, al tiempo diluvial. No puede caber ya duda, que las facies marinas y palúdicas inferiores de la formación postpampeana correspondan todavía al terreno diluvial y que solamente la parte superior desprovista de mamíferos fósiles sea aluvial. Pero en lo que Ameghino no tenía razón, es que él ha considerado el pampeano lacustre (piso lujanense) de edad terciaria; es evidente que este piso forma la facie palúdica de las capas marinas, que se hallan en los rodados fluvio-glaciales en Patagones. En el partido de Magdalena y en otras partes de la costa se pueden observar dos clases de bancos marinos; en los unos las conchillas están sueltas y en los otros, cementadas. Estas últi-

¹ *Memoria del Ministerio de obras públicas de la provincia de Buenos Aires*, tomo II, 1914 y 1915, La Plata, 1916.

mas seguramente corresponden a los estadios uno y dos de la división de Witte y las otras sueltas al estadio tercero, que forma el piso *querandino*, de Ameghino. La diferencia consiste en que al sur los bancos más antiguos se hallan en un nivel más alto que los más recientes, pero que en el nord-este sucede lo contrario.

Las capas de conchillas cementadas, que corresponden a esta transgresión, se hallan en esta región sólo en los terrenos bajos; tampoco las he encontrado en parte alguna en el interior, mientras que los bancos de conchillas sueltas del piso *querandino* llegan, por la depresión del Río Paraná, hasta la altura de San Pedro.

Los hechos demuestran que después del primero y segundo estadio de la transgresión, la costa se elevó en el sur de la provincia a mayor altura que en el norte. En el Río Negro, durante el tercer estadio, el mar no ha llegado a cubrir los depósitos anteriores, mientras que en el partido de Magdalena se pueden observar en muchas partes bancos de conchillas más recientes directamente encima de los más antiguos.

En cuanto a las facies palúdicas, Ameghino distinguió un piso pampeano lacustre o lujanense y otro post-pampeano — lacustre o platense. Estos depósitos se observan en casi todas las depresiones, en la provincia de Buenos Aires, por donde corren ríos y arroyos y jamás he encontrado entre uno y otro horizonte capas de loess pampeano. Las capas de estos dos pisos se componen generalmente de una marga de color gris claro verdoso, que en algunas partes, en las provincias de San Luis y Córdoba, está reemplazada por una toba volcánica más o menos pura del mismo color y por esto han sido confundidas con las capas lacustres. En los depósitos lacustres post-pampeanos se observan frecuentemente estratos de limo arenoso y de tierra negra, lo que ocurre raramente en el lacustre lujanense. En los dos depósitos abundan pequeños caracoles palúdicos, especialmente *Hydrobias*.

La diferencia entre estos dos depósitos lacustres consiste en la fauna de mamíferos; mientras que en el lacustre lujanense abundan los fósiles de mamíferos extinguidos, estos faltan casi por completo, o al menos son raros, en el lacustre post-pampeano.

Dividiendo los estratos exclusivamente por los fósiles que contienen, seguramente el piso lujanense habrá que incluirlo en la formación pampeana, como lo ha hecho Ameghino, pero no cabe duda que estos estratos se depositaron durante la transgresión *querandina*. Capas marinas de esta transgresión no se observan en ninguna parte interpuestas en el loess pampeano, siempre se hallan encima de este, de manera que por la regla de la superposición hay que colocar el piso lujanense en la formación postpampeana.

La formación post-pampeana comprende los depósitos arcillosos, margosos, limosos y arenosos con bancos de conchillas marinas y de agua

salobre, que contienen escasos restos de mamíferos extinguidos. Forma una ancha faja en la parte litoral de la provincia de Buenos Aires y se extiende en el terreno bajo en algunas partes hasta 70 kilómetros más adentro de la actual rivera marina. En el interior de la llanura pampeana esta formación está representada por capas palúdicas que Ameghino llamó lacustres. Las inferiores contienen abundantes restos de mamíferos fósiles y se depositaron en esteros, cañadones y valles de ríos y arroyos. A esta formación pertenecen también los médanos fijos y los de arena movediza que se hallan en la parte litoral y a lo largo de los ríos y arroyos que nacen en las sierras, como los que se hallan en los alrededores de los antiguos esteros. En el terreno alto de la llanura, la formación está representada por una capa de tierra, *humus*, de poco espesor.

Llama la atención que después de haberse formado el loess pampeano se depositó en la llanura pampeana solamente una capa de sedimentos que, por término medio, no pasa de dos metros de espesor y se podría suponer que hubiera habido solamente una acción de denudación. Ciertamente, en regiones onduladas, ha habido en las lomas una acción de denudación en vez de acumulación, pero estos parajes son muy limitados en comparación con el terreno completamente llano. Hay regiones, como por ejemplo, la de Junín a Carlota, completamente llanas, donde durante todo el tiempo post-pampeano ha habido una sedimentación. Numerosos ríos y arroyos, que nacen en las sierras, acarrearón continuamente arena y sedimentos finos y los depositaron en los esteros, donde se formaron médanos a los cuales los desparramaron los vientos sobre las llanuras; sin embargo, la capa post-pampeana, fuera de los cañadones y de las zonas de médanos, no pasa de dos metros de espesor. Esto nos demuestra la lentitud de la sedimentación del material que se transformó en loess, pues en estas llanuras los depósitos post-pampeanos pasan gradualmente a las capas de loess.

Al tratar de las transgresiones marinas me tendré que ocupar de nuevo con la formación post-pampeana y por esto no entro aquí en mayores detalles.

IX

Las interposiciones marinas en la llanura pampeana

Hemos visto que el subsuelo de la provincia de Buenos Aires está construido en su base fundamental de capas continentales, es decir, de sedimentos que se depositaron en la tierra firme.

Intercaladas en ellas se encuentran, en distintas profundidades, capas

marinas provenientes de transgresiones, en las que el mar penetró muy al interior de la llanura pampeana.

El verdadero conocimiento de la relación estratigráfica de las capas marinas con las de origen terrestre es de importancia fundamental para todas las investigaciones geológicas que se hacen en la llanura pampeana, ya sea para la explotación de las aguas subterráneas o ya para aprovechar cualquier otro producto natural. A primera vista parece muy sencillo eso de constar por los sondeos las interposiciones marinas en los depósitos terrestres, pero en la práctica se presentan muchas dificultades. En las perforaciones hechas en la provincia de Buenos Aires, se ha observado que las capas marinas de transgresiones, que tuvieron lugar en distintos tiempos geológicos, no están siempre separadas por estratos de origen terrestre, sino que hay lugares donde los depósitos marinos correspondientes a distintas transgresiones se hallan uno directamente encima de otro, y a veces no es posible decir dónde termina el uno y empieza el otro, porque en las perforaciones raramente se consigue sacar fósiles en estado de poderlos determinar.

Además, hay capas marinas pertenecientes a dos formaciones con faunas muy parecidas, por ejemplo, la entrerriana y la patagónica. Hemos visto que durante mucho tiempo, estos dos depósitos marinos se han considerado como contemporáneos y solamente por los restos de mamíferos, que se encuentran en ellos mezclados con los marinos, se ha podido comprobar que corresponden a dos períodos geológicos distintos.

Por otra parte, de sondeos practicados en la provincia de Buenos Aires, sabemos hoy que este terreno nunca ha estado totalmente cubierto por el mar en un mismo tiempo geológico; mientras una localidad se hallaba debajo del mar, otra formaba tierra firme, y en otra transgresión esta última se sumergía y la otra comarca quedaba en seco. La falta de fósiles característicos dificulta la determinación de la edad exacta en las capas marinas, que se encuentran en las diversas profundidades. Ante todo tenemos que establecer cuántas transgresiones tuvieron lugar durante el tiempo en que se depositaron los sedimentos en la llanura pampeana y estudiar la relación estratigráfica de las capas marinas en las regiones donde éstas se hallan a descubierto, para poder hacer así deducciones por analogía.

El doctor Richard Stappenbeck, geólogo de la Dirección de minas, geología e hidrología, ha hecho un ensayo para establecer las relaciones estratigráficas en el subsuelo de la llanura pampeana; el trabajo se titula: *Resultados geológicos de algunas perforaciones hechas en las provincias orientales de la República Argentina* ¹.

Él dice : « Debo anticiparme a manifestar que el presente informe no

¹ Boletín del Ministerio de agricultura, tomo XVI, número 4, 1913.

agota la materia y que por no salir fuera de los límites de este trabajo no puedo dar aquí las razones que me inducen a emplear el término « formación pampeana » de un modo completamente distinto al que lo ha sido hasta ahora. Haré tan sólo presente que, fundado sobre consideraciones climatológicas, litogénicas y paleontológicas, abarco con dichos términos un espesor de terreno muy superior al de los terrenos que otros autores han acostumbrado a llamar pampeano. »

Basado en los resultados de perforaciones hechas en estas regiones, él cree poder distinguir cuatro formaciones (terrenos): 1ª Aluviones de poco espesor; 2ª La formación pampeana con las dos interposiciones marinas más antiguas, es decir, los « estratos santafecinos » y los « estratos entrerrianos » con el piso paranense; 3ª El cretáceo; 4ª Las mantas de meláfido.

Los aluviones se componen, según él, en general, de depósitos pocos espesos « de arcilla, fango, arena o limo y tienen importancia sólo en el delta del Paraná ». Los depósitos marinos de la transgresión postpampeana no los menciona, y sin embargo, son de una gran importancia para los estudios de las aguas subterráneas, porque no sólo es salada el agua en estas capas, por lo común, sino porque también lo es la de las napas inferiores en los parajes donde existen estos depósitos. Tampoco es cierto lo que dice que se encuentran solamente en el delta del Paraná.

De la formación pampeana escribe textualmente lo siguiente: « La formación pampeana está formada en esta región por depósitos de origen terrestre, es decir, loess arcilloso, tosca, arcilla, marga, marga de piedra, arena y en muchas partes también una arena calcárea (Kalksand) muy característica, pero no muy espesa que, sobre todo, no se halla en un horizonte determinado. En estos depósitos terrestres se hallan interpuestas en las provincias orientales las dos interposiciones marinas más inferiores conocidas ahora. Para la más antigua de ellas propongo el nombre de « estratos santafecinos », porque la provincia de Santa Fe está, al parecer, completamente en el dominio de esta transgresión del mar. La interposición marina más reciente que sigue, está constituida por los estratos entrerrianos conocidos hace mucho tiempo. »

Lo que dice referente a las interposiciones marinas es inexacto; más adelante se verá que, durante el tiempo en que se depositaron los estratos que él llama pampeanos, ha habido seis transgresiones marinas y no solamente dos.

No comprendo bien cuáles sean los depósitos marinos que él señala con el nombre de « estratos santafecinos », y que, según él, predominan en Santa Fe, pues no conozco en parte alguna del territorio argentino depósitos marinos que puedan corresponder a tal transgresión; él mismo admite la posibilidad de que sea la misma que dió origen a la fase marina de la formación patagónica.

No veo ventaja alguna en eso de crear denominaciones nuevas para capas completamente hipotéticas, pues esto sólo sirve para aumentar la confusión ya existente en la terminología de pisos y formaciones. El proceder de Stappenbenck es tanto más inexplicable puesto que en el mismo trabajo propone se elimine «areniscas guaranícas», creado por D'Orbigny, por haber sido estas capas mal definidas. Según él, no se trata más que de un cambio de facies de los estratos entrerrianos; este es otro error. Ciertamente es que las areniscas rojas que forman el horizonte inferior de la formación guaraníca, como lo ha definido D'Orbigny, faltan en las inmediaciones de Corrientes, donde él las ha hecho figurar en su perfil esquemático, pero existen en otras partes que él menciona. De ninguna manera, pues, se trata solamente de una distinta facie de las capas entrerrianas; estas últimas son terciarias superiores y las areniscas rojas son cretáceas o por lo menos del terciario más inferior.

Lo peor del concepto no consiste solamente en la nomenclatura, porque él afirma que la parte noroeste de la provincia de Buenos Aires, parte de Córdoba y casi toda la provincia de Santa Fe hasta Santiago del Estero, se encontraban debajo del mar durante el tiempo de su supuesta transgresión santafecina. En el mapa que acompaña el informe, el límite occidental de los estratos santafecinos arranca de la costa atlántica cerca de la Mar Chiquita, atraviesa la provincia de Buenos Aires y pasa en Villa Sauce a la Pampa Central, tomando la dirección hacia La Carlota, cortando así toda la provincia de Córdoba de sur a norte.

Según esta exposición, tendríamos que suponer que en esta parte existiera una grande geosinclinal, y es muy importante, para las investigaciones de la geología práctica, saber si ésta realmente existe. La experiencia ha demostrado, por ejemplo, que los yacimientos petrolíferos se encuentran con mayor frecuencia en los anticlinales que en los sinclinales y no se deben buscar ni en capas que se depositaron en mares abiertos, ni en los centros de grandes depresiones, sino en los depósitos litorales, es decir, en estratos que se depositaron en golfos, bahías, ensenadas o en una palabra, en mares vadosos.

En muchos trabajos he demostrado que estos territorios, desde tiempos cretáceos, jamás han sido cubiertos totalmente por el mar. Durante las diversas transgresiones el mar ha invadido el continente por las depresiones producidas por movimientos eustáticos y regionales formándose así algo como archipiélagos. En contra de esta opinión Stappenbeck dice en su mencionado trabajo: «Habiéndose encontrado los estratos santafecinos únicamente en perforaciones, daré los datos obtenidos hasta hoy: ya en el año 1908, Roth había indicado el hallazgo de arcilla con fósiles marinos en las perforaciones en Selva, en la esquina del sudeste de la provincia de Santiago del Estero y en Timote, en la

parte noroeste de la provincia de Buenos Aires, como residuos de la transgresión marina más antigua conocida en la región pampeana ¹, deduciendo de ahí la conclusión de que el mar hubiese invadido el continente en largos brazos (fjorde), conclusión que a él le parece confirmada por los resultados obtenidos en las perforaciones del Saladillo y Lincoln, en la provincia de Buenos Aires ². En Saladillo se encontró, en efecto, otra vez la arcilla y arena arcillosa marinas fosilíferas, mientras que en Lincoln, no; pero el hecho de no existir un depósito en un punto no es una prueba decisiva de que no haya existido alguna vez, y de lo que paso a exponer resultará, como creo, que estos testigos de depósitos marinos no indican brazos estrechos del mar, sino una importante y extensa irrupción del mismo en la región pampeana. El mapa agregado da una idea general sobre el límite hasta hoy conocido de estas capas compuestas casi esencialmente de una arcilla verde obscura gris, obscura o gris verdosa obscura, es decir, de un depósito del tipo del Blauschlick (fango azul) y más raras veces de una arena más o menos arcillosa. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires se hallaron en Macedo, en la línea de Juancho a Viborata, debajo de arena negruzca y a la profundidad de 60 metros, conchillas marinas. Lamento no haberlas tenido, de modo que no me es posible decir si pertenecen al depósito marino más antiguo o no. En la perforación efectuada en Guido, profundizada hasta 290 metros, se encontraron 80 metros de arcilla verde marina ³. En la perforación de Saladillo, ya mencionada, se halló desde 165^m40 a 248^m60 arcilla azul y arena arcillosa con conchillas marinas que Roth juzga tal vez como contemporáneas de la formación patagónica ⁴. La arcilla marina con ostras de Timote es ya conocida desde algún tiempo; hace poco que se descubrió el mismo horizonte en una perforación en Pehuajó, pero no en Guanaco, según me informaron. También en Villa Sauce ha sido atravesada esta capa con ostras fósiles desde los 184 metros. El punto más occidental de donde conocemos hasta ahora este horizonte marino, es la estancia El Gallinao, en la parte más meridional de la provincia de Córdoba cerca del pueblito de Van Praet. Allí existe de 215^m65 a 253^m60 de profundidad, una arcilla marina gris verdosa, obscura, con fragmentos de ostras fósiles, descansando sobre arena, arcilla y marga terrestre de la formación pampeana. Del mismo modo deben pertenecer a este horizonte marino los depósitos de arcilla que en Rufino comienzan

¹ S. ROTH, *Beitrag zur Gliederung der Sedimentablagerungen in Patagonien und der Pampasregion Neues Jahrbuchf., Min. Beil.*, XXVI, página 132.

² *Memoria presentada a la honorable Legislatura por el ministro de Obras públicas, 1911-1912.* La Plata, 1912.

³ Datos suministrados por el señor ingeniero Ford.

⁴ *Memoria*, loc. cit., página 258.

a los 174 metros bajo la superficie y en los cuales, según Valentín, hay huesos de pescado ¹, no tratándose de ninguna manera de depósitos lacustres, como cree Roth, que no han podido formarse en tal espesor por las condiciones existentes en la región de la transgresión. »

Si en una perforación no se han encontrado depósitos con fósiles marinos, no es permitido afirmar que estas capas hayan existido antes; tenemos que hacer las deducciones por los hechos que se observan y no por suposiciones. Las capas marinas no faltan solamente en Lincoln, sino también en otras localidades, como lo demuestran los numerosos sondeos practicados en la provincia de Buenos Aires.

En la zona que él indica como límite de sus estratos santafecinos, hemos encontrado en muchas partes capas marinas y no pueden ser más antiguas que las extranjeras y fuera de esta zona se encontraron depósitos marinos que seguramente corresponden a transgresiones más antiguas que la entrerriana.

Naturalmente se llega a tales resultados, si se considera el fango azul (Blauschlick) como testigo de depósitos marinos y se afirma que capas limosas que contienen restos de peces, conchillas de agua dulce y fósiles vegetales (como en el caso de Rufino) no pueden ser de ninguna manera depósitos lacustres, por el espesor que presentan.

Para mí no hay la menor duda que él ha reunido en su *terreno santafecino*, capas marinas que corresponden a distintas transgresiones; este término no está justificado y debe ser rechazado; en primer lugar, no se han observado en ninguna parte de nuestros territorios capas marinas que correspondan a tal transgresión; los estratos que él menciona pertenecen en parte a la facie marina de la formación patagónica, en parte a la entrerriana y aún a otras más modernas, como las que cita en la línea del ferrocarril de Juancho a Viborata.

Lo que dice referente a las capas marinas entrerrianas tampoco concuerda con la realidad. El que no conoce esta región por estudios propios y mira el mapa que acompaña el informe, tiene que creer que el mar de la transgresión entrerriana haya cubierto toda la provincia de Entre Ríos, gran parte de las provincias de Corrientes y de Santa Fe y solamente la parte más oriental de la provincia de Buenos Aires.

Al terminar con la descripción de los estratos santafecinos manifiesta: « la interposición inmediata más reciente que no es de *origen terrestre*, la forman, como ya hemos dicho, los estratos entrerrianos con el piso paranense ».

Los estratos que se designaron con el nombre « formación entrerriana », y que antes se suponía que hayan sido depositados durante la transgresión patagónica, se componen de dos facies, una marina y otra flu

¹ Segundo censo de la República Argentina, tomo I, Geología.

vial; pero Stappenbeck no hace distinción entre una y otra clase de capas; en su mapa figura todo como terreno entrerriano. En trabajos hidrogeológicos es de gran importancia conocer las comarcas que han estado cubiertas por el mar en las diversas transgresiones; el lector que mira este mapa tiene que creer que el mar durante la transgresión haya llegado hasta el Alto Paraná y que en la provincia de Buenos Aires haya alcanzado solamente hasta el límite oriental, es decir, la parte de la costa del río Paraná y río de la Plata.

En realidad, en aquel tiempo, el mar no alcanzó a llegar a la altura de La Paz, y las perforaciones practicadas en el territorio de Buenos Aires han demostrado que las aguas del océano habían penetrado en muchas partes de esta provincia hasta el interior del continente. Ya D'Orbigny y Darwin sabían que la base de las barrancas en la boca del río Negro está formada de capas marinas entrerrianas. Stappenbeck podría alegar que no conocía el resultado de nuestras perforaciones y que, por esto, no lo había hecho figurar, pero ello no justifica que haga figurar capas marinas en parajes donde no existen. Según él, los estratos entrerrianos se encontrarían en toda la provincia de Entre Ríos hasta llegar al río Uruguay; puedo afirmar que entre Concordia y Concepción del Uruguay no existen capas de esta formación, ni marinas, ni fluviales. Estos depósitos están bien estudiados en las barrancas del río Paraná, pero no sabemos hasta dónde, en el interior de esta provincia, haya llegado la transgresión. He practicado algunas investigaciones en Basavilbaso y no he encontrado ni estratos fluviales, ni marinas entrerrianas en esta localidad.

No entro a discutir lo que dice referente al terreno cretáceo y la manta melafídica, que forman, según él, el horizonte más inferior, porque trato solamente de las transgresiones.

El doctor Stappenbeck manifiesta: « La crítica, basada en exploraciones propias, decidirá entonces si la delimitación de la formación pampeana, como yo lo entiendo, es natural y, por lo tanto, si es justificada o no. » De este corto análisis crítico se puede ver que sus exposiciones no están justificadas.

Los límites de los estratos santafecinos y entrerrianos, trazados en el mapa, son completamente erróneos, y carecen de valor científico y práctico. Tratándose de un informe oficial de una repartición nacional, sería de esperar que, por lo menos, los datos que se publican, fuesen exactos, basados en observaciones en el terreno, pero resulta que todo es hipotético. El trabajo no está acompañado por un solo perfil geológico de las perforaciones que se mencionan.

En los estudios geológicos practicados por medio de sondeos he podido constatar hasta ahora depósitos marinos que corresponden a seis transgresiones. Estas son las siguientes, comenzando con la más anti-

gua : 1ª rocanense; 2ª patagonense; 3ª entrerriense; 4ª mesopampeana o ensenadense; 5ª neopampeana o belgranense; 6ª post-pampeana o querandinense.

La transgresión rocanense. — Esta transgresión ha sido fundada sobre depósitos marinos que he descubierto en un viaje de exploración realizado en 1895 a 1896 en los territorios del Neuquén y del Río Negro. El paraje se halla en la barranca al norte del valle superior del Río Negro a unas tres leguas del antiguo fuerte General Roca. En otro viaje a Patagonia encontré capas marinas en la toba abigarrada en un paraje llamado valle de las Plumas, en la barranca del río Chubut.

Hoy conocemos muchos lugares en Patagonia, donde existen interposiciones marinas en la formación de la arenisca roja, descubierta por Carlos Ameghino y el doctor Hauthal, así como en el territorio del Neuquén, descritas por el geólogo Windhausen, las que, por los fósiles que contienen, parece que deben su origen a la misma transgresión.

La edad geológica exacta, a la que éstas corresponden, no está todavía bien definida; algunos autores la consideran cretácea, y otros, terciaria inferior, lo que ha dado motivo a largas polémicas; ya existe una considerable literatura que trata del asunto. Muchos de estos autores no han practicado estudios en el terreno. En el presente caso no nos interesa saber si corresponden al cretáceo superior o al terciario inferior, sino conocer la relación estratigráfica que representan con las formaciones de origen terrestre y saber si el mar ha cubierto en este tiempo toda nuestra región como suponen algunos geólogos o si ha penetrado solamente en ciertos parajes al interior del continente.

En los años 1912 y 1913, el doctor Anselmo Windhausen, geólogo de la Dirección general de minas, geología e hidrología de la Nación, ha practicado estudios en los territorios de Río Negro y Neuquén, para establecer la formación en que se encuentran los yacimientos petrolíferos que existen en aquella región. En un informe publicado en los *Anales del Ministerio de agricultura* (sección geología, mineralogía y minería, t. X, n° 1, 1914), trata ampliamente de las relaciones estratigráficas de las capas marinas de la transgresión rocanense y de las areniscas rojas y me permito hacer algunas aclaraciones respecto a su interpretación. En las páginas 25 y 26 de la citada publicación dice : « Las relaciones petrográficas y estratigráficas de estos depósitos han sido descritas por los distintos autores de una manera muy diferente, lo que se manifiesta ya por la diferencia de los nombres. Mientras que Ameghino creó el nombre de las areniscas abigarradas y rojas (*guaranítico* y *chubutiano*) hay dos nombres que también tienen uso en la literatura científica : *Formación de los dinosaurios* (Roth) y *Formación guaranítica* (Wilckens).

« Respecto de la denominación *Formación guaranítica*, opino que es

tán justificadas las objeciones de Roth (pág. 94), pues sobre la edad y las relaciones de las areniscas de Corrientes etc., para las que creó ese nombre D'Orbigny, tenemos hasta ahora muy pocos datos. También tengo que declinar el nombre de la *Formación de dinosaurios*, pues veremos más adelante que los restos de éstos, no están distribuidos en toda la serie, sino que se hallan únicamente en la parte más alta hacia el límite superior. Por todas estas razones creo más conveniente trasponer el nombre de las «areniscas abigarradas» (*grés bigarrés* Ameghino) a toda esta serie. Comprendo, pues, bajo este nombre, toda la serie de los sedimentos, cuyo límite inferior está formado en el cerro Lotena por calizas neocomianas con bivalvos y en Convunco por arcillas con los *Polyptychites* (¿Barremianos?) terminando estos sedimentos hacia arriba con las formaciones que caracterizan la transgresión del piso rocanense.

« Los ensayos de una separación de pisos y subpisos dentro de esta serie no han dado hasta ahora un resultado aceptable, y mis propios estudios están lejos de representar una solución que satisfaga completamente en este sentido. Pero sin embargo, logré constatar en mi último viaje algunos hechos, que quizá puedan ser considerados como un primer paso en este camino. Seguro es, que tal división de la serie hará apoyarse siempre en la diferencia de los caracteres litológicos, y que tendrá por consiguiente siempre un carácter más o menos convencional.

« La falta de fósiles es completa, y únicamente los horizontes superiores contienen los restos de los dinosaurios.

« Es un error pues, si Ameghino ha tratado de paralelizar depósitos marinos con partes de estas areniscas, hablando también de intercalaciones marinas dentro de esta serie. Según mi actual conocimiento, estas intercalaciones en el sentido de Ameghino no existen, y el proceso de la sedimentación de las areniscas abigarradas terminó por llegar desde la región atlántica la transgresión del piso rocanense, cuya edad considero provisoriamente como senoniano de acuerdo con Wilckens. »

Windhausen cree que la creación de pisos y subpisos dentro de la formación de las areniscas abigarradas (areniscas rojas) pueda ser de provecho en lo futuro para la cuestión del petróleo. Aquí no quiero ocuparme de divisiones en pisos, ni de la cuestión de nombres, sino del problema, si la transgresión que dió origen a las capas marinas en Roca haya sido general o parcial. Tratándose de la opinión de un geólogo que ha practicado estudios en el terreno, creo conveniente citar, lo que dice en diversas partes en su informe a este respecto.

En la página 28 Windhausen escribe : « Roth y con él Burckardt y, apoyándose en éstos, Ameghino se han formado la idea de que el piso rocanense sea nada más que una intercalación marina dentro de las «areniscas con dinosaurios». Pero observaciones en el camino a la sierra Auca Mahuida muestran más claramente aún que las al norte de la Co-

lonia Roca misma, que esta idea es falsa. Así pues, no estoy de acuerdo con Roth cuando escribe lo siguiente: « Los depósitos del piso rocanense no descansan sobre las areniscas con dinosaurios, sino forman una lenteja dentro de éstas. Es imposible que en aquella época toda la Patagonia extra andina hubiese sido inundada por el mar. He encontrado los depósitos en cuestión solamente en dos lugares, cerca de Roca y cerca del Valle de las Plumas (río Chubut). Forman fajas estrechas, cuya extensión es insignificante comparándola con las de los depósitos continentales. Hay que suponer, que estas fajas han sido depositadas en « fjords » que penetraron en el centro del continente.

« Pero nuestro actual conocimiento se ha ampliado de manera que podemos seguir la distribución de estos depósitos desde General Roca a través del río Colorado hasta el volcán Payén a base de fósiles que ha recogido el doctor Backlund, siendo probable que estos depósitos tengan conexión con el senoniano y daniano de Malargue, Pircala, etc., que fueron descritos por Burckardt. Todos estos hechos y las relaciones a la fauna de María Farinha (Pernambuco), las que mencionó por primera vez Burckhardt, como también el conocimiento de los depósitos equivalentes de la Patagonia, hablan en favor de la opinión de Wilckens ¹ de que se trata de un proceso transgresivo grande y uniforme. Puede ser que ciertas partes del continente, también en la zona extra andina, hayan permanecido elevadas sobre el nivel del mar, formando así islas, porque el mar de esta época, sin duda alguna, era muy playo y poco profundo en estas regiones, lo que explicaré detenidamente más adelante. »

En la página 35 dice: « La opinión dominante considera a las Areniscas Abigarradas como depósitos continentales o terrestres. Con esta opinión fija, yo también me había dedicado al estudio de estos depósitos, pero tengo que confesar que, cuantos más perfiles de esta serie se me han ofrecido a la vista, sobre todo en mi último viaje, tanto más he puesto dudas en esta interpretación. Por otra parte está creciendo el número de los que declinan terminantemente del carácter terrestre respecto de semejantes formaciones europeas y norteamericanas. Según los geólogos norteamericanos los *red beds* siempre son depósitos marinos, aunque formaciones correspondientes a un mar con condiciones muy singulares » ².

Más abajo, en la misma página continúa: « *El piso rocanense en esta región no es una intercalación dentro de las areniscas abigarradas, sino una formación bien distinta, que se presenta netamente con un carácter transgresivo encima de aquella serie.* Se observa sus depósitos en mayor ex-

¹ Wilckens no ha practicado estudios en el terreno.

² Seguramente los mares tenían que presentar condiciones muy singulares, si en sus depósitos se encuentran únicamente restos de animales terrestres.

tensión como una capa continua desde la confluencia hasta el otro lado del río Colorado, y parece que existe en ciertas partes una conexión sin interrupción a las formaciones fosilíferas, que describió Burckhardt de la parte meridional de Mendoza. Según noticias, que he recibido, parece que casi todo el curso superior y medio del río Colorado corre por barrancas de estas capas y un poco al norte de este río las capas de referencias pasan por debajo de la formación pampeana. Ameghino menciona depósitos del piso rocanense de la bajada de Gualiche en el curso inferior del río Negro, y por otra parte es un hecho extraño, que ni el perfil de la perforación de Argerich ni en los perfiles de perforaciones pampeanas se ha notado algo de la presencia de depósitos de esta época. Según von Ihering, las relaciones faunísticas entre Roca y María Farinha son el resultado de un mar, que ligaba la región andina con el valle del río Amazonas a través del continente, pero Wilckens pretendió con mayor razón en mi concepto, el *camino atlántico de esta fauna*. Tierra firme supongo para aquella época en la región del norte de Buenos Aires y de la Pampa y al otro lado quedó una faja estrecha de tierra andina (en sentido estricto), de manera que la región de nuestros estudios formaba la bahía septentrional de un mar que inundaba la mayor parte de la Patagonia. Los que insisten en pretender la diferencia de las edades de luisiano, salamquiano, rocaniano, etc., pueden tratar de paralelizarlos con las distintas faces de mi perfil, suponiendo algunas diferencias locales y temporales del movimiento en distintos lugares pero no cabe duda, que todo ese proceso corresponde perfectamente al *ciclo de una transgresión grande y uniforme*. »

Concluye su infome diciendo : « Así era la configuración de la región cuando entró en la época del piso rocanense el mar desde el este o sudeste ahogando paulatinamente *todo el continente*. La región se transforma a una llanura ribereña del mar, cuya pequeña inclinación se prolonga hacia el este en el suelo del mar con la misma inclinación insignificante. En el fondo se extiende la montaña descrita, y en su falda la erosión está creando cañadones hondos en capas blancas. La fauna se compone principalmente de los dinosaurios.

« Avanzando paulatinamente la transgresión desde la región atlántica, entran brazos de mar entre las elevaciones montañosas de la tierra, los suelos de los cañadones se transforman en golfos del océano, mientras que los ríos empiezan a depositar deltas largos de las bahías y en el océano.

« Todos los sedimentos de la transgresión son transportados sólo por cortas distancias, son masas de arena gruesa y fango, que deben su material a un acarreo de los sedimentos antiguos del continente ahogado. En los golfos con las barrancas paradas de los antiguos cañadones, se separan trozos grandes de las peñas pendientes que caen abajo, para

ser embalados en las masas de fango, sin sufrir mayor transporte. En otras bahías, en donde las corrientes del agua cambian muchas veces su dirección, se forman las areniscas con estratificación entrecruzada, que observamos en gran extensión en el mismo horizonte. En ciertos lugares la sedimentación agarra los esqueletos de los grandes dinosaurios y los entierra. Arrecifes arenosos se forman en el agua poco honda y, llegando hasta la superficie del mar, pueden producir separaciones de bahías y brazos, en las que se depositan capas de material muy fino, y enriqueciéndose la ley de sal, tiene lugar una secreción de yeso, que a veces llega a tomar grandes proporciones.

« Cuanto más el mar, por avanzar la transgresión, llega a tocar el pie de la montaña, profundizándose en la región de la planicie, tanto más penetra paulatinamente desde el este o sudeste la fauna marina. Pero siempre son formas que prefieren un agua muy baja, faltando completamente formas del alto mar. El papel principal lo tienen las ostras, que se presentan en una cantidad sorprendente. En ciertos puntos favorables hay formaciones de arrecifes de briozoos y corales.

« Así viene la culminación del proceso, pero por poco tiempo domina el mar aquí durante aquella época y la región de las formas pelágicas, de la vida del alto mar, queda siempre muy lejos en las profundidades del océano Atlántico. La regresión se lleva a cabo aún más rápidamente que ha llegado la transgresión, depositando, otra vez esta faz regresiva masas de arena gruesa y de material arcilloso. Así se concluye el ciclo y en la región de nuestros estudios el piso rocanense representa la última transgresión hasta el día de hoy. »

Como se ve, Windhausen incurre continuamente en contradicciones; por una parte, él combate la opinión de Ameghino y la mía que los estratos marinos rocanenses se depositaron en golfos y angostos canales (Fjords), afirmando que se trata de una transgresión general y uniforme, que ahogó paulatinamente todo el continente, y en otros lugares, él mismo habla de bahías y brazos.

No quiero someterle a una crítica severa; le he citado solamente para corregir algunos errores muy perjudiciales para la interpretación de la relación estratigráfica entre los depósitos de origen terrestre y los marinos.

Este informe está acompañado de un croquis topográfico y geológico del terreno que él ha explorado y de varios perfiles geológicos esquemáticos.

El que no ha practicado estudios en esta región, difícilmente puede formarse una idea clara de las condiciones geológicas que presenta esta zona, porque Windhausen ha usado, en los planos y perfiles, distintos signos para los mismos depósitos.

En su perfil esquemático transversal de la parte central y oriental del

territorio del Neuquen (lámina XIII) entre el cabo Lotena y Roca figuran varios pliegues normales con anticlinales y sinclinales. Yo he podido constatar en esta región solamente una gran geosinclinal que se manifiesta en el hecho, que en las barrancas del río Negro aparece a la altura de Roca la formación de arenisca roja (arenisca abigarrada) que falta más abajo.

En este perfil hace figurar una sinclinal en Roca y otra en la confluencia del Neuquén que está rellena de estratos del piso rocanense, lo que es inexacto, pues en Neuquén no existen depósitos rocanenses. En frente de Roca mismo la formación de arenisca roja no está bien visible, porque el pie de la barranca se halla cubierto de materiales sueltos, pero un poco más arriba antes de llegar a la estación Allén está bien desarrollada y en la confluencia de Neuquén las barrancas están construídas totalmente de capas de esta formación; solamente en la parte más superior hay rodados fluvio-glaciales.

Las condiciones geológicas se presentan en las barrancas de esta localidad muy claras y si Windhausen las ha estudiado, no me explico cómo ha podido construir semejante perfil.

Eventualmente se podría suponer que la arenisca roja formara en este punto la loma de una anticlinal, pero jamás de una sinclinal.

La parte más inferior está formada de arenisca de color rojo de tinte algo variante. La masa principal se compone de arena cuarzosa y de roca calcedónica mezcladas de materiales finos en gran parte de origen volcánico. No presenta una estratificación neta, no es muy consistente, pero contiene capas y concreciones cuarzíticas. En esta arenisca abundan los trozos de madera silicificada y restos de gigantescos dinosaurios.

En el mismo pie de la barranca he sacado un fémur y algunas vertebrae de un dinosaurio, el más grande que se conoce. Encima hay otra capa de arenisca de color algo más claro en la que he coleccionado numerosos restos de cocodrilos correspondientes a una familia que se encuentra en los depósitos wealdeanos y purbekeanos de Inglaterra. Esta arenisca tampoco presenta una estratificación neta y termina en la parte superior en un banco de cuarcita. Encima de ésta se hallan otra vez capas de la arenisca roja característica, con restos de los grandes dinosaurios y madera silicificada, las que llegan hasta arriba de la barranca, donde hay una capa de rodados fluvio-glaciales. En toda esta parte no he encontrado estratos con fósiles marinos algunos a pesar de haberlos buscado con empeño.

El perfil esquemático del valle del río Negro en la altura de Roca (fig. 4) que ha construído Windhausen, es aún más defectuoso. Según este perfil, la base de la barranca en el lado sur está formada de areniscas abigarradas, sobre las cuales se hallan las capas basales del piso

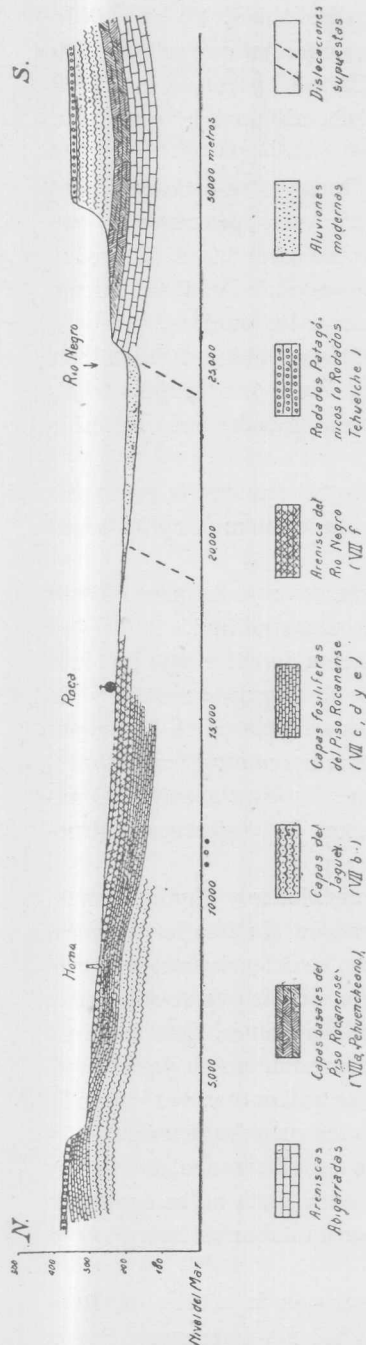


Fig. 18. — Perfil esquemático del valle del río Negro, a la altura de Roca (según Windhausen)

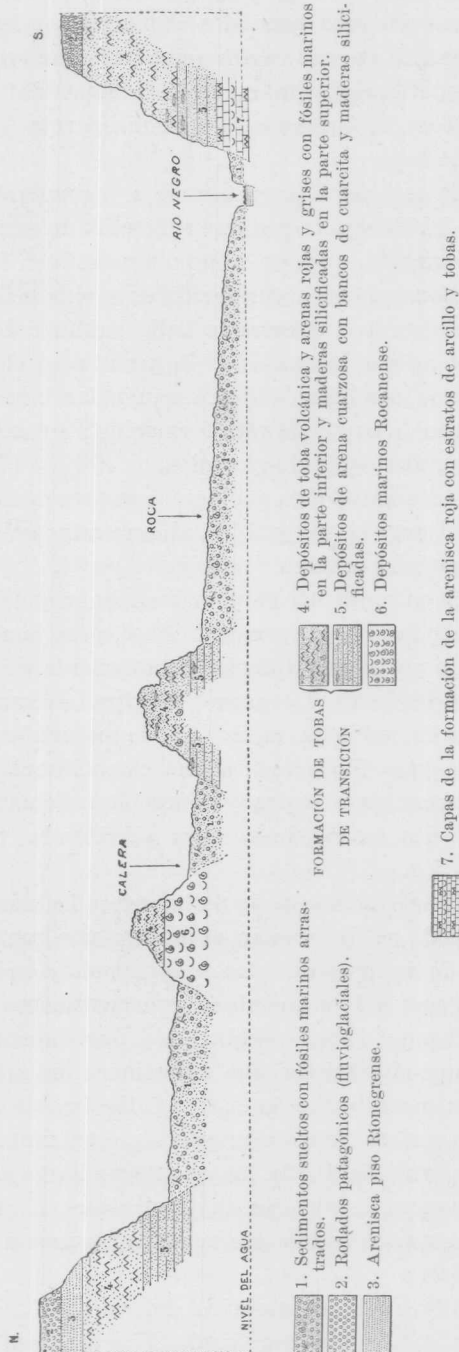


Fig. 19. — Demostración estratigráfica de las barrancas del valle del río Negro, frente a Roca (según Roth)

rocanense ; encima se encuentran capas que él llamó del jagüel y la parte superior de la barranca está formada por los rodados patagónicos (fluvio-glaciales). En el lado norte las condiciones geológicas son, según él, completamente distintas. Los depósitos del jagüel, que en la barranca sur se hallan encima de las capas basales del piso rocanense, se encuentran aquí debajo de las capas fosilíferas rocanenses ; directamente arriba de estas últimas existen, en la barranca alta, rodados patagónicos y en el terreno más bajo hacia el valle, la arenisca del río Negro (piso rionegrense).

Para explicar la diferencia de las condiciones geológicas en las barrancas sur y norte hace figurar dos fallas en el valle del río Negro.

Para mayor claridad reproduzco el perfil en cuestión y publico conjuntamente uno, que demuestra la relación estratigráfica de las principales capas que afloran en este lugar (véanse figs. 18 y 19).

En el lado sur, las barrancas están a pique y por esto las condiciones estratigráficas se presentan más claras que en el lado norte, donde los contactos de las diversas formaciones están frecuentemente cubiertas de materiales sueltos.

En el perfil de Windhausen, la base de la barranca sur está formada de su arenisca abigarrada, que en mi esquema se marca con el número 1.

La masa principal se compone de areniscas rojas con interposiciones de estratos arcillosos en que abunda el material de origen volcánico. De los mismos sedimentos está formada la barranca en la confluencia del Neuquén, hallándose aquí únicamente en la parte más superior capas de rodados fluvio-glaciales. El color predominante es rojo con tinte variante. En estas areniscas rojas abundan los restos de dinosaurios y troncos de madera silicificada.

Encima de estas se hallan otras areniscas de color gris claro con bancos de cuarcita y madera silicificada. Estas son las areniscas que él llama capas basales del piso rocanense ; en mi perfil están marcadas con el número 3. Los mismos depósitos continúan sin discordancia hasta casi la cumbre de la barranca y corresponden a la formación de las tobas de transición. En la parte superior la arena está mezclada con toba volcánica, faltando los bancos de cuarcita, pero se trata en este caso solamente de un fenómeno local. En general, la base principal se compone de una toba volcánica gris clara, que se halla en muchas partes de la Patagonía encima de la formación de las areniscas rojas. En ella se hallan interposiciones de areniscas y capas más o menos arcillosas ; a veces la toba tiene el aspecto de verdadero loess ; en este caso el color es pardo. Windhausen ha dividido estos depósitos en dos horizontes, llamado el superior « capas del jagüel » ; en mi perfil está marcado con el número 4.

Se podría discutir eventualmente, si la parte inferior, que él señala en su perfil de la barranca sur como capas basales del piso rocanense,

correspondiera a la formación de las areniscas rojas, porque en estos depósitos se encuentran frecuentemente interposiciones de areniscas muy parecidas. En el capítulo, que trata de la formación de las tobas de transición, he demostrado que a veces no es posible establecer el límite entre estas dos formaciones, no encontrándose fósiles de mamíferos o de dinosaurios en ellas.

En el presente caso se nota, empero, entre los dos depósitos una perfecta discordancia; no se trata de una interposición, sino en esta parte aparece por primera vez en el río Negro la arenisca roja. Para mí no hay duda, que las areniscas, que él señala en este perfil «capas basales del piso rocanense», son más modernas que los estratos marinos rocanenses típicos y que correspondan a la formación de las tobas de transición ¹.

En el lado norte del valle, frente a Roca, la barranca no está a pique; aquí existe una zona de erosión de unas tres leguas de ancho formada por cerritos (llamados cuchillas); recién en el fondo se levanta la barranca de la meseta.

Según el perfil de Windhausen, las llamadas capas del jagüel, que en las barrancas del sur se hallan encima de las capas basales del piso rocanense, se encuentran aquí debajo de las capas fosilíferas del piso rocanense y por esto él supone que deba existir en el valle una falla. Cabe preguntar, ¿cómo sabe él que las capas del jagüel forman en esta parte el yaciente de los estratos marinos rocanense, si, según su perfil, no afloran en ninguna parte en esta localidad?

En la forma como él ha construido el perfil, las capas del jagüel estarían cubiertas por los depósitos marinos rocanenses y no llegarían en ninguna parte a la superficie. Las barrancas en el fondo de la zona de erosión estarían, según él, construídas de capas de este último piso; directamente encima se encontrarían los rodados huvia-glaciales y en la zona de cerrillos estarían cubiertos de la arenisca del río Negro, que llegaría hasta el pueblo de Roca. En el texto dice: «En el pueblo mismo afloran areniscas de color gris sucio que contienen algunos fósiles (*Gryphea* sp. etc.) se trata de la pendiente del horizonte principal que describiré más adelante.» Esta afirmación es errónea como todo el perfil, que no responde en nada a la relación estratigráfica, como se presenta en realidad en el terreno.

¹ Estando ya terminado el presente trabajo, recibo una publicación (*Am. Jour. Sci.* — Fourth Series, Vol. XLV, número 265, January, 1918) en la que el doctor Windhausen trata nuevamente el problema de las formaciones cretáceas y terciarias de la Patagonia. En ella da un nuevo perfil de las barrancas del río Negro, al sur de Roca, completamente distinto al primero, pero éste tampoco es exacto y aún menos corresponde a la realidad que el primero. No entro de nuevo a discutir este trabajo, pues las conclusiones a que llega están en completa contradicción con los hechos, que se observan en la Patagonia.

El pueblo de Roca se halla en el valle bastante retirado de los primeros cerrillos que forman la antigua barranca. En este lugar no hay capas del piso rionegrense y mucho menos estratos marinos rocanenses. Se trata de depósitos muy recientes; los fósiles que consisten en *Ostreas* y *Grypheas*, que se encuentran en abundancia en ellos, han sido arrastrados por las aguas de los yacimientos primarios, que se hallan en la zona de erosión. Se puede observar, hoy mismo, que en las grandes lluvias los torrentes, que salen de los cerrillos, acarrean estos fósiles, que son muy resistentes, hasta el medio del valle.

En el lado norte, directamente enfrente de Roca, los depósitos más antiguos que afloran, son las capas marinas típicas de la transgresión rocanense; encima de estas hay estratos de la formación de la toba de transición y encima de esta última se halla en algunas partes arenisca del piso rionegrense.

La parte más superior de los cerrillos y la planicie están formadas por los rodados fluvio-glaciales patagónicos. No hay duda, que Windhausen ha confundido las areniscas rionegrenses con las capas de la formación de tobas de transición, que constituyen la masa principal de la zona de los cerrillos.

Los estratos marinos rocanenses se componen de una roca calcárea no muy consistente, en que abundan partículas de vidrio volcánico. Es de color amarillo con un tinte rosado, en ella abundan especialmente la *Ostrea Ameghinoi* (rocana) y la *Gryphea Burkhardti*. Estos depósitos están marcados en mi perfil con el número 2.

En frente de Roca no se ven las capas de la formación de la arenisca roja, porque la base de la barranca de los cerrillos está cubierta por sedimentos sueltos recientes, pero más arriba, en frente de la estación Allen, llegan hasta considerable altura en la barranca. No cabe la menor duda, que éstas forman el yaciente de los estratos marinos del piso rocanense y no las capas del jagüel. En otras partes de Patagonia he encontrado capas marinas de esta transgresión intercaladas en las tobas abigarradas, que forman parte de la formación de las areniscas rojas.

En un esquema estratigráfico longitudinal de la meseta, en frente de Roca, que he publicado en 1898¹ figuran los estratos marinos rocanenses como intercalados en la arenisca roja. Debo hacer presente, que en aquel tiempo, basándome en las divisiones de Ameghino, consideraba las areniscas y tobas que se hallan encima de las capas marinas correspondientes a la formación guaranítica (arenisca roja). Más tarde, después de estudiar las condiciones estratigráficas en la Patagonia hasta el río Deseado, me he convencido, que las areniscas y tobas que contienen la fauna de *Pyrotheria*, son mucho más modernas que los depósitos que

¹ Revista del Museo de La Plata, tomo IX, 1898.

contienen los restos de dinosaurios y los separé de aquellas, llamándolas « formación de la toba de transición ».

Referente a los términos y a la agrupación de los depósitos sedimentarios, se puede ser de distinta opinión; el hecho es, que las capas que Windhausen ha designado con nombres del « jagüel y basales » del piso rocanense, se hallan en el lado norte de Roca encima de los estratos marinos rocanenses: las he marcado yo con los números 3 y 4, no porque las considere como dos horizontes distintos, sino para paralelizarlos con los pisos de Windhausen ¹. La masa principal se compone, como he dicho, de toba gris clara más o menos arenosa; en ella se encuentran bancos de cuarcitas y estratos de arena cuarzosa gris clara y rojiza. Estas intercalaciones se encuentran tanto en la parte superior como inferior y cambian de una localidad a otra. En la arena abundan los troncos de madera silicificada y en algunas partes se encuentran aquí, en la toba, fósiles marinos; entre ellas hay *Ostreas* y *Grypheas* que abundan en el piso rocanense lo que es de gran importancia.

Cuando encontré las primeras *Ostreas* y *Grypheas*, supuse que se trataba de fósiles depositados secundariamente. Estos fósiles son muy resistentes y pueden ser arrastrados a grandes distancias sin deteriorarse mucho: no solamente los he encontrado en sedimentos de transporte reciente en medio del valle del Río Negro, sino también en los depósitos de rodados fluvio-glaciales en las mesetas de la cuenca de Vidal. Pero en la misma toba se encuentran otros fósiles, que no pueden haber sido transportados de otra parte. Entre éstas hay uno muy particular; lo he mostrado a varios especialistas en invertebrados y ninguno me ha podido decir, a qué grupo pertenece. Tiene alguna semejanza con las *Anthozoas* y tiene la forma y tamaño de una coraza de *Glyptodón*. Cuando encontré el primer ejemplar, supuse que se trataba de una coraza de la familia *Glyptodón*, pero resultó, que se componía de capas puestas una encima de otra, como en una cebolla. También hay una *Ostrea* de tamaño mayor que las que se encuentran en los estratos marinos rocanenses típicos. A los especialistas, que estudiaron la fauna marina proveniente de Roca, les llamó la atención, que ésta se compone de una

¹ Nota suplementaria. — El doctor Ricardo Wichmann ha publicado un interesante trabajo, titulado *Contribución a la geología de la región comprendida entre el río Negro y arroyo Valcheta* (*Anales del Ministerio de agricultura de la Nación*, sección geología, mineralogía y minería, tomo XIII, número 41919.)

En este trabajo él propone el término « Formación detrítica de Chichinal » para las capas tobíferas que se hallan encima de los estratos marinos rocanenses típicos y que Windhausen llamó rocanense basal y jagüel. No me opongo al término propuesto por Wichmann, siempre que se considere como piso local de la formación de la toba de transición. De este asunto me ocupo más detenidamente en otro trabajo.

mezcla de tipos cretáceos y terciarios. En el mencionado perfil, publicado en el año 1898, he representado los depósitos, que contienen fósiles marinos, como un solo yacimiento y parece que Windhausen lo ha interpretado lo mismo.

Si se tratara de una gran transgresión general, como él opina, que anegara paulatinamente todo el continente al terminarse el proceso de la sedimentación de la serie de las areniscas abigarradas, se tendría que admitir una invasión de nuevas formas de moluscos, cuando se depositó la toba gris. El hecho es que los estratos marinos del piso rocanense típico se componen de materiales característicos de la toba abigarrada, en que se encuentran los restos de dinosaurios, mientras que las capas que están encima de estas últimas y que contienen fósiles marinos, se componen de la toba gris, en que se halla la fauna *Pyrotheria*. Entre uno y otro depósito se nota una perfecta discordancia.

Las condiciones estratigráficas de esta región demuestran que, cuando se depositaron las capas superiores de la formación de las areniscas rojas, la transgresión rocanense avanzó hasta Roca, pero no llegó hasta la barranca sur, donde falta todo vestigio de fósiles marinos. Aquí existía un golfo; seguramente los estratos marinos rocanenses no se depositaron en un mar profundo y se podría suponer que, cuando entró el período de regresión, se depositaron las capas de la toba gris en un estuario; así se explica las interposiciones de arena, en que abundan los troncos de madera silicificada.

La transgresión y la regresión tienen que haber durado largo tiempo; el mar avanzó en el tiempo cretáceo y se retiró en el terciario inferior. Cuando se depositaron las capas marinas inferiores, que afloran en la zona de los cerrillos, estuvieron todavía en actividad las erupciones volcánicas, que dieron origen a la toba abigarrada y al entrar el período de regresión, ya empezaron las erupciones que dieron origen a la toba gris tan característica en Patagonia.

Más adelante, al tratar de la división de las formaciones, se verá que en la fauna de mamíferos se nota un largo período de desarrollo, que se verificó durante este tiempo.

La fauna *Notostylops*, que se encuentra en la toba abigarrada y que por su posición estratigráfica corresponde a las capas marinas rocanenses inferiores, presenta un carácter completamente distinto de la fauna *Pyrotheria*, que se encuentra en la formación de la toba gris de transición. En esta última fauna encontramos ya roedores, que aparecen en Europa por primera vez en el terciario inferior y hay muchos géneros de Ungulados provistos de dentadura de corona alta con raíces cortas (*hypsolodonte*), mientras que los géneros de la fauna *Notostylops* son todos de dentadura baja (*Brachyodonte*). En Europa se ha necesitado casi todo el tiempo terciario para la transformación de la dentadura brach-

yodonte en hypsolodonte. No dudo, que una vez bien estudiada la fauna marina de Roca se podrán distinguir también dos pisos. Cuando coleccioné fósiles en este paraje, no he tenido la precaución de separar los de las capas inferiores de los de las capas superiores, habiendo supuesto, que se tratara de un solo yacimiento y todos los que han coleccionado más tarde fósiles en el mismo paraje, los consideraron también pertenecientes a un solo horizonte.

No sería para mí una sorpresa, si, una vez estudiadas detalladamente las condiciones estratigráficas de toda esta región, resultara que el océano Pacífico, en que se depositaron las capas jurásicas y cretácicas inferiores, que constató Burckhardt en el sur de la provincia de Mendoza y en el territorio de Neuquén, hubiese avanzado en el cretáceo superior hasta Roca y que al principio del terciario brazos del Atlántico hubiesen penetrado al continente hasta aquellos lugares. Hasta que no esté aclarado bien este problema, considero los depósitos marinos en cuestión como pertenecientes a una sola transgresión y regresión.

Estoy de acuerdo con Windhausen, que los estratos marinos más antiguos, que afloran en Roca, se hayan depositado al terminar la sedimentación de las areniscas rojas, pero no participo de su opinión, que esta transgresión haya sido general y que toda la formación de las areniscas rojas sea de origen marino.

Tampoco es cierto, que los restos de dinosaurios se encuentran solamente en los horizontes más altos, que corresponden a la transgresión rocanense, como él afirma; al contrario, estos restos son más abundantes en las capas inferiores y al haberse terminado la sedimentación de esta formación, los dinosaurios se extinguieron por completo. En las capas, que él llama basales del piso rocanense y del Jagüel, no he encontrado en ninguna parte de la Patagonia restos de estos animales y por esto las considero de edad terciaria.

He entrado en todos estos detalles por tratarse de la región clásica, donde afloran las capas marinas del piso rocanense.

En las perforaciones practicadas en la provincia de Buenos Aires hemos encontrado, en muchas partes, depósitos que corresponden a esta transgresión; en Bahía Blanca, por ejemplo, se hallan estos en la parte superior de las areniscas rojas en el límite, donde comienza la toba gris clara de transición ¹.

La transgresión patagonense. — Los depósitos marinos de esta transgresión se conocen mejor que los anteriores; ya D'Orbigny y Darwin los

¹ He escrito el presente trabajo en el año 1916; desde entonces han aparecido algunas publicaciones que tratan de la transgresión rocanense. Por investigaciones practicadas por el doctor Keidel y el doctor Schiller resulta, que en la región del lago

han estudiado. Como he dicho, se suponía antes que los estratos marinos, que forman la base de las barrancas del río Paraná, en Entre Ríos, y los que se encuentran en la costa Atlántica, en la Patagonia, correspondiesen a una misma transgresión, pero los restos de mamíferos que se hallan mezclados con fósiles marinos en estas capas, han demostrado con evidencia que han sido depositados en distintos tiempos geológicos.

La distribución de los estratos marinos patagoneses presentan condiciones singulares; se encuentran en casi toda la costa atlántica de Patagonia. Desde la parte norte del golfo Nuevo hasta más al sur del río Santa Cruz, éstos forman la base de las barrancas y también se encuentran en el interior en la región tabular y en la cordillera. Yo los he visto en la cumbre del cerro Colorado que se halla al sur del lago Nahuel Huapí a una altura de 2000 metros, y cerca de Corral Foyel en el río Manso, que desemboca al Pacífico, como en las sierras, donde nace el río Chubut y en río Deseado a unos 350 kilómetros de la costa atlántica. Con más razón se podría suponer que esta transgresión marina cubriera toda la Patagonia y no la rocanense.

Sin embargo, se puede afirmar que, en el tiempo que se depositaron estas capas, la mayor parte de la Patagonia formaba tierra firme.

En otro lugar he dicho que la formación de la toba gris se compone de dos facies, una marina y otra terrestre y que esta última tiene una extensión mayor que la primera. La contemporaneidad de las dos facies está demostrada por el hecho de que en algunas partes se encuentran en los estratos marinos, restos de mamíferos pertenecientes a géneros que abundan en los depósitos terrestres. Por ejemplo, he encontrado en frente de Trelew, a unos 20 kilómetros de la desembocadura del río Chubut, restos de *Nesodon*, *Protypotherium* y *Propalaeohoplophorus*, que son fósiles muy característicos de la formación patagónica, en capas con moluscos, esqueletos de delfines y huesos de penguinos. Otro yacimiento donde los mamíferos terrestres están mezclados con fósiles marinos, se halla en la barranca del río Chubut antes de llegar a Gaiman. Tratándose de un paraje que presenta un perfil muy interesante, adjunto una fotografía (véase lám. XIV). Las capas más inferiores se componen de depósitos de arena con bancos de cuarcita de la formación de la arenisca roja; en ellos he encontrado restos de mamíferos de la fauna *Notostylops*. Sobre éstos se hallan depósitos de toba gris clara, igual a la que en Roca se encuentra sobre las capas marinas. Aquí no he encontrado ninguna

Colhuapi y río Chico, territorio Chubut, existen varias interposiciones marinas en depósitos terrestres de la formación de la arenisca roja y la toba de transición, de manera que no se trata de un solo ciclo de transgresión uniforme, como supone Windhausen. Habrá que admitir por lo menos dos, de los cuales uno corresponde al piso rocanense y el otro al piso salamanquense de Ameghino.

clase de fósiles, pero en otros lugares abundan en esta toba los restos de la fauna *Pyrotherium*. Directamente, encima, hay un banco de toba de color más oscuro, que contiene los mencionados restos de mamíferos y moluscos característicos de la formación patagónica. Más arriba siguen estratos marinos sin mamíferos.

La parte más superior de la barranca está formada por depósitos de rodados patagónicos. La presencia de restos de mamíferos terrestres en estratos marinos, demuestra con evidencia que esta región no puede haber sido cubierta totalmente por el mar en el tiempo que se depositaron estas capas; no hay duda que éstas se formaron en una ribera.

En la costa de Patagonia predominan las facies marinas y en el interior las terrestres. En el tiempo de la sedimentación de la formación patagónica toda esta región debe haber presentado una configuración, como en la actualidad la Tierra del Fuego y la parte sur de la costa del Pacífico. La distribución de las capas marinas indican que en el centro de Patagonia había grandes golfos que comunicaban por medio de angostos canales con el mar abierto y no está excluido del todo, que más al norte existían estrechos como el de Magallanes que unían el Atlántico con el Pacífico.

Al norte del río Negro no se conoce ningún lugar, donde afloren depósitos marinos de esta transgresión, lo que es muy sorprendente, pues en las cordilleras del norte encontramos capas más recientes plegadas, pero hasta ahora no han sido constatados con seguridad estratos marinos de la formación patagónica. Tengo noticias de que en Mercedes, provincia de Corrientes, se explotan canteras de cal que quizá podrían corresponder a esta transgresión.

En cambio se han encontrado en las perforaciones practicadas en la provincia de Buenos Aires, en numerosos lugares, capas marinas que indudablemente han sido depositadas durante la transgresión patagonesa. Más adelante se verá que en Bahía Blanca existen en cierta profundidad las dos facies de la toba gris patagónica, lo que se puede establecer por el carácter litológico de las muestras de tierra extraída de las perforaciones.

En otros lugares donde falta la toba, sólo se puede deducir que las capas corresponden a esta transgresión, por la posición stratigráfica que ocupan.

Florentino Ameghino ha subdividido la formación patagónica en numerosos pisos. En un trabajo titulado *Les formations sédimentaires du crétacé supérieur et du tertiaire de Patagonie* (*An. del Mus. nac. de Buenos Aires*, t. XV, 1906), divide estos depósitos en dos formaciones: *Santacruzienne* y *Patagonienne*.

En ellas él distingue ocho horizontes marinos, lo que no se podría hacer ni en las localidades mejor estudiadas de Europa.



Vista de la barranca en Gaiman (Chubut) : *a*, Formación de las areniscas rojas con fósiles de mamíferos (*Volostylops*); *b*, Formación de la tola de transición sin fósiles; *c*, Formación de la tola gris patagónica con fósiles marinos y mamíferos característicos; *d*, Formación de los rodados fluvio-glaciales patagónicos.

Para mí no hay duda que las capas marinas que se hallan en la formación de la toba gris patagónica, han sido depositadas durante una misma transgresión.

La transgresión entrerriense. — Hemos visto que encima de la formación de la toba gris patagónica, se hallan en el territorio de la Patagonia depósitos sedimentarios que por su carácter litológico presentan mucha analogía con la molasa de Suiza. Se componen especialmente de arenisca y conglomerados (Nagelfluh) con estratos de marga y arcilla y se distinguen, como en Suiza, dos facies, una marina y una terrestre. En la costa atlántica y en la región tabular esta formación está menos desarrollada que en la cordillera y la precordillera, donde alcanza un espesor hasta cerca de mil metros.

Esta serie de estratos se podría designar con el nombre « molasa patagónica », pero como esta denominación ha sido propuesta para la formación de toba gris patagónica, podría dar lugar a confusiones y, por esta razón, los he llamado « formación de areniscas patagónicas ».

Personalmente he visto en los territorios de la Patagonia las capas marinas correspondientes a la transgresión entrerriense únicamente cerca de la desembocadura del río Negro al Atlántico y en Puerto Madryn. En el primer paraje las capas marinas se encuentran debajo de la arenisca del río Negro y forman la base de la barranca. En Puerto Madryn están separadas de los estratos marinos patagónicos por capas de areniscas fluviales y forman un banco de conglomerados en que abundan la *ostrea Philippi* y la *ostrea patagónica*. Aquí está bien demostrado que existen dos depósitos marinos y que entre la transgresión patagonense y la entrerriense ha habido una regresión del mar durante la cual se depositaron las capas de areniscas fluviales que contienen maderas silicificadas.

La región clásica de las capas de la transgresión entrerriense se halla en la costa del río Paraná entre Victoria y La Paz; aquí ya la estudiaron D'Orbigny, Darwin, Bravard y Burmeister, etc. En estas barrancas se pueden observar dos facies, una marina y otra fluvial, las que han sido tomadas erróneamente por dos pisos. Aquí se puede estudiar directamente la relación estratigráfica entre las capas entrerrianas y el loess pampeano, mientras que en la provincia de Buenos Aires las capas marinas están cubiertas en todas partes por sedimentos más recientes y las conocemos solamente por los sondeos.

Agrego aquí un perfil geológico de las barrancas entre La Paz y Diamante y otro de las barrancas en Rosario; este último está basado en datos obtenidos en sondeos practicados por el ministerio de Obras públicas de la Nación en ocasión de la construcción del puerto (véase lámina XV).

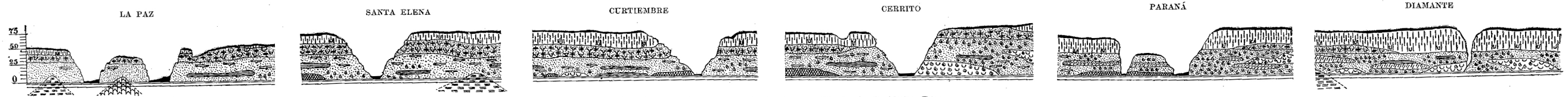
En la región de La Paz hasta cerca de Santa Elena, los depósitos entrerrianos están representados por la facie fluvial. En las grandes bajantes del río aflora en la base de la barranca, en el puerto de La Paz, una Peña de cuarcita de color gris y rojo de la formación de las areniscas rojas (formación guaranítica de D'Orbigny) y algo más al norte, capas de loess pampeano. Las mismas capas de loess he visto también al pie de la barranca entre Santa Elena y el río Feliciano (véase lám. XVI) y en Diamante. Estas observaciones que se pueden hacer solamente cuando el río está muy bajo, demuestran que el yaciente de los estratos entrerrianos está formado en parte de la arenisca roja y en parte de loess pampeano. En esta región no me ha sido posible establecer la relación estratigráfica entre estos dos últimos depósitos, pero en Concordia y en Salto Oriental se halla loess pampeano típico directamente debajo de la arenisca roja.

En las barrancas de La Paz los depósitos fluviales entrerrianos están formados de arena suelta con bancos de cuarcita y estratos de arcilla; los únicos fósiles que he encontrado aquí son troncos de madera silicificada.

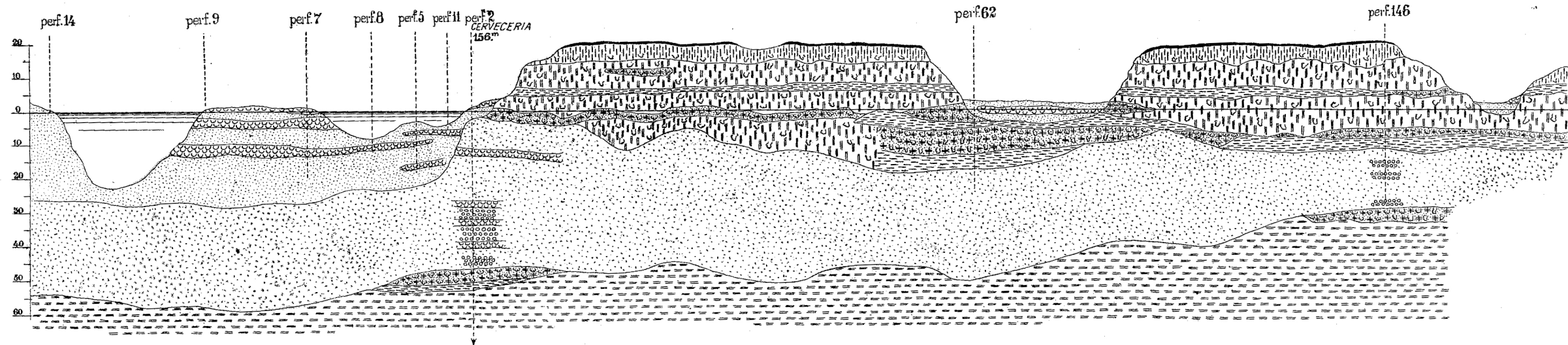
Los depósitos de arena de color gris amarillento con pequeños estratos rojos se componen de granos de cuarzo y de calcedonia. La abundancia de este último material es muy característica, tanto para la facie fluvial como para la facie marina. Sobre estos depósitos se encuentran capas de marga arenosa de color gris claro parecidas a las que Ameghino llamó lacustre y encima de éstas sigue loess pampeano algo arenoso. La parte más superior está formada por un espesa capa de tierra humus.

Hasta unas diez leguas en dirección a Paraná la construcción geológica no cambia mucho, solamente que no he visto en esta parte afloramiento de la arenisca roja, ni de loess en la base de la barranca. Antes de llegar a Santa Elena he encontrado las primeras capas con fósiles marinos, que aumentan gradualmente de espesor hasta la ciudad de Paraná, donde la formación entrerriana se compone únicamente de la facie marina. Llama la atención que los restos de mamíferos terrestres son muy abundantes en las capas marinas, más que en las de origen fluvial y que están limitados a ciertos niveles de la parte inferior; los he encontrado desde Santa Elena hasta Diamante.

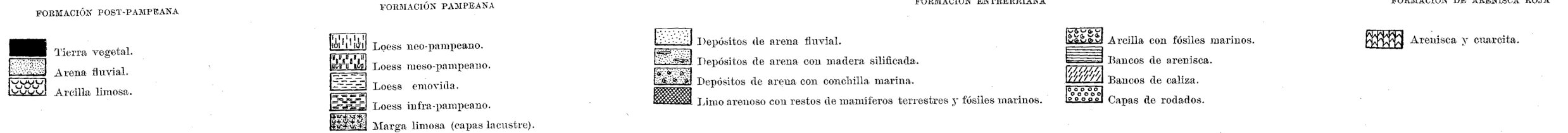
Los yacimientos más ricos en mamíferos, se hallan en las barrancas de Curtiembre y Villa Urquiza. Estas capas se distinguen de las que contienen únicamente fósiles marinos por su color más oscuro. A unas dos leguas más arriba de Curtiembre hay, en la base de la barranca, estratos de limo arenoso, que contienen muchos restos de mamíferos mezclados con fragmentos de conchilla y moldes de moluscos, así como rodados de toscas, cantos de cuarcita y de rocas calcedónicas y es posible que estos rodados y los moldes de moluscos provengan de capas más antiguas.

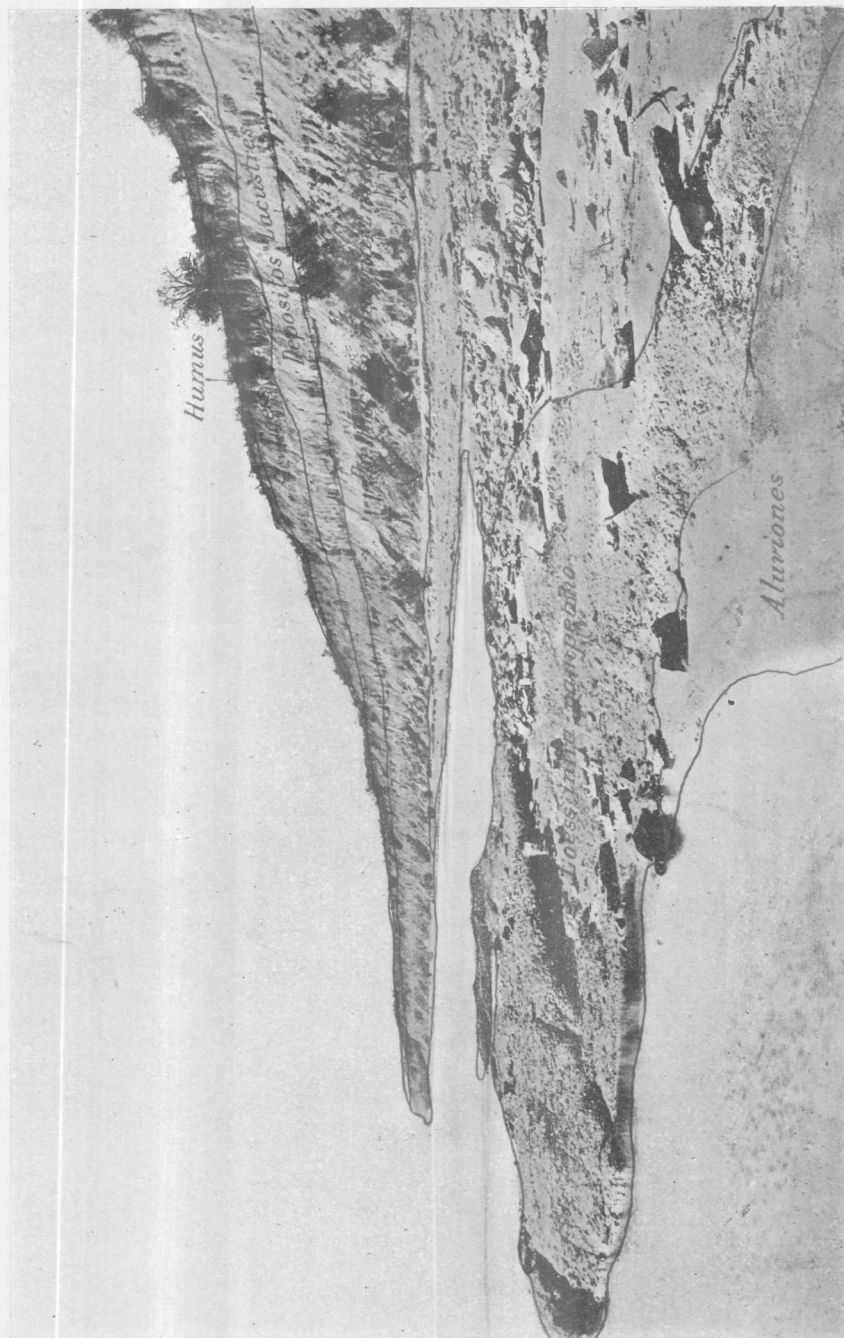


Perfil de las barrancas del río Paraná, provincia de Entre Ríos



Perfil de las barrancas de Rosario (Santa Fe), basado en sondeos practicados por el Ministerio de Obras públicas de la Nación





Vista de la barranca del Paraná entre Santa Elena y Feliciano (Entre Ríos)

Se puede ver frecuentemente en las costas actuales, que el mar arroja a las playas materiales provenientes de formaciones antiguas, que se mezclan con las de sedimentos recientes lo que debe haber sucedido en el presente caso. En Villa Urquiza hay un banco de arenisca en parte transformado en cuarcita, que contiene dientes y trozos de maxilares de mamíferos terrestres mezclados con dientes y fragmentos de huesos de cocodrilos, restos de peces de agua dulce y de mar, dientes de tiburones y de delfines. Estos depósitos presentan las mismas condiciones que se observan en las playas de grandes estuarios.

Todos estos hechos demuestran, evidentemente, que la transgresión entrerriense no ha cubierto toda la provincia de Entre Ríos, como supone Stappenbeck y otros autores.

El mismo Burmeister, que opinaba que el mar terciario se extendía desde Entre Ríos hasta Patagonia, después de haber estudiado las barrancas en Paraná, admitió que éstas formaban la costa del mar que rodeaba la parte antigua de la América del Sud ya levantada en esa época sobre el nivel del océano; textualmente dice ¹: « No se forman tales depósitos de conchas en costas del mar abierto, sino principalmente en ensenadas y bahías; y una tal bahía ha sido el lugar en donde se formaba el depósito calcáreo de la formación terciaria, que por este su modo de formarse no puede ser universal para toda la extensión de la dicha formación. En verdad testifican las observaciones en diferentes lugares, que el depósito calcáreo no es carácter general, sino una producción local bastante circumscripita. »

Por las investigaciones que he practicado en la provincia de Entre Ríos desde el año 1882, y por los resultados obtenidos en los sondeos practicados en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, he llegado a las conclusiones siguientes: en el tiempo terciario anterior a la transgresión entrerriense, el territorio de Entre Ríos y partes de la llanura de Santa Fe y Buenos Aires se hallaban en seco. El río Paraná ya corría por estas regiones mientras que el río Uruguay no existía aún o por lo menos tenía un curso distinto del actual. Éste ha abierto su cauce que separa las provincias de Corrientes y Entre Ríos, del Brasil y Uruguay, en tiempos relativamente recientes.

Cuando entró el período de transgresión entrerriense, el mar avanzó en dirección de sur a norte transformándose la región en un mar vadoso con numerosas ensenadas, bahías, golfos y angostos canales; la parte de Entre Ríos por el lado del río Uruguay, no se sumergió nunca debajo del agua. En el principio, la región entre Buenos Aires y Paraná formaba un golfo en que desembocaban el río Paraná y numerosos pequeños ríos y arroyos.

¹ *Anales del Museo público de Buenos Aires*, tomo I, página 118.

En estos parajes podían vivir los animales terrestres, cuyos restos encontramos en las capas inferiores de la barranca mezclados con fósiles marinos. Entre los mamíferos abundan los roedores parecidos a la nutria y al carpincho los que solamente viven en las orillas de ríos; *Megamis*, un roedor del tamaño de un gran buey que seguramente tenía el modo de vivir de los anfibios, lo mismo que los distintos géneros de la familia *Toxodontidae*, muy semejante a los hipopótamos. Entre estos restos abundan también los de cocodrilos, de tortugas y de peces de agua dulce parecidos al surubí, bagre, armados, etc. Todas estas piezas demuestran que no han sido acarreadas de grandes distancias por el agua y que se depositaron en la orilla del golfo, donde se mezclaron con restos de vertebrados marinos, como ser delfines, tiburones y otros peces de agua salada y moluscos. Al norte de Santa Elena no se encuentran en estos depósitos ningunos fósiles marinos, en cambio, contienen, en gran abundancia, troncos de madera silicificada, que presentan las mismas condiciones que las que acarrea actualmente el río Paraná.

Cuando el mar avanzó hasta la altura de Santa Elena, se depositaron en Cerrito, Paraná y más abajo, las capas que contienen únicamente fósiles marinos.

El río Paraná, como los otros ríos menos caudalosos, ya en aquel tiempo han atravesado una gran llanura donde depositaron los rodados gruesos antes de desembocar en el golfo, lo que está demostrado por la ausencia de conglomerados. Los depósitos fluviales, como marinos, se componen de arcilla, limo, arena fina y gruesa; raramente se encuentran estratos de pequeños guijarros de rocas calcedónicas. Cuando entró el período de regresión, el terreno se elevó del lado de Entre Ríos a mayor altura que del lado de Santa Fe y de Buenos Aires. En Paraná el fondo del golfo terciario se elevó 100 metros sobre el nivel actual del océano, mientras que los mismos depósitos se hallan en Buenos Aires a unos 10 ó 20 metros debajo del mar. Al retroceder el mar se formaron en esta región grandes lagunas y bañados, donde se depositaron las capas de limo y marga que presentan el aspecto de los estratos lacustres, que se hallan entre los depósitos marinos y el loess pampeano. Recién cuando el terreno quedó completamente seco, se empezó a formar el loess que en algunas partes de Entre Ríos alcanza a un espesor de unos 20 metros.

Con el levantamiento del fondo del golfo acabó la actividad acumuladora del río Paraná en Entre Ríos y empezó la acción erosiva. El río comenzó a abrir nuevos canales a través de los depósitos fluviales y marinos y se desvió por el lado más bajo de Santa Fe y Buenos Aires, donde se depositaron capas de arena fluviales encima de los estratos marinos y del loess eopampeano. Esto nos explica que en los sondeos que se practicaron entre Buenos Aires y Rosario se encontraron encima de las

capas marinas entrerrianas depósitos fluviales y que donde la facie marina falta, la fluvial se halla directamente encima del loess, como por ejemplo, en Rosario.

Con motivo de la construcción del puerto de aquella ciudad, se han hecho numerosos sondeos en aquel paraje y como la construcción geológica es muy instructiva, he construído un perfil de la relación estratigráfica, como se presenta en las barrancas y en el subsuelo (véase lámina XV).

Aquí los depósitos entrerrianos están representados solamente por la facie fluvial, como en La Paz, y descansan encima del loess pampeano. La masa principal consiste de arena con interposiciones de estratos de arcilla y pequeños rodados y alcanza, en algunas partes, un espesor de cerca de 40 metros.

También en San Nicolás existen solamente depósitos fluviales y en la estación Campos Salles, que se halla a cinco leguas de aquel pueblo, se encontraron las dos facies como en Santa Elena.

En toda la costa del río Paraná, desde Buenos Aires hasta Rosario, el loess pampeano forma el yaciente de los estratos entrerrianos; encima de estos últimos se hallan generalmente capas lacustres y, sobre éstos, otra vez loess pampeano; quiere decir que las capas fluviales y marinas forman una interposición en los depósitos del loess pampeano. Es, pues, evidente, que el subsuelo de esa región presenta las mismas condiciones estratigráficas que las barrancas de Entre Ríos desde La Paz hasta Diamante, únicamente que el terreno se ha elevado en este último lado a mayor altura. Muy interesante es que el río Paraná actual ha cavado su cauce a través de la formación pampeana y entrerriana y que actualmente deposita su material de acarreo directamente encima de las capas terciarias.

Si se comparan los restos de mamíferos que están mezclados con los fósiles marinos en las capas de Entre Ríos, con los que se encuentran en las de Monte Hermoso y en la base de las barrancas de Los Lobos, entre Mar del Plata y Miramar y Chasicó, las que forman el horizonte eopampeano, como también con los que se hallan en las capas de areniscas de las sierras de Catamarca y en las nacientes del río Mayo en Chubut, resulta que todos ellos corresponden a una misma fauna que representa un período de desarrollo. No muestran más diferencias que cualquier otra fauna proveniente de distintas regiones; en conjunto presentan el mismo grado de evolución, y en todas estas capas se encuentran numerosos tipos comunes que faltan en los depósitos más antiguos y más modernos. El loess del horizonte eopampeano forma, por consiguiente, el equivalente de las facies marina y fluvial de la transgresión entrerriense, las areniscas en las sierras de Catamarca y de las nacientes en el río Mayo que contienen la misma fauna; lo que está compro-

bado también por el hecho que en los lugares donde existe loess de este horizonte, faltan las capas marinas enterrianas.

Después de este tiempo han tenido lugar grandes cambios geográficos en nuestras regiones; cuando entró el período de regresión, el continente sudamericano se unió con un centro de desarrollo de mamíferos, del cual antes había estado separado. Más adelante se verá que en los depósitos de loess mesopampeano aparecen repentinamente géneros que no pueden haberse desarrollado aquí, porque faltan los precursores en capas más antiguas y, por lo tanto, tienen que haber inmigrado.

Por otro lado, la presencia de los mencionados restos de mamíferos en la arenisca de Catamarca, nos demuestra que estas sierras, como muchas otras, no existían cuando se depositaron las capas marinas enterrianas y el loess del horizonte eopampeano, porque ellas están plegadas formando parte de las montañas.

No entro aquí en ulteriores detalles; para nosotros basta saber que la transgresión enterriense tuvo lugar en el tiempo en que se depositó el loess del horizonte eopampeano.

La transgresión mesopampeana o ensenadense. — Las capas marinas que se depositaron durante esta transgresión no tienen la importancia de las anteriores. En las perforaciones que practicamos en el interior de la llanura en la provincia de Buenos Aires, no las hemos encontrado en ninguna parte. Personalmente las he visto en la costa atlántica, en Mar del Plata, intercaladas en el loess del piso mesopampeano.

También se encontraron en las excavaciones en el dique de Ensenada, donde las ha estudiado Ameghino; de aquí el nombre «transgresión ensenadense». Respecto a estas capas, él dice ¹: «Uno de los resultados más imprevistos ha sido la constatación de que el pampeano inferior está subdividido en dos secciones por una capa de origen marino que se interpone más o menos en la mitad de su espesor con un grueso de uno a tres metros. Esta capa marina se ha encontrado en las excavaciones del puerto, precisamente en el fondo de la excavación, a siete metros debajo del nivel del agua del río. Está formada por una capa de color pardo, verdoso, algo arenosa y aglomerada por un cemento calcáreo en el que se ve innumerables impresiones de moluscos marinos, particularmente de los géneros *azara*, *cardium* y *ostrea*, conjuntamente con numerosas *Balanus*, de las que ha desaparecido casi por completo el esqueleto calcáreo. La existencia de esta capa en la ciudad de Buenos Aires la he podido constatar por el examen de las muestras extraídas de los pozos semisurgentes, y parece se extiende a una parte considerable de la provincia, pues

¹ Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina, en *Actas de la Academia nacional de ciencias en Córdoba*, tomo VI, página 29, 1889.

se ha encontrado en los Altos Verdes, partido del Saladillo, cerca del río Salado, a más de 80 metros de profundidad de la superficie del suelo. »

Hemos hecho varias perforaciones en el pueblo de Saladillo y en ninguna de ellas hemos encontrado una capa marina que pueda corresponder a la transgresión ensenadense. En una perforación hecha hasta la profundidad de 250 metros se han encontrado, en la hondura de 165 metros, depósitos marinos de unos 25 metros de espesor, que, por su posición estratigráfica, deben corresponder a la transgresión patagonense. Naturalmente, esto no prueba que en otros parajes del mismo partido no pueda haber capas marinas más modernas, pero si éstas se hallan a 80 metros de hondura, más probable es que correspondan a la transgresión entrerriense y no a la ensenadense.

En el parque de Saavedra y en la plaza de Armas, de La Plata, se han hecho numerosas perforaciones, y en ninguna se encontraron estratos marinos más modernos que los de la transgresión entrerriense.

Bravard dice que ha visto en la parte inferior de la barranca, en San Lorenzo, capas marinas que, en dirección a Rosario, se pierden debajo de las aguas del Paraná.

Yo he recorrido muchas veces estas barrancas en el tiempo de grandes bajantes en busca de estos estratos, pero no he podido descubrir ningún vestigio de ellos; en cambio, he encontrado bancos de conchillas de agua salobre (*Brackwasser*) en los que abunda el género *Azara*, a unos 60 kilómetros más arriba, antes de llegar a la desembocadura del río Carcarañá; quizá Bravard ha confundido estos parajes. En algunos antiguos mapas este lugar está señalado con el nombre puerto Gómez, que hoy ya no existe.

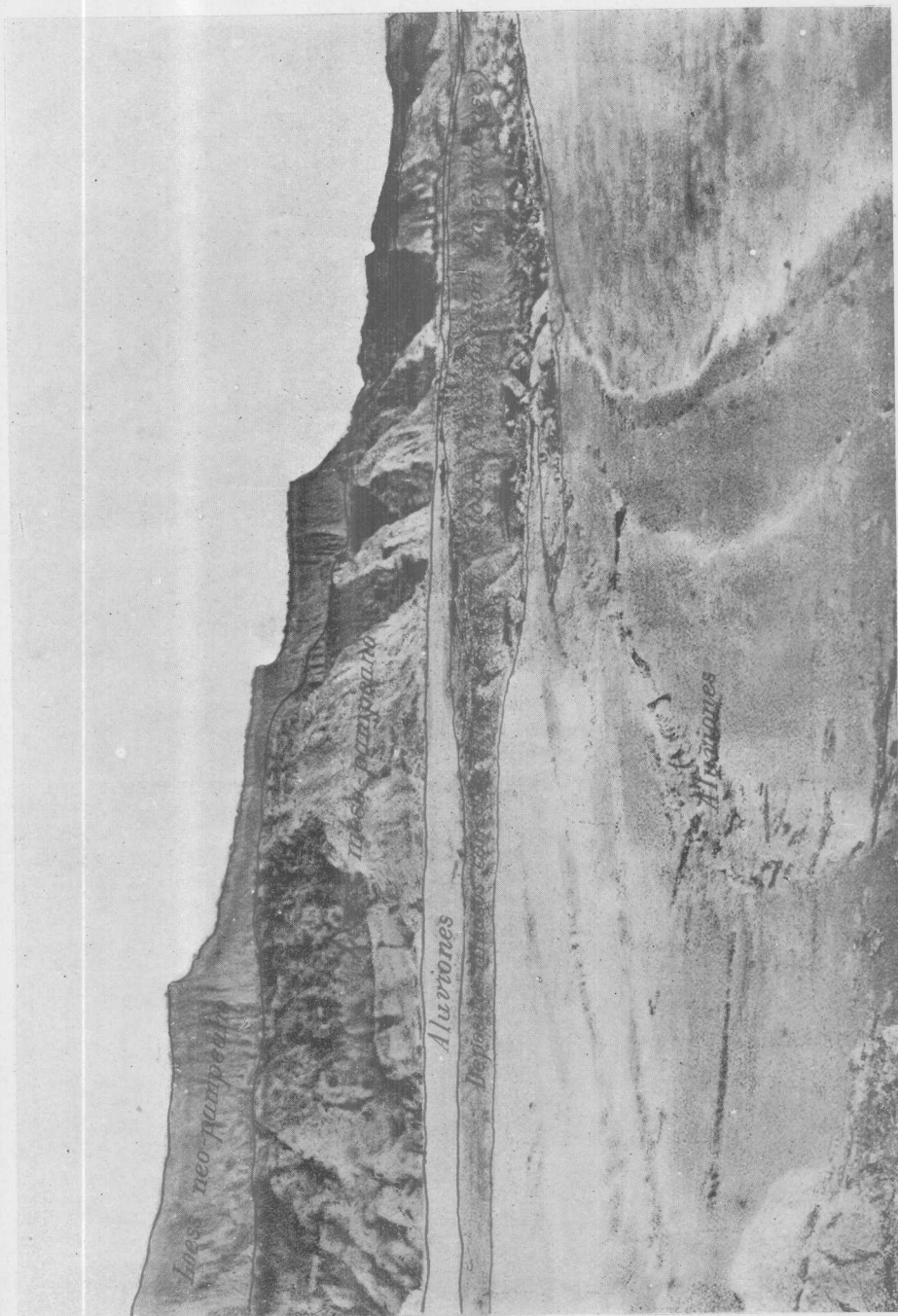
El banco está visible solamente en las grandes bajantes del río Paraná, y se intercala en el loess del piso mesopampeano (véase lám. XVII); la presencia de un banco de conchillas de agua salobre prueba que, durante la transgresión ensenadense, el agua del mar se mezclaba en esta altura con la del río Paraná. El mar en ese tiempo llegó, por lo menos, hasta la altura de San Pedro. En la barranca del bañado que existe entre Baradero y San Pedro, antes de llegar a la estación Tala, hay en el medio del loess mesopampeano un banco de ostreas. Es sabido que estos animales viven solamente en el mar y no en aguas salobres (*Brackwasser*). En el presente caso no se trata de conchillas mezcladas y arrojadas en una playa, sino de un banco de ostras en que los individuos han vivido en sociedad en el sitio donde se hallan hoy; las dos válvulas están casi siempre unidas y cerradas, y hay individuos jóvenes y viejos. No cabe la menor duda que el mar llegó hasta esta localidad. Este banco de ostras, que descubrí hace más de 40 años, es el único que se ha constatado hasta ahora en el piso mesopampeano tan al interior de la provincia de Buenos Aires. Parece que las capas marinas de esta transgresión sean más

abundantes en la costa del Uruguay. El doctor K. Walther menciona varias localidades, entre otras, una, el «arroyo de las Víboras», donde existe un banco con fósiles marinos en que, según él, se han encontrado restos de una defensa de *Mastodom*, lo que demostraría evidentemente que pertenece al piso mesopampeano.

La transgresión ensenadense tuvo lugar después de la inmigración de los mamíferos exóticos, lo que está demostrado por la presencia de diversos géneros de las familias *Equidae*, *Mastodom*, *Arctotherium* (*Arctodus*), etc., que se encuentran en este horizonte geológico. Durante el tiempo que se depositaron estos estratos han tenido lugar grandes cambios geográficos en nuestro continente. He dicho ya que después de la transgresión entrerriense, cuando entró el período de regresión, la tierra firme de la provincia de Buenos Aires se extendía mucho más al este de la actual costa; en todas partes se ve que el loess mesopampeano se pierde debajo de las aguas del océano. Esta región estaba en conexión con otro centro de desarrollo de mamíferos y entonces inmigraron géneros exóticos, cuyos precursores faltan en las formaciones más antiguas de nuestro territorio. He demostrado también que capas que contienen la misma fauna de mamíferos, como las que se encuentran en los estratos marinos entrerrianos y en el loess eopampeano, están plegadas en las sierras de Catamarca, quiere decir que se han formado en el período de la regresión. Los movimientos orogénicos que dieron origen a una gran parte de las cordilleras actuales, probablemente han motivado un nuevo hundimiento de la tierra firme en la provincia de Buenos Aires o, viceversa, el hundimiento ha motivado la estivación de las capas en las regiones andinas. El hecho es que la comunicación mencionada quedó otra vez cortada. Debido al avance del mar durante la transgresión ensenadense, el agua de los ríos y arroyos quedaba represada en el interior de la llanura, y se depositaron las capas lacustres que se observan interpuestas en las capas del loess mesopampeano y que se hallan en la misma posición estratigráfica que las marinas.

La transgresión neopampeana o belgranense. — Capas marinas de esta transgresión se han constatado hasta ahora únicamente en la parte litoral de la provincia de Buenos Aires. Ameghino ha atribuido a ella el banco de ostras en San Pedro, lo que es un error. En 40 años que me ocupé en investigaciones de la formación pampeana, no he encontrado en el interior de la llanura estratos marinos interpuestos en el loess neopampeano. Con esto no quiero decir que en depresiones rellenadas con loess de este horizonte no pueda haber intercalaciones marinas, pero en ninguno de los numerosos sondeos practicados y alejados de la actual costa, los hemos constatado.

En La Plata se observa, en muchas partes de las barrancas que limitan



Vista de la barranca en Puerto Gómez (provincia de Santa Fe)

el bañado de la Ensenada, interposiciones marinas en el loess del horizonte neopampeano: cuando se hacían excavaciones de las cloacas se encontraron desde la orilla del bañado hasta la diagonal 79 y calle 64, mientras que faltaban en otras partes. Estos bancos son de poco espesor, y en ellos abundan las ostras, que son habitantes del mar, lo que demuestra que en este tiempo La Plata estaba rodeada por el mar y no por el estuario del río de la Plata.

Ameghino, que fué el primer autor que los ha visto y quien se ocupó de esta transgresión, dice ¹: « Esta misma capa se sigue a lo largo de la costa, habiéndose encontrado en Tolosa, Ringuelet, Pereyra, Conchitas, Quilmes, Belgrano y San Pedro. En Belgrano constituye los bancos marinos estudiados por Bravard, que los había tomado por postpampeanos, como también Burmeister y Moreno. Los pozos de balde practicados en la meseta han demostrado lo erróneo de esta opinión, poniendo a descubierto la capa de conchillas a 8 ó 10 metros de profundidad debajo de la superficie de la arcilla roja. Pero en algunos puntos, como, por ejemplo, en la misma ciudad de Buenos Aires, falta completamente, al parecer debido a antiguas denudaciones que la barrieran de la superficie del suelo de entonces.

« Conjuntamente con las conchillas se encuentran restos de crustáceos, huesos de pescados, restos de cetáceos y también huesos de mamíferos terrestres, entre los que he podido reconocer las especies siguientes: *Typotherium cristatum*, *Toxodon ensinadensis*, *Mastodon platensis*, *Hoplaphorus imperfectus*, *Eutatus Seguii*, *Neoracanthus Burmeisteri*, etc.»

Seguramente Ameghino ha confundido capas marinas de distintas transgresiones; entre los mamíferos que él menciona hay algunos que no se encuentran en el neopampeano, como, por ejemplo, el *Typotherium*. En Ringuelet, Pereyra, Conchitas y Quilmes, no he encontrado en ninguna parte capas marinas intercaladas en el loess pampeano. En estos lugares existen bancos con conchillas marinas correspondientes a la transgresión postpampeana. Si en Belgrano se han encontrado realmente en alguna parte a 8 ó 10 metros de profundidad estratos marinos, éstos corresponden a la transgresión ensinadense. En este paraje, el fondo del río de la Plata está formado de este horizonte, y encima hay solamente depósitos limosos muy modernos, faltando las capas neopampeanas. Hemos hecho numerosos sondeos en la costa, entre Buenos Aires y Tigre, así como en la costa del río Paraná, y en ninguna parte se encontraron en el loess neo- y mesopampeano sedimentos con conchillas marinas o de agua salobre, con excepción del banco de ostras en San Pedro, que corresponde, como he dicho, a la transgresión ensinadense.

¹ Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles, en *Actas de la Academia nacional de Córdoba*, página 31, 1889.

En la costa atlántica, entre Mar del Plata y Miramar, existen sedimentos de origen marino que en algunas partes están depositados directamente sobre el loess del horizonte eopampeano, los que Ameghino llamó «eolomarino» y que consideró interensenadense. Se trata de sedimentos que no han sido depositados en el fondo del mar sino arrojados a la playa por las olas durante las mareas y que han sido luego llevados por los vientos a mayor o menor distancia.

Hay lugares que se componen de una acumulación de fragmentos de conchillas y entre ellos hay a veces conchas enteras, pero la mayor parte consiste en arena de médanos mezclada con pequeños fragmentos de conchillas, en algunas partes cementada, formando bancos muy duros.

En la barranca de la costa del mar, cerca del arroyo Mala-Cara, partido de Necochea, hay una arenisca compuesta de arena y fragmentos de conchillas, en que abundan huesos de mamíferos que presentan la característica estratificación eólica de los médanos. Éstos se hallan encima del loess del horizonte mesopampeano y en la parte superior presenta el aspecto de loess muy arenoso (véase lám. XVIII).

En otras partes estos estratos rellenan los valles laterales, y es en estos lugares que a veces se hallan directamente encima del loess eopampeano.

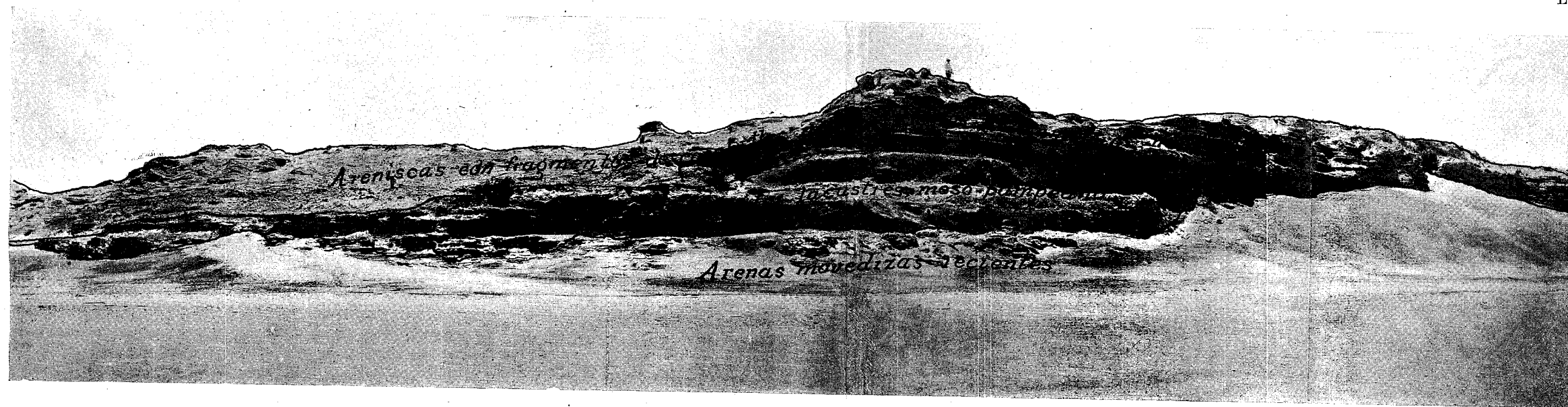
He manifestado ya antes que en esta región ha habido un movimiento regional; en que las capas meso- y eopampeanas se elevaron en forma de una suave loma. Debido a este levantamiento, los ríos y arroyos abrieron anchos valles a través de los depósitos meso- y eopampeano, que se rellenaron más tarde con sedimentos neopampeanos, y en éstos se encuentran en el fondo de los arroyos capas marinas y en las barrancas las llamadas capas eolomarinas.

El loess de este horizonte es en todas partes muy arenoso y muy calcáreo, de un color claro, conteniendo pequeñas partículas de conchillas.

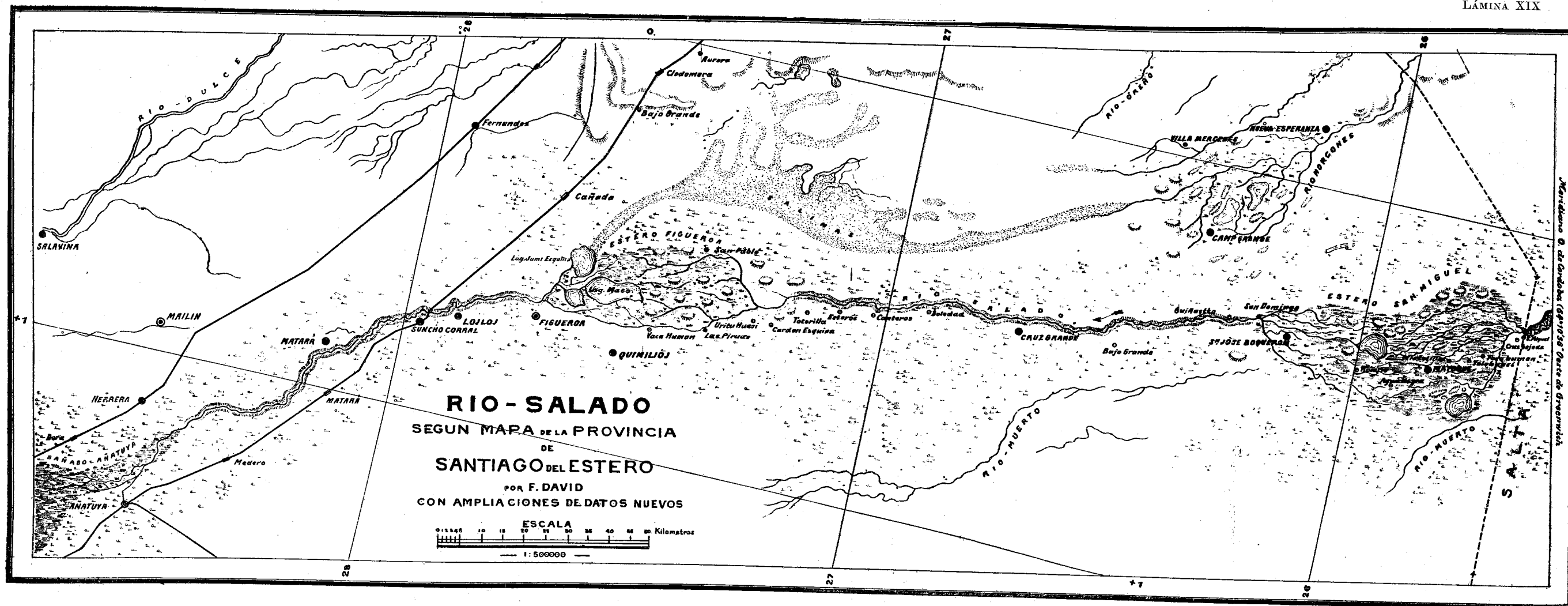
Por uno de estos valles laterales corre el arroyo Corrientes, en Punta Mogotes, que está relleno de loess neopampeano, en cuyo medio existen bancos de arenisca con fragmentos de conchillas, que Ameghino señala en su perfil ¹ como «arena y arcilla eolomarinas coetáneas del interensenadense». No hay la menor duda que éstas corresponden al horizonte neopampeano.

En los terrenos altos no he encontrado en esta región capas que se depositaran en el fondo del mar, que seguramente se hallaba retirado de la actual costa, pero en algunas partes penetraba en las mareas altas por los valles laterales, depositando las capas de conchillas fragmentadas. El mismo Ameghino admitió que estos valles laterales se han abier-

¹ *Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal, en Anales del Museo nacional, serie 3ª, tomo X, página 366, 1909.*



Vista de la barranca de la costa del mar, cerca del arroyo Mala-Cara



to después de depositarse el horizonte mesopampeano y que más tarde se han vuelto a rellenar, por lo tanto las capas en cuestión no pueden corresponder a la transgresión ensenadense.

Ha habido también grandes cambios geográficos después del tiempo mesopampeano. Grandes extensiones de la tierra firme se sumergieron debajo de las aguas del Atlántico, y se interrumpió la comunicación terrestre con el viejo mundo, que existía anteriormente durante algún tiempo. De los datos que se poseen actualmente de las capas marinas de la transgresión belgranense, se puede deducir que el mar haya alcanzado solamente a cubrir la plataforma de la región litoral de la provincia y que no haya penetrado al interior de la llanura.

La transgresión postpampeana o querandinense. — De esta transgresión me ocupé ya, cuando traté de la formación postpampeana; no sería una sorpresa para mí, si resultara que esta fuera la continuación de la anterior, pero por ahora nos faltan las pruebas. Hemos visto que en estos depósitos se distinguen dos clases de bancos de conchillas; en los más antiguos las conchillas están cementadas y en los más modernos están sueltas. Las primeras corresponden a los estadios uno y dos y las otras al estadio tres de la división de White ¹.

El hecho que las capas marinas y eolomarcas belgranenses se hallen solamente en la parte litoral, demuestra que el mar ha estado estacionado en esta región y que durante ese tiempo se depositaron las capas más superiores del horizonte neopampeano, las que son de arenas eólicas y loess. Más tarde ha habido un pequeño movimiento eustático que motivó un avance del mar llegando a mezclar el agua salada con la del río Paraná a la altura de San Pedro, donde existen los bancos de conchillas (*Azara labiata*).

En todo caso la transgresión querandinense es mucho más importante que la belgranense. Las capas provenientes de la primera alcanzan en algunas partes un espesor hasta de 30 metros, mientras que las de la segunda no pasan de tres metros, y solamente las acumulaciones eólicas tienen mayor potencia.

Hemos visto que Ameghino suponía que los estratos marinos belgranenses habían desaparecido en Buenos Aires por la denudación; en tal caso hubieran desaparecido más bien las capas eólicas que se hallan en las lomas y no las marinas que se encuentran en las depresiones del terreno.

A pesar de que los depósitos marinos de la transgresión querandinense están limitados a la región litoral y que el mar ha penetrado única-

¹ Memoria del Ministerio de obras públicas de la provincia de Buenos Aires, de 1914-1915, tomo II, La Plata, 1916.

mente por los valles de los ríos y arroyos más al interior de la llanura, ha habido grandes cambios hidrográficos en el territorio argentino. En ese tiempo caudalosos ríos han perdido su curso superficial y otros han cambiado completamente la dirección.

Por ejemplo, en Bahía Blanca, en tiempos anteriores a esta transgresión, corría un gran río que formaba el desagüe de la cordillera de los Andes de la región noroeste de la república. Otro gran río desembocaba en la ensenada de San Borombón, el que formaba el desagüe de las sierras de Córdoba y San Luis. Hasta muy al norte se nota la influencia de esta transgresión; en Santa Fe desembocaba en el Paraná, un gran río que recibía importantes afluentes de las serranías hasta Salta.

Cuando entró el período de la transgresión querandinense, el agua de los ríos y arroyos quedaba represada en los valles, y se formaron enormes esteros en los que se depositaron las llamadas capas lacustres que representan la facie palúdica de esta transgresión. En este tiempo se formó en la provincia de Buenos Aires el gran bañado que existe entre Baradero y San Pedro; aquí el agua del mar se mezclaba con el agua dulce y más al interior se depositaron las capas lacustres, en las que se encuentran bancos que se componen de puros pequeños caracoles de los géneros *Planorbis* e *Hydrobías*, etc. Estos depósitos palúdicos se pueden seguir por el río Arrecifes hasta más allá de Pergamino y por el arroyo del Salto hasta cerca de Colón y Junín. Otro bañado de menos importancia existe entre Lima y Alsina, por donde corren el arroyo Cañada Honda y el río de Areco; los depósitos palúdicos se extienden hasta Carmen de Areco y Giles. Muy interesantes son las dos depresiones del terreno por donde corren actualmente el río Luján y el río de Las Conchas, que se unen en el partido de San Fernando.

En la primera, el mar llegó hasta más arriba de Pilar y los sedimentos palúdicos se extienden hasta el partido de Mercedes. Estos depósitos han sido muy estudiados por Ameghino, quien los ha dividido en dos pisos lacustres, pampeano o lujanense y pos-tpampeano o querandino. Entre uno y otro no hay loess pampeano primario y si no se encuentran mamíferos fósiles, no es posible decir a qué horizonte corresponden. En los dos pisos se observa en algunas partes loess removido, mezclado con otros sedimentos. En la otra depresión, por donde corre el río de las Conchas, los depósitos marinos y de agua salobre se encuentran hasta la altura de Moreno.

Análogas condiciones presenta el terreno bajo que se halla entre Lomas de Zamora y la Capital federal. Los bancos con conchillas de *Azara labiata* llegan hasta la cañada de La Paja, en Marcos Paz y el arroyo de Cañuelas. Buenos Aires formaba en aquel tiempo una península que estaba unida con la tierra firme por un angosto istmo en Merlo.

Una de las depresiones más importantes rellena con los sedimentos

de la transgresión querandinense es la de la Ensenada de San Borombón con la cuenca del río Salado. Aquí no he practicado estudios detallados y no sé hasta dónde llegan las capas de las facies marinas; las palúdicas tienen una enorme extensión, las he encontrado en Bragado y en frente de Chacabuco, así como en Las Flores, Saladillo, etc. Lo que me llamó la atención es que no llegaran hasta Junín; he estudiado el lecho del río Salado, cerca de la laguna del Carpincho y aquí faltan estos depósitos, lo que demuestra que este desagüe se ha abierto recién cuando entró el período de regresión.

Toda la zona inundable del sur de la provincia está formada de depósitos de esta transgresión. En el litoral hay una ancha faja de la facie marina mientras que más al interior en las depresiones por donde corren los arroyos, predomina la facie palúdica. En muchas partes las depresiones están tan terraplenadas que se diferencian del otro terreno solamente por la clase de pasto que crece en ellas.

La antigua Bahía Blanca que está rellena de estratos de la transgresión querandinense presenta condiciones muy parecidas a las del delta del Paraná, pero ignoro hasta dónde se extienda la facie marina; he visto algunos bancos de conchillas un poco antes de llegar a Médanos; casi en todas partes están cubiertos de médanos.

A pesar de que ya no existen corrientes superficiales del gran río que desembocaba en ella, esta bahía conserva todavía en la actualidad el carácter de un poderoso estuario con grandes islas como la de Zurita o Bermejo, isla del Monte Trinidad, isla del Monte e isla Verde. Este estuario se une con el del río Colorado, que a su vez está en conexión con la bahía de San Blas. En muchas partes se observan las dos clases de depósitos marinos; en los inferiores las conchillas están cementadas y en las superiores sueltas. En toda esta costa hasta la bahía de San Blas los estratos marinos se elevan poco sobre el actual nivel del océano y generalmente están cubiertos de médanos. Muy distintos se presentan los estratos en río Negro, donde los ha estudiado el doctor Witte; allí se encuentran arriba de la meseta conchillas marinas mezcladas con los rodados patagónicos, lo que se observa también en algunas partes más al sur.

Del hecho que los depósitos marinos de esta transgresión se hallan en el sur a mayor altura que en el norte, algunos autores han sacado la conclusión de que el nivel del mar haya llegado a mayor altura hacia los polos durante el período glacial. No puedo participar de esta opinión, pues si el mar hubiera alcanzado la altura en que se encuentran en el río Negro las conchillas marinas mezcladas con rodados patagónicos, una gran parte del territorio entre Carmen de Patagones y Bahía Blanca hubiese estado cubierto por el mar. En mi concepto se trata de un levantamiento de la tierra firme regional en el período de regresión,

vale decir, que las barrancas en el río Negro se elevaron a mayor altura que el terreno más al norte. Así se explica que las capas marinas de la transgresión entrerriense afloren en estas barrancas y que más al sur aparezcan también las de la transgresión patagonense, mientras que en el norte del río Negro se encontraron unas como otras solamente en las perforaciones a cierta profundidad.

Me llamó mucho la atención, que más al sur de Bahía Blanca no se haya encontrado en ninguna parte capas marinas de las transgresiones ensenadense y belgranense y que tampoco hayan sido constatadas por otros geólogos que practicaron estudios en estas regiones.

Los depósitos palúdicos son tanto o más significativos para la calidad de las aguas subterráneas que los marinos, porque estos últimos se encuentran únicamente en la costa, mientras que los primeros son frecuentes en el interior de la llanura. De los estudios de la calidad de las aguas que hemos practicado, resultó que en los lugares donde existen estratos de una u otra facie, el agua es, por lo general, salobre hasta considerables profundidades.

En primer lugar hay que tomar en cuenta los esteros que ocupan grandes extensiones de terreno. Éstos se han formado, como he dicho ya, porque durante la regresión las aguas quedaron estancadas en el interior de la llanura. Es cierto, que esteros se forman en la actualidad a pesar de que el mar se halla en regresión, lo que es motivado por la obstrucción del desagüe, sea por las acumulaciones de materiales o por movimientos regionales muy recientes; este fenómeno es poco conocido en la geología y se puede decir que es una singularidad de la llanura argentina. Un estero muy moderno se halla en la región de Córdoba donde se pierde el río Cuarto, el que se ha formado a causa de acumulación de sedimentos. Aquí se puede observar un fenómeno muy interesante: cuando llueve mucho en las sierras de Córdoba y se llena el estero, el agua corre por los cañadones hasta cerca de Rufino y cuando llueve mucho en esta región, corre por los mismos cañadones en dirección opuesta hacia Carlota.

En la provincia de Santiago del Estero he tenido ocasión de estudiar un estero, que se formó en Figueroa, debido a un movimiento regional muy reciente, el que parece continuar aún hoy; durante mi permanencia en el chaco de aquella provincia, se han abierto grietas de un metro y más de ancho; he visto una de ellas que tiene una extensión de algunas leguas. Es de suponer que estas hendiduras tan superficiales se hayan producido a causa de un leve alzamiento del terreno.

La zona de levantamiento se halla entre Añatuya y Figueroa; en este trayecto el río Salado corre por un cauce muy encajonado. Las barrancas son a pique y tienen término medio unos 7 metros de altura, alcanzando en el centro de esta zona hasta 13 metros. En esta parte no existe

valle, el cauce del río ocupa toda la anchura de la abertura, que no pasa de 50 metros. El terreno es muy llano, los bordes de las barrancas a ambos lados tienen la misma altura, como la línea del ferrocarril Central norte, la que corre paralela en una distancia de 8 a 10 kilómetros. En un plano levantado por la Dirección del ferrocarril de la región, las curvas de nivel de un metro pasan de un lado al otro, como si no existiera río y demuestra un declive gradual en dirección hacia Añatuya. El monte llega hasta las mismas barrancas y el río presenta el aspecto de un canal tortuoso, cavado a través de un bosque.

Antes de llegar a Añatuya, más o menos en frente de la estación Melero, el río presenta un aspecto completamente distinto, corre por un valle de algunas leguas de ancho que se distingue del terreno vecino únicamente por la falta de monte; aquí no hay barranca y el río no tiene cauce fijo. El agua corre por zanjones que se dividen continuamente, volviendo a unirse a cortas distancias.

En la parte superior, en la región de Figueroa, existe un estero que está en conexión con una gran salina, la que a su vez está unida con el estero del río Norcones.

Toda la configuración del terreno demuestra claramente que el estero de Figueroa se ha formado debido al elevamiento de la zona entre Añatuya y aquella localidad y que más tarde el agua ha buscado una salida por este lado. Seguramente el alzamiento no se ha producido bruscamente; a medida que el terreno se elevaba, se profundizaba también el cauce.

La provincia de Santiago del Estero es una región típica de esteros y por esta razón creo conveniente reproducir un mapa de una parte del río Salado, en que se pueden ver cuatro esteros actuales, lo que facilita la comprensión de los antiguos esteros en la provincia de Buenos Aires (véase lám. XIX).

En los parajes donde hay esteros, los ríos no tienen un curso definido; se dividen en brazos, de los cuales se apartan zanjales más o menos grandes, por donde el agua se derrama sobre los terrenos más bajos, transformándolas en bañados con lagunas e islas. En estos bañados se forman nuevos zanjones que mueren a corta distancia o se reúnen en un brazo principal, que se aparta completamente del estero para perderse en el terreno seco, como por ejemplo, el río Muerto en el mencionado mapa. De los sedimentos que acarrear los ríos que alimentan el estero, se forman médanos de arena y albardones. Los médanos presentan el aspecto de islas, y los albardones que se hallan generalmente a lo largo de los zanjones, forman fajas longitudinales de terreno seco.

Debido a estos albardones, el agua en las lagunas y pantanos se halla frecuentemente en un nivel más alto que el fondo del zanjón como está indicado en el corte adjunto (véase fig. 20).

En tiempo de creciente el agua pasa por encima de los albardones y en la parte inferior de los esteros los zanjones se reúnen a veces en un brazo principal; renaciendo de esta manera nuevamente el río con cauce bien definido.

En el mapa lámina XIX, se puede ver que el río Salado, en San Miguel, se divide en numerosos brazos, que esparcen sus aguas en un estero de unas 16 leguas de largo y otras tantas de ancho, el que en tiempo de lluvia se transforma en una inmensa laguna, en la que los médanos aparecen como islas. Cerca de Santo Domingo el río se forma otra vez de zanjones que arrancan del estero; de aquí el agua corre en una extensión de unos 100 kilómetros por un cauce bien definido de unos 50 metros de ancho y con barrancas de 4 a 5 metros de altura. En las épocas de lluvias en el Chaco, el río es muy correntoso; en tiempos normales lleva poca agua y en las estaciones secas del año hay agua solamente en las partes más hondas del lecho, llamadas remansos.

No se trata de agua estancada, como creen los lugareños, sino de



Fig. 20. — Corte de un zanjón en un estero

agua subterránea que circula a poca profundidad, como resulta de los sondeos que he practicado en muchas partes en los lechos de ríos secos. Del mismo estero arrancan otros ríos que se pierden en el Chaco. En algunos mapas de la provincia de Santiago del Estero, el río Horcones desemboca un poco más abajo de Santo Domingo en el Salado; puede ser que antes se juntaran estos dos ríos, pero gente conocedora de los lugares me asegura que en esta parte no hay tal río y que el Horcones desagua hoy en el estero en las inmediaciones de Nueva Esperanza.

Cerca de Uritu-Huasi el río Salado se divide en dos brazos; uno toma la dirección al oeste pasando por San Pablo y el otro en el paraje Las Piruas se bifurca en dos hondas zanjás que derraman su agua en los bañados. En tiempos normales existen aquí tres lagunas; las dos más grandes, la de Maco y la de Jumi Esquina, tienen agua en todo tiempo, aun cuando el río Salado esté seco. En épocas de creciente, todo el estero forma una gran laguna de unos 40 kilómetros de largo y el agua penetra en la salina que existe al oeste. La laguna Maco está en comunicación por medio de zanjones con otras lagunas más chicas y el agua se junta con el brazo que sale de la laguna Jumi Esquina. En frente de Figueroa el agua de todas las lagunas y pantanos se junta en un solo cauce bien definido y el río corre por Suncho Corral hasta cerca de Añatuya, donde se divide otra vez en brazos laterales.

En las estaciones secas, empero, el río en esta parte no tiene corriente superficial, el agua circula a muy poca profundidad, como lo demuestran las numerosas excavaciones producidas por los remansos que tienen siempre agua. En las épocas de las lluvias, cuando la creciente viene del norte se llena primero el estero de Figueroa y el agua retrocede por un largo trecho al noroeste, echándose en la enorme salina que se encuentra al oeste del río Salado y recién cuando ésta se llena, corre por el cauce que pasa por Suncho Corral. La administración del ferrocarril Central norte proyectó cerrar la entrada a la salina. Ésta sería una obra muy beneficiosa; se evitaría que el agua se cargue de sales, pero tendría que hacerse con compuerta para darle entrada a la salina en las grandes crecientes, lo que demandaría grandes gastos.

Seguramente el río Salado tenía antes otro curso y debido al mencionado movimiento regional, se formó el estero de Figueroa y el agua se abrió la salida por este lado, pero no he podido practicar estudios para determinar su antigua dirección. En la línea del ferrocarril de Añatuya a Tintina he visto en varias partes depósitos fluviales, que demuestran que en tiempos no muy lejanos ha corrido por este lado un importante río.

He entrado en estos detalles, porque los esteros, en la provincia de Buenos Aires, de los tiempos geológicos presentan condiciones análogas a los actuales en Santiago del Estero. Volvamos a la provincia de Buenos Aires.

En la época de la transgresión postpampeana, en que el agua de los ríos y arroyos quedó represada en el interior de la llanura, se formó un enorme estero en la región de Mar Chiquita (Junín).

Este estero no ocupaba solamente gran parte del terreno de Junín y Arenales, sino también de Lincoln, Pinto, Villegas y se extendía hasta las provincias de Santa Fe y de Córdoba. Me he podido formar una idea de su extensión durante la grande inundación en el año 1914; todas las numerosas cañadas estaban llenas de agua, la que en algunas corría como en ríos; el terreno alto aparece en esta inmensa superficie de agua como grandes islas.

El ingeniero Emilio Frey ha practicado por encargo del doctor Francisco P. Moreno un estudio del antiguo curso del río Quinto. Su informe contiene interesantes datos los que creo convenga se reproduzcan aquí. El señor Frey dice :

« El antiguo río Quinto internase en el partido de General Pinto como media legua al sur de la estación Eleodoro (ferrocarril Pacífico, ramal Alberdi al sudoeste) formando una gran cañada donde existen todavía muchas lagunas de agua salada más o menos grandes. Esta gran cañada sigue con rumbo al este (paralelamente y al sur de las vías del ferrocarril) hasta dar con los campos de Cernadas, Laborde, Gandulfo y con

los fondos del campo Anchorena, los cuales antiguamente formaban una sola laguna, cuya extensión no bajaba de 20 leguas cuadradas.

« Todo el cauce de esta gran laguna es fácil reconocerlo en el terreno siendo tierra greda, en parte arcillosa, cubierta de pajonales y (juncales?) junquillos. El nivel de las aguas de la laguna estaba de 102 a 103 metros sobre el mar (plano de la comisión). El desagüe está en la extremidad este de la antigua laguna y sigue la cañada en dirección sureste hacia Pazos Kanki para vaciarse en los campos de El Central y Los Blancos, donde formaba otra laguna grande de cinco leguas cuadradas, que llegaba hasta muy cerca del actual pueblo de General Pinto. De esta antigua laguna sigue el cauce del antiguo río hacia el noroeste, limitado en su margen derecha por el cordón de médanos que se extienden del pueblo de General Pinto hacia el norte.

« El cañadón se interna en el campo La Germania, donde formaba otras lagunas de menores dimensiones que las anteriores. Toma rumbo al este y se interna en el campo San Juan desde donde sigue la cañada visible en el terreno hacia Vedia. Por este mismo cauce del antiguo río Quinto bajó la creciente grande del mismo río que hubo en el año 1903—cuyas aguas llegaron hasta Vedia; en esa creciente volviéronse a formar todas las lagunas antiguas antes mencionadas. Es probable que los médanos que se extienden de Pinto hacia el norte sean de reciente formación y que el río Quinto haya seguido anteriormente directamente al este del pueblo de Pinto, donde existe también una gran cañada que cruza todo el campo San Juan, volviendo a juntarse con el otro cañadón frente a la estancia «San Juan». En el campo «El Central» desemboca un cañadón grande que baja del sur (partido de Lincoln) que probablemente es algún otro cauce o afluente del río Quinto. Marzo de 1907. — *Emilio E. Frey.* »

Análogas condiciones presenta el antiguo curso del río Cuarto, que, como hemos visto, ha formado un nuevo estero en Carlota.

Todos estos esteros son grandes resumideros que alimentan el agua subterránea, pero en vez de ser beneficiosos son perjudiciales. El agua dulce de las lluvias y de los ríos que se acumula en estos lugares, en poco tiempo se carga de sales, y debido a las corrientes endosmáticas, penetra a grandes profundidades, lo que es uno de los motivos que en estas zonas el agua, no sólo de los pozos comunes, sino también la de los semisurgentes, es siempre más o menos salada. De este problema me ocuparé en otro capítulo.

El material que acarrear los ríos y arroyos se deposita en los esteros y aquí se observa el mismo fenómeno que en las playas de la costa del mar. De la resaca que las olas echan a la orilla de las lagunas, una vez seca, se forman los médanos de arena, mientras que el material más fino

es llevado por los vientos a grandes distancias. Este proceso se puede observar hoy muy bien en el nuevo estero del río Cuarto.

El ingeniero Eduardo Aguirre opinaba que los médanos que existen en Junín provenían de la costa del mar, pero no cabe la menor duda que éstos se han formado de arena que acarrearón los ríos al antiguo estero de esta región, y se puede ver que existen en toda la zona, que aquél ha ocupado.

El estero de Mar Chiquita es el más grande que yo conozco y se pueden distinguir depósitos de dos horizontes geológicos, uno aluvial y otro diluvial; este último contiene muchos huesos de mamíferos extinguidos. Esta es otra confirmación que la transgresión postpampeana comenzó en el tiempo glacial, como lo ha demostrado Witte, y que las capas lacustres lujanenses corresponden a esta transgresión y no a una anterior, como suponía Ameghino.

El horizonte más antiguo de este estero se compone de una marga gris clara, más o menos verdosa, que contiene mucho material volcánico. En algunas partes se encuentran capas que presentan el aspecto de verdadera toba. La masa principal, empero, consiste en arena y limo transformado ya algo en loess; loess puro hay recién debajo de estos depósitos. Las capas del horizonte aluvial están formadas de arena, marga y limo, mezcladas con mucha materia orgánica y se distinguen de las más antiguas por su color más oscuro. La acumulación de materiales no ha cesado todavía, pero éstos ya no provienen de las serranías, sino del terreno alto de las comarcas vecinas.

Al principio de la transgresión este estero estaba en comunicación con el antiguo estuario del río Paraná, el que se encontraba en ese tiempo entre San Pedro y Baradero y muy probablemente también con la depresión del terreno por donde corre actualmente el río Luján. Cuando entró el período de regresión, estas salidas quedaron obstruídas por los médanos que se formaron en la parte este del estero y el agua en las crecientes se abrió una nueva salida por el actual río Salado.

La transgresión y regresión postpampeana han producido, como he dicho, notables cambios hidrológicos en la provincia de Buenos Aires. Durante el período de transgresión la actividad erosiva de los ríos y arroyos era casi nula en la llanura, en cambio ha habido una fuerte sedimentación. Las depresiones por donde corrían antes los ríos y arroyos se llenaron de sedimentos y algunos de los antiguos cursos están completamente nivelados y se conoce únicamente por la calidad del pasto que crece en estos lugares. Recién después de retirarse el mar, las corrientes comenzaban a abrirse nuevos cauces.

Todo indica, que el levantamiento del terreno no ha sido uniforme en toda la provincia, y las mencionadas conchillas marinas que se encuentran en Carmen de Patagones a unos 50 metros de altura, demuestran

bien claro que en el sur era mayor que en el norte. Pero también en el lado del río Paraná el terreno se elevó algo más que en la región conocida por la zona inundable de la provincia. Naturalmente, en la parte que se elevó más, la acción erosiva era también mayor. Saliendo de Buenos Aires en dirección a San Nicolás o Pergamino se puede observar que las líneas de los ferrocarriles pasan continuamente por cortes y terraplenes mientras que de Mercedes a Rufino o Villegas los campos son casi llanos, lo mismo que en la zona inundable; se ven aquí solamente médanos de arena. Por el lado del río Paraná el agua de algunos ríos y arroyos, como por ejemplo, de los ríos Luján, Areco, Arrecifes, etc., ha excavado sus salidas en los antiguos cauces, poniendo a descubierto las capas lacustres que se depositaron al principio de la transgresión y en las que abundan los restos de mamíferos fósiles. Otros han abierto sus cauces a través de los depósitos de loess de los horizontes neo- y meso-pampeanos, como los arroyos Ramallo, del Medio y Pavón.

La regresión postpampeana aún no ha terminado; en muchas partes del litoral se puede observar un lento avance de la tierra firme en dirección hacia el mar. Se podría suponer que éste sea debido a la acumulación de material en las playas. En los lugares donde las barrancas están batidas por el mar la tierra firme retrocede, pero encontramos bancos de conchillas marinas recientes en alturas muy superiores al nivel actual del mar. Bailley Willis tiene razón al afirmar que actualmente nos encontramos en un período de erosión, pero ésta se efectúa solamente en las regiones onduladas, por ejemplo, en el lado del río Paraná; en las llanuras continúa la sedimentación.

Cuando empezó la transgresión querandina, y si es la continuación de la belgranense, no lo he podido constatar. El hecho es, que capas de esta última se encuentran interpuestas en el loess pampeano, mientras que los estratos de la transgresión querandina se hallan en todas partes encima del loess, lo que demuestra que ha habido un retroceso y un nuevo avance del mar. No cabe duda alguna que la transgresión comenzó en tiempos diluviales y no aluviales como se suponía antes y como Bailley-Willis sostiene todavía en su último trabajo. Esto está demostrado con toda evidencia por los numerosos restos de mamíferos extinguidos que se encuentran en estos depósitos, pues no se trata de huesos rodados provenientes de capas más inferiores, como él afirma. Los esqueletos más completos que se poseen han sido encontrados en las facies palúdicas de esta transgresión; en Mar del Plata hemos sacado en una capa de limo postpampeano muy arenoso un esqueleto casi completo de *Megatherium*.

Las interposiciones marinas en las diversas profundidades de los depósitos de origen terrestre, que se encuentran en la llanura pampeana, demuestran que durante todo el tiempo cretáceo superior, terciario y

cuaternario, ha habido movimientos eustáticos o seculares, pero no orogénicos, que plegaron las capas unas sobre otras; tampoco se ha constatado con seguridad la existencia de fallas. Durante todo este largo tiempo ha habido una sedimentación y denudación en las partes que se elevaron a causa de movimientos regionales; el agua y el viento activaron en forma erosiva mientras que en las depresiones y en el terreno llano se acumulaban materiales frecuentemente ya transformados en loess; así se encuentra a menudo loess removido en forma de conglomerados.

Sobre la edad relativa y la división en pisos de las formaciones aquí tratadas, me ocuparé en otro capítulo.

X

La división de las formaciones en pisos u horizontes

He tratado las formaciones en el presente trabajo bajo el punto de vista litogénico y no cronológico, de manera que las capas de una formación no representan un tiempo geológico distinto de las capas de otra. Por ejemplo, mientras que se depositaron en una parte arena, limo, arcilla o toba volcánica, que corresponden a la formación de arenisca roja, en otros lugares los sedimentos se transformaron en loess pampeano, vale decir, que hay loess pampeano sincrónico a la arenisca roja. Del mismo modo mientras que en un paraje se depositaron capas marinas durante una de las transgresiones, en otro lugar se formaron depósitos terrestres.

Todas las formaciones aquí mencionadas han sido subdivididas en pisos u horizontes geológicos. Aún cuando en el presente trabajo no trate de resolver problemas cronológicos, creo necesario hacer algunas observaciones a este respecto. *Las capas de la formación de las areniscas rojas*, que son las más antiguas que se encontraron en las perforaciones en la provincia de Buenos Aires, alcanzan, en algunas partes de la república, miles de metros de espesor. Se entiende que una formación de tal magnitud abarca varios horizontes geológicos. En el norte de la república, donde estos depósitos tienen su mayor desarrollo o, mejor dicho, donde están más a descubierto, han sido hasta ahora poco estudiados, y la falta de capas marinas hace muy difícil la subdivisión en pisos. En la Patagonia, donde han sido explorados primeramente por Carlos Ameghino, su hermano Florentino los dividió en dos formaciones: arenisca abigarrada o *chubutense* y arenisca roja o *guaraniense*, y a cada una la subdividió en cierto número de pisos.

Ya he demostrado que esta separación no está justificada y que está en contradicción con la relación estratigráfica que se observa en el terre-

no. En primer lugar, no se trata de *arenisca* sino de *toba* abigarrada, que se halla en algunas partes encima de la arenisca roja y en otros lugares intercalada en ella, de manera que hay que considerar las dos clases de depósitos como correspondientes a un solo sistema o unidad de capas, quiere decir, que correspondan a una misma formación.

En la formación de la arenisca abigarrada o chubutense, Ameghino ha distinguido dos pisos: *Tardéen* y *Proteodidelphéen*, y tres hiatos considerando de edad cretácea inferior sin comprobarlo. En el territorio argentino las capas del cretáceo inferior, constatadas por fósiles característicos, son de naturaleza muy diferente a las de la formación chubutense que él indica.

La formación de la arenisca roja o guaraníca él la ha dividido en siete pisos, incluyéndolos en el cenomaniense, senoniense y daniense. Por el material de fósiles que se posee actualmente no es posible distinguir tantos pisos, ni mucho menos establecer semejante paralelismo con horizontes geológicos del cretáceo de Europa. El piso rocanense, por ejemplo, lo ha colocado él en el cenomaniense, a pesar de que no se ha encontrado en estas capas un solo fósil de guía (*Leitfossil*), y no es posible por consiguiente saber con certeza a qué piso del cretáceo superior europeo corresponde. Algunos especialistas en invertebrados consideran este piso de edad terciaria.

Las capas que contienen restos de mamíferos se encuentran en condiciones aún menos favorables que las marinas para paralelizarlas con pisos europeos, porque en el cretáceo de Europa no se ha constatado la presencia de mamíferos placentales.

Sobre la fauna *Notostylops*, Ameghino ha establecido tres pisos: basal, inferior y superior, y aunque él considera a estas capas más recientes que el piso *rocanense*, los ha colocado en el *cenomano*.

Las capas marinas rocanenses, como las terrestres que contienen los restos de mamíferos, se hallan en la parte superior de la formación de la arenisca roja y forman dos facies y no dos pisos de distinta edad geológica.

No se puede negar que, en su carácter general, estos mamíferos presentan semejanza a los que se encuentran en Europa y Norte América, en las capas del terciario inferior, pero en su gran parte pertenecen a familias y hasta a órdenes diferentes; entre ellos no hay un solo género del terciario inferior de aquellas regiones.

Mamíferos placentales faltan en el cretáceo de Europa y América del Norte; éstos aparecen repentinamente en el terciario inferior, donde están representados ya los roedores con dentaduras muy especializadas. Naturalmente estos mamíferos no han aparecido espontáneamente en la tierra y tienen que haber inmigrado de otro centro de desarrollo.

En la Patagonia aparecen los mamíferos placentales en la parte supe-

rior de la formación de las areniscas rojas. Ameghino menciona algunos representantes de aquellos que, según él, se encuentran en capas inferiores, pero se trata de restos poco significativos, y además su procedencia no está bien aclarada.

La fauna *notostylopiana* es una de las más abundantes en formas y no es posible derivarlas de los pocos mamíferos de carácter dudoso, que, según Ameghino, se han encontrado en capas más antiguas; es evidente que proceden de un centro de desarrollo aún desconocido. Algunos autores la quieren derivar de tipos, que se encuentran en las capas «Puerco-bed» (Nuevo México) y Reims (Francia) que se considera eoceno basal. Ameghino, al contrario, se empeñaba en demostrar que todos los mamíferos placentales se habían desarrollado de precursores encontrados en las capas de areniscas rojas de la Patagonia.

Me he ocupado mucho con el estudio de estas faunas y me he convencido que los mamíferos del terciario de Europa y de América del Norte son más evolucionados que los de la fauna *notostylops*. Esta última de ninguna manera puede derivarse de tipos del «Puerco-bed» o de Reims porque está representada, en gran parte, por familias de un orden que no se han encontrado en ninguna región fuera de Sud América y además faltan *Rodentias*, *Litopternas*, *Gravigrados*, etc.; éstos aparecen recién en capas más modernas. Las mencionadas familias presentan aparentemente alguna analogía con mamíferos de otros órdenes, y por eso Ameghino las ha colocado con *Primates*, *Hyracoideas*, *Hippoideas*, *Ancilopodas* y hasta con las *Tillodontas*. Se trata, empero, solamente de analogía y no de homología; lo parecido consiste en la adaptación a un cierto régimen de vida y no en parentesco.

He reunido estas familias en un solo orden llamándola *Notoungulata*, nombre aceptado por la mayor parte de los paleontólogos y zoólogos. Es de lamentar que algunos de ellos hayan incluido en estas otras familias, que se encuentran también únicamente en la Patagonia, pero que no tienen afinidad alguna con las verdaderas *Notoungulatas*.

Las familias de *Notoungulatas*, provenientes de la formación de las areniscas rojas, presentan caracteres muy primitivos; en los cráneos que poseemos, el cerebro es poco desarrollado, todos los géneros están provistos de dentadura con corona baja (*brachyodonte*), y el segmento temporal conserva organización propia de los reptiles. Es sabido que en los mamíferos falta el hueso cuadrado, y algunos zoólogos lo homologaron con uno de los huesecillos auditivos, suponiendo que el yunque representa el cuadrado de los reptiles. En los cocodrilos el hueso cuadrado está unido por medio de suturas con el exoccipital y el *pros-quamosum*, y forma el conducto auditivo externo en el cual está fijada la membrana timpánica. He demostrado que el cráneo de los *Notoungulatos* presenta una organización análoga; el *tympanico* está formado de dos huesos, uni-

dos por suturas con los demás huesos temporales, y la parte post-timpánica corresponde al hueso cuadrado.

Además, en la parte occipital existe una cámara auditiva que falta en los otros ungulados. En algunos reptiles esta cámara está formada por una bolsa membranosa y en otros está osificada. Las mismas observaciones se pueden hacer en los cráneos de los *Notoungulatos*; la mencionada cámara está formada por una delgada lámina huesosa, unida por suturas con los huesos que forman el segmento temporal; en algunos cráneos encontrados en la formación de las areniscas rojas, la lámina no está osificada en la parte occipital, mientras que en los géneros provenientes de capas más recientes, está cerrada por completo. También el pie de los *Notoungulatos*, provenientes del horizonte con *Notostylops*, es menos evolucionado que en los *Ungulatos* terciarios. En el pie de los géneros del suborden *Condylarthra*, considerados como los más primitivos de los *Ungulatos*, se nota un principio de digitigrado, los dedos laterales son mucho más cortos que los tres internos, mientras que en los *Notoungulatos* más antiguos el pie es plantígrado. En la mano, el primer dedo (*pollex*) es oponente, todas las falanges terminales tienen la forma de uñas y no de baso o garra.

No es aquí el lugar de discutir problemas filogenéticos; si lo he tocado ha sido para demostrar que no es posible admitir que los *Notoungulatos* se hayan desarrollado de tipos del terciario de Europa o de Norte América, y que los géneros del horizonte con *Notostylops* presentan evidentemente caracteres más primitivos que la fauna de « Puerco-bed » y de « Reims ». Siendo estas últimas capas las más antiguas del terciario en la división de los tiempos geológicos, es evidente que los depósitos que contienen la fauna *Notostylops* y la *rocanense* tienen que corresponder, por lo menos, al cretáceo superior, formando las capas de tobas que se hallan encima, la transición entre la era mesozoica y la cainozoica.

Por los elementos que se poseen hoy, podemos caracterizar únicamente los horizontes superiores de las areniscas rojas; aun cuando en capas inferiores haya restos de reptiles, éstos son tan escasos que no permiten hacer división de pisos; lo que más se prestaría para caracterizar los pisos, serían los troncos de madera silicificada que se encuentran en todos estos depósitos, pero hasta ahora éstos no han sido estudiados.

La formación de la toba de transición. — Ésta se compone, en gran parte, de toba de color gris claro y de areniscas; Ameghino la dividió en tres pisos : *astraponotense*, *schuenense* y *pyrotheriense*¹, considerando

¹ Conservo en el presente trabajo los términos propuestos por Ameghino, ya muy conocidos en la literatura, si bien no se deben emplear en este caso nombres de animales sino geográficos. Alberto Gaudry llamó las capas con *Pyrotherium*, « Étage du

las dos primeras correspondientes al *senoniense*, y el último al *daniense*.

En mi concepto, faltan elementos para hacer tales divisiones, y mucho menos posible es parangonar los mencionados horizontes con los de Europa.

Estos son los depósitos que Windhausen llama «capas del Jagüel» y «basales del piso rocanense», que, como hemos visto, en Roca se hallan encima del piso rocanense. He dicho ya que en el lado norte de Roca se encuentran en ellos fósiles marinos parecidos a los del piso rocanense típico; pero el carácter litológico de los dos depósitos es distinto, y se nota entre ellos una discordancia muy pronunciada. La formación de la toba de transición está bien caracterizada por los mamíferos que se encierran en ella, conocidos por el nombre de «fauna *Pyrotheriana* o *Pyrotheriense*», la que contiene numerosos géneros que no se hallan ni en las capas más antiguas ni en las más modernas.

Ameghino ha colocado, en sus últimas publicaciones, los tres pisos en la formación de las areniscas rojas («guaranítica»), pero, si se reúnen los estratos en grupos naturales por el carácter litológico y sus fósiles, no se debe incluirlos dentro de las areniscas rojas; más bien podrían caber en la formación patagónica: así los había considerado este autor anteriormente.

En un trabajo publicado en el año 1894 (*Enumer. synopt. de Mamif. fos. de Patagonie*), decía el autor citado: «Según nuevas reseñas, es posible que las capas terrestres de *Pyrotherium* y *Trachytherus* correspondan a la formación patagónica.» En el Museo de La Plata tenemos mamíferos fósiles, coleccionados por Carlos Ameghino, que figuran como provenientes de la formación patagónica; entre ellos hay géneros característicos de la fauna *pyrotheriense*, lo que demuestra que él consideraba las capas en que fueron encontrados como pertenecientes a esta formación y no a la de las areniscas rojas.

Tomando en cuenta que en la fauna *pyrotheriense* hay numerosos géneros y hasta familias que no se encuentran ni en las capas más antiguas ni en las más modernas, opino que no se deben incluir estos estratos ni en la formación de la arenisca roja ni en la patagónica, y por esta razón he establecido por ellos una formación independiente. En un trabajo en que me ocupé de la división de los depósitos sedimentarios de la Patagonia, los he designado con el nombre de «Formación de las tobas de transición», porque constituyen la transición entre las tobas abigarradas y la toba característica de la formación patagónica¹.

Deseado» y las con *Notostylops*, «Étage du Casamayor»; estos términos los usa también F. B. Loomis.

¹ *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie Beilage*, Band XXVI, 1908.

En la fauna *pyrotheriense* encontramos muchos géneros provistos de dentaduras de corona alta con raíces cortas (*hypselodonte*), mientras que los géneros de la fauna *notostylops* todos tienen dentaduras de corona baja, lo que indica que se trata de un largo tiempo de desarrollo. En Europa se ha necesitado casi todo el período terciario para la transformación de la dentadura brachyodonte de los mamíferos en la *hypselodonte*.

No cabe duda que los estratos de las tobas de transición han de poderse dividir en pisos una vez estudiada detalladamente la relación de los estratos y de los mamíferos que ellos contienen. Del piso «astrapopotense», Ameghino dice ¹, que forma la transición de las capas *Notostylops* a las de *Pyrotherium*, siendo la estratificación perfectamente concordante con las capas que se encuentran abajo y arriba. Los yacimientos que él conoce se encuentran en los límites de los lagos Musters y Collhue-Huapi, pero cree que tienen una extensión tan considerable como los de *Notostylops*, y que pasarán todavía algunos años antes de conocer este piso y su fauna. Los fósiles que él ha publicado en su lista como característicos de este piso, seguramente provienen de distintas regiones y horizontes.

En la región tabular, entre el lago Musters y el río Chubut, hay encima de las capas de las tobas abigarradas, que contienen restos de mamíferos, estratos de la toba de transición como los que se hallan en Roca encima del piso rocanense típico, pero en vez de contener fósiles marinos, abundan aquí los restos de la fauna *pyrotheriense*.

El carácter general de esta fauna es el del terciario y no del cretáceo; como he dicho, contiene restos de roedores que hasta ahora no han sido encontrados en parte alguna en capas mesozoicas con dinosaurios.

Por los estudios que he podido practicar personalmente en mis viajes por la Patagonia, opino que las capas que contienen la fauna de *Pyrotherium* forman la facie terrestre de las capas marinas que Ameghino llamó salamanquenses.

Sabemos positivamente que los estratos de la formación de la toba de transición se hallan en todas partes encima de las areniscas rojas y no intercaladas en ellas. Toda subdivisión en pisos es prematura; ante todo hay que determinar por separado los fósiles de cada yacimiento y establecer la posición estratigráfica que él ocupa por la regla de la superposición. Esta clase de estudios aún no se ha hecho con la exactitud necesaria. Ameghino ha publicado un perfil geológico a través de la Patagonia, pero no se trata de un perfil exacto, sino de una demostración hipotética de la relación estratigráfica; debiendo considerarse únicamente como un ensayo.

¹ *Les formations sédimentaires du crétacé supérieur et du tertiaire de Patagonie*, página 97, 1906.

Los depósitos de las tobas patagónicas. — Ameghino los había dividido en dos formaciones, en una publicación donde trata él de la división y de la edad de las formaciones sedimentarias de la Patagonia ¹: llama a la parte más antigua « formación patagónica » (*Patagonienne*), y a la parte más reciente « santacruceña » (*Santacruziennne*); en trabajos anteriores él había considerado esta última como más antigua.

La formación patagónica la ha subdividido en seis pisos marinos, que corresponden a tres facies terrestres con tres hiatos, y la santacruceña en tres pisos con fauna de mamíferos, que corresponden a dos pisos con fósiles marinos y un hiato. Según esta división, tendríamos que admitir que la fauna marina, durante la transgresión patagoniense, haya cambiado ocho veces, o que estas capas correspondan a ocho transgresiones distintas; lo uno, como lo otro, está en contradicción con los hechos que se observan en el terreno. Llama precisamente la atención que la fauna marina haya cambiado tan poco de carácter que hasta ahora no ha sido posible definir claramente la diferencia que existe entre la de la transgresión patagoniense y la de la entrerriense ². Como se ha dicho ya más atrás, antes se consideraban estos dos depósitos como correspondientes a un mismo horizonte geológico, y solamente por los restos de mamíferos que se encuentran mezclados con los fósiles marinos, se ha podido demostrar que las respectivas capas han sido depositadas en distintos tiempos.

No conozco otra formación que haya suministrado más fósiles de mamíferos que la toba gris de la Patagonia; se cuentan por millares las piezas que hay en los museos. No cabe la menor duda que, durante el tiempo en que se depositó esta toba, la fauna de mamíferos había sufrido notables cambios, pero de la mayor parte de las piezas se ignora en qué horizontes fueron encontradas. Hemos visto que en el Museo de La Plata hay entre los fósiles de la formación patagónica, coleccionados por Carlos Ameghino, géneros típicos de la fauna *pyrotheriense*, porque en aquel tiempo se consideraban todas estas capas correspondientes a un mismo horizonte geológico. Resulta que hoy tenemos una mezcla de formas de las cuales solamente se sabe que provienen del complejo de tobas pata-

¹ *Les formations sédimentaires du crétacé supérieur et du tertiaire de Patagonie*, en *Anales del Museo nacional de Buenos Aires*, tomo XV.

² El señor Martín Doello-Jurado, que se ha dedicado al estudio de las faunas marinas, me manifestó que entre la fauna marina patagónica y entrerriana existe un cambio muy notable.

Me fundo en los resultados a que llegó el doctor H. v. Ihering, quien declaró a los depósitos marinos que se hallan enfrente de Trelew, como correspondientes al entrerriano, y por lo tanto éste es un yacimiento típico de la formación de las tobas patagónicas, el que contiene restos de mamíferos marinos como terrestres característicos del patagónico y que faltan en el entrerriano.

gónicas, y de muchas se ignora hasta la localidad donde fueron encontradas. Recién cuando Carlos Ameghino se apercibió que estos fósiles debían corresponder a distintos pisos, su hermano Florentino hizo una separación de la fauna, confeccionando al mismo tiempo una nueva agrupación de los estratos. Las capas entrerrianas, que antes consideraba como patagónicas típicas y más modernas que las santacruceñas, las separó de esta formación, conservando el nombre « formación patagónica » para las capas marinas de la costa de la Patagonia. De estos cambios resultó una gran confusión en la cronología, y el que no está al corriente de todos los detalles, no se da cuenta de la realidad. Esta separación posterior y *ad hoc* de la fauna tenía que dar malos resultados.

Los géneros de caracteres primitivos los colocó en los pisos más antiguos, pero es bien sabido que muchos géneros se han conservado sin modificación durante varios períodos geológicos. Hay que establecer los pisos de una formación por la correlación estratigráfica que presentan las capas entre sí y recién entonces se puede caracterizar la fauna que contiene cada una.

Según mi criterio, por los elementos que poseemos hoy de la formación de las tobas patagónicas se puede establecer únicamente tres horizontes geológicos: 1° Horizonte *tecka*, que figura en la división de Ameghino como piso más antiguo. Estas capas forman la base de la toba gris patagónica, en ellos he encontrado algunos mamíferos que abundan en la fauna pyrotheriense, como por ejemplo, *Archaeohyrax*, que no se ha encontrado hasta ahora en los estratos superiores; 2° Horizonte San Julián, que forma la parte intermedia. A este pertenecen las capas marinas en la costa, las que en algunas partes se internan en la región tabular de la Patagonia, y la facie terrestre, en que algunos géneros que faltan en las capas superiores como por ejemplo, *Colpodon*, *Propachyrucos*, etc.; 3° Horizonte Santa Cruz, que forma la parte superior de esta formación. En el territorio de Santa Cruz estas capas se hallan, según Ameghino, encima de los estratos marinos.

Por las muestras que se obtienen en las perforaciones no es posible determinar horizontes, solamente se puede decir que provienen de la formación de tobas patagónicas y si son de la facie marina o terrestre.

La formación del loess pampeano. — Ameghino la ha dividido también en numerosos pisos, separando de ella los inferiores que afloran en la provincia de Buenos Aires y colocándolos en la « formación araucana », término que como hemos visto fué propuesto en el año 1882 por Doering para las areniscas grises del río Negro. En ella Doering ha incluido las capas de tobas que contienen fósiles característicos de la formación patagónica, como por ejemplo, el *Nesodon*. La arenisca rionegrense se halla en las barrancas del río Negro, directamente encima de capas ma-

rinas entrerrianas, y como la formación de la toba patagónica es más antigua que la entrerriana, resulta que ha reunido en una misma formación depósitos de distintas edades geológicas. Ameghino trató de corregir los errores cometidos por Doering, pero incluyó en la formación araucana depósitos que se hallan en distintas regiones de la República y que no tienen relación entre sí. Además ha hecho continuamente cambios en su ordenamiento de pisos; en un tiempo colocó en esta formación los rodados tehuelches (término creado por Doering para los depósitos glaciales). Por todas estas razones no he tomado en consideración la denominación «formación araucana» que debe desaparecer de la literatura.

Las capas superiores de la formación de loess pampeano Ameghino las ha dividido en seis pisos y varios hiatos. Está claro que un depósito que no alcanza a 50 metros de espesor no es posible dividirlo en tantos pisos.

El loess pampeano tiene cientos de metros de espesor, pero en la provincia de Buenos Aires solamente la parte superior llega a la superficie del terreno.

Para evitar confusiones de nombres he propuesto nuevos términos para los horizontes o pisos, los que me han sido aceptados por la mayor parte de los autores que se ocupan de esta formación. La parte que aflora en nuestra provincia la he dividido en tres horizontes que se distinguen los unos de los otros tanto por el carácter litológico cuanto por la fauna que contienen.

Las capas superiores las he designado con el nombre de «neopampeano»; este horizonte abarca los pisos bonaerense y belgranense de la división de Ameghino.

Las capas que se hallan debajo de este horizonte las designé «mesopampeano». A este horizonte corresponden los pisos «ensenadense cuspidal», «interensenadense» y «ensenadense basal» de Ameghino.

Las capas más antiguas que se hallan a descubierto en la provincia de Buenos Aires las llamé «eopampeano». A este horizonte pertenecen los pisos chapadmalense y hermosense de Ameghino. Los pisos puelchense, mesopotamense, paranaense y araucanense y las areniscas del valle de Santa María en Catamarca, que figuran en las divisiones del mismo autor, son sincrónicos con el horizonte eopampeano.

Para las capas de loess que forman el yaciente de estos tres horizontes y que en la provincia de Buenos Aires se encuentran solamente en las perforaciones, propongo el nombre colectivo de «infrapampeano» por no poder subdividirlo en pisos.

Los tres horizontes mencionados se pueden caracterizar con precisión por los fósiles que contiene cada uno de ellos y por la estructura y el color que presentan sus capas.

Cuando traté de la formación del loess pampeano he dicho que las

capas son tanto más consistentes cuanto más antiguas sean, pero este carácter general no es determinante en todos los casos. Hay, por ejemplo, localidades donde abundan los bancos de toscas en los depósitos neopampeanos, y por esto presentan el aspecto del loess consistente de los horizontes inferiores; otras veces faltan las tocas en el loess antiguo y este tiene la apariencia del loess de los horizontes superiores.

El loess eopampeano es, en general, de un color pardo más rojizo que el de los horizontes superiores y tan característico que a veces se puede determinar el horizonte sin encontrar fósiles.

El loess del horizonte mesopampeano también es de color pardo, pero en vez de ser rojizo, es de tinte amarillento o bayo, y el del horizonte neopampeano es mucho más claro. En parajes donde la sedimentación del loess de los tres horizontes ha sido continua, no es posible fijar un límite exacto entre unos y otros horizontes, porque el cambio de la estructura y del color es gradual; en cambio donde ha habido una interrupción en la sedimentación es fácil distinguir un piso del otro. En puntos, donde afloran depósitos de un solo horizonte a veces es muy difícil poder determinar a cuál de los tres horizontes corresponden, no encontrándose fósiles en ellos que nos sirvan de prueba.

El medio seguro para determinar los horizontes son los restos de mamíferos que en aquellos se hallaren. Basado en esto, Ameghino ha hecho las divisiones arriba mencionadas, pero del examen crítico de las listas de fósiles que él ha publicado como típicos de cada piso, resulta que en gran parte son de carácter puramente local. Por los fósiles hasta ahora coleccionados del terreno pampeano se puede constatar con evidencia que durante el tiempo en que se depositó el loess de los tres horizontes, la fauna de mamíferos ha cambiado tres veces su carácter.

La fauna de mamíferos en el horizonte del loess eopampeano, con su interposición de los estratos marinos entrerrianos, presenta un carácter esencialmente sudamericano. Con pocas excepciones los géneros, cuya procedencia se conoce con certeza, son descendientes de formas que se hallan en las capas más antiguas de la Patagonia y algunas familias primitivas se han extinguido por completo. El horizonte eopampeano está bien caracterizado por un gran número de géneros que no se encuentran ni en capas más antiguas ni en más modernas.

Durante este tiempo se han desarrollado familias y subfamilias con numerosos géneros que se han extinguido otra vez durante el tiempo en que se depositaron las capas eopampeanas y presentan un ciclo de evolución tan largo como un período entero del terciario de Europa.

En el horizonte mesopampeano notamos un cambio completo en la fauna de mamíferos. En él encontramos numerosos tipos exóticos que han inmigrado de otro centro de desarrollo y al mismo tiempo aparecen por primera vez muchos géneros de diversos grupos sudamericanos que

se desarrollaron aquí. Los pocos géneros actuales que se han encontrado en este horizonte pertenecen a familias que no han cambiado casi nada desde los tiempos terciarios inferiores, y especies actuales no hay ninguna.

La fauna del horizonte neopampeano presenta mucha semejanza con la de mesopampeano. Todos los grandes edentados de este último horizonte se encuentran también en el neopampeano. Son pocos los géneros que se han extinguido durante la sedimentación de estos dos horizontes; entre ellos hay el *Typotherio* que abunda todavía en el mesopampeano inferior y falta por completo en el neopampeano superior. Lo característico en la fauna del horizonte neopampeano consiste principalmente en la gran abundancia de géneros extinguidos mezclados con restos de animales que viven actualmente en la llanura pampeana. No se puede negar que las faunas de mamíferos de los horizontes meso- y neopampeanos presentan mayor analogía con la fauna del período plioceno que con cualquier otra fauna de la era cainozoica.

La fauna de la formación postpampeana presenta en todo sentido las condiciones del cuaternario; en ella no encontramos ningún género que no exista en el neopampeano. Lo que llama la atención es el gran número de géneros extinguidos que se encuentran en las capas inferiores y aun en la parte superior hay proporcionalmente más géneros extinguidos que en los depósitos glaciales de Europa. En la caverna Eberhard de Última Esperanza se han encontrado 8 géneros extinguidos, mientras que los restos de mamíferos encontrados en las capas de las cavernas en Europa consideradas de edad diluvial, pertenecen en su gran parte a géneros que han emigrado a otras regiones.

Una gran sorpresa ha sido el hallazgo de vestigios inequívocos de la existencia del hombre en el tiempo «eopampeano». Como éste en otras partes del globo aparece recién en los tiempos cuaternarios, este hallazgo ha dado lugar a una gran polémica. Algunos autores ponían en duda, si las capas en que fueron encontrados estos vestigios, es decir, objetos trabajados por el hombre y una vertebra cervical (atlas) humana, corresponderían o no a este horizonte; pero como conjuntamente con los objetos se encontraron también los fósiles característicos del propio piso no quedaba duda a este respecto. Otros autores sostienen que los depósitos de los horizontes forman el equivalente del cuaternario (pleistoceno) de Europa y de América del Norte y como no pueden negar que la fauna de las capas inferiores presenta un carácter más antiguo, creen que la evolución de los mamíferos en la llanura pampeana se haya verificado bajo condiciones muy excepcionales. Todas estas objeciones son infundadas y en contradicción con los hechos que se observan. En el cuaternario de Europa muchos animales de las capas más antiguas se extinguieron por completo pero no se ha desarrollado ningún género

que no haya existido ya en el terciario superior. Esto se observa también en el horizonte neo- y postpampeano pero no en los horizontes inferiores.

Examinando la fauna de los tres horizontes en conjunto, encontramos condiciones completamente distintas de las que se presentan en el período cuaternario; no solamente que aquí se extinguieron numerosos géneros, familias y hasta subórdenes enteras, sino que aparecieron también numerosas formas nuevas. No hay la menor duda, que nuestra región es el centro de desarrollo de los grandes *Edentados* y de los *Notoungulatos*. En la fauna de la formación patagónica se notan algunos tipos exóticos que han emigrado. Es posible que los primeros representantes del suborden *Litopterna*, que se encuentra en la fauna *pyrotheriana*, descendan del mismo tronco como los *Perissodactylos*, pero ese grupo se ha desarrollado aquí. Después de la inmigración de tipos extraños en el terciario inferior, esta región quedó durante un largo período aislada de los otros continentes y recién al terminar el tiempo eopampeano ha habido una nueva inmigración de mamíferos. Ahora bien; en la fauna de Santa Cruz, que forma el horizonte superior de la formación patagónica, no se encuentra ninguno de los grandes *Edentados*; todos estos gigantes mamíferos como, por ejemplo, *Magatherium*, *Lestodon*, *Glyptodon* etc., como numerosos géneros de *Notoungulatos* y *Litopternos* se desarrollaron recién en el tiempo en que se depositó el loess de los tres horizontes pampeanos mencionados. De todo esto resulta bien claro, que las capas de loess que afloran en la provincia de Buenos Aires no pueden formar el equivalente del cuaternario del hemisferio norte, aún admitiendo que la evolución de los mamíferos se hubiese verificado en forma excepcional. El desarrollo filogenético, como se presenta aquí, abarca en Europa y América del Norte todo el tiempo terciario superior desde el mioceno inferior hasta el plioceno superior.

El *Glyptodon* y otros géneros de edentados se encuentran en Texas ya en el plioceno superior (Blancobed). En nuestros territorios aparece por primera vez en el horizonte mesopampeano y seguramente no ha venido de América del Norte sino que se ha desarrollado aquí. En la capas eopampeanas el género *Glyptodon* típico aún no existía, en cambio se encuentran sus precursores. No se trata de un tipo especial de la familia *Glyptodontidae* sino de un grupo de variaciones que Ameghino ha reunido bajo los nombres genéricos *Palaehoplophorus* y *Plohophorus* y que presentan caracteres del *Hoplophorus*, *Panoctus* y *Glyptodon*, de este grupo se han especializado los últimos tres géneros. Si el género *Glyptodon* se encuentra en Texas en capas pliocenas o pleistocenas, el mesopampeano donde aparece por primera vez, tiene que ser más antiguo. En el mismo horizonte encontramos los géneros *Mastodon*, *Hippidion*, *Onohippidion*, *Arctotherium*, *Machaerodus*, etc., que no se desarrollaron aquí, lo que de-

muestra que recién en ese tiempo ha habido un intercambio de mamíferos entre el hemisferio del norte y el del sur y que las capas eopampeanas corresponden a un tiempo anterior a esta inmigración.

No cabe la menor duda que el hombre ha habitado la provincia de Buenos Aires antes que se desarrollaran los géneros típicos de *Glyptodon*, *Panochtus*, etc., y por lo tanto su existencia en tiempos terciarios está bien demostrada.

La división cronológica de los tiempos geológicos está basada en la relación estratigráfica como se presenta en Europa y para caracterizar los horizontes geológicos se han tomado con preferencia invertebrados como fósiles típicos o característicos (Leitfossil). Para establecer la correlación de los estratos en las distintas regiones de la tierra por medio de la fauna marina, la América del Norte presenta mayor facilidad que la América del Sud. Aquí encontramos solamente en las capas de las eras paleozoicas y mesozoicas fósiles característicos que son determinantes para los pisos en Europa, faltando estos por completo en los estratos de la era cainozoica. Por esta razón el profesor W. B. Scott ha dicho que la correlación de los pisos de la formación pampeana con los de otras regiones se puede establecer únicamente por la fauna de mamíferos.

Otros autores sostienen, empero, que la determinación de pisos se puede hacer únicamente a base del desarrollo de la fauna marina. En tal caso sería difícil y hasta imposible hacer subdivisiones de nuestra región. Hemos visto que la fauna marina de las transgresiones patagónense y entrerriense ha cambiado tan poco, que se consideraban las dos formaciones de una misma edad geológica, en cambio durante el tiempo de la sedimentación que transcurrió entre una y otra se han desarrollado familias enteras de mamíferos con numerosos géneros, como por ejemplo, todos los gigantes edentados que faltan en las capas de la formación patagónica y que abundan en las entrerrianas.

La paralelización de los pisos de nuestra región con los de Europa es hoy imposible. Quizá los *roedores*, que aparecen por primera vez en la fauna pyrotheriana y los *edentados* que emigraron de aquí, puedan ser utilizados con el tiempo para establecer correlaciones. Pero por los tipos que poseemos hoy, no es posible afirmar en absoluto que la fauna pyrotheriana corresponda a la de Reims o que los depósitos del Blanco Bed, de Texas, donde se encuentra el glyptodon, sean contemporáneos con el piso mesopampeano por existir este género también en el neopampeano.

Ante todo hay que determinar con exactitud la fauna que contiene cada horizonte. Contamos con un gran material de mamíferos fósiles de la formación pampeana, que Ameghino ha distribuido en los pisos que él ha creado, pero, como he dicho, una gran parte de las piezas que men-

ciona son de procedencia dudosa, lo que puede dar lugar a lamentables errores. De muchos fósiles que el doctor C. Rovereto ha publicado como provenientes de estas mismas capas sé positivamente, que han sido encontrados en horizontes superiores al invocado. Citaré un caso muy significativo. El señor Parodi que vive en Miramar y que ha coleccionado en aquellas barrancas muchos fósiles que se hallan en los museos de Buenos Aires y de La Plata, me mandó unos restos de *Hoplphorus*, diciendo que provenían del terreno chapadmalense. Como tenía duda que este género existiera en este horizonte, me hice acompañar por él al lugar donde lo sacó y resultó que había estado en depósitos neopampeanos. Hay un gran número de mamíferos fósiles distribuidos en los museos de los cuales únicamente se sabe, que han sido encontrados en la formación pampeana; de muchos de ellos se ignora la localidad, dónde fueron coleccionados y muchos menos se puede saber de qué horizonte provienen. Naturalmente materiales reunidos en estas condiciones no deben utilizarse para establecer los fósiles de guía para los pisos. Por esta razón prefiero no publicar listas de fósiles de los horizontes geológicos tratados en el presente trabajo; algunos resultarían incompletos y otros defectuosos. Lo que se ha hecho en este sentido debe considerarse como trabajo preliminar. Recién ahora, que conocemos mejor los depósitos sedimentarios en nuestros territorios y que se han hecho divisiones por la regla de la superposición de los estratos se puede comenzar a establecer con exactitud los fósiles característicos que contiene cada horizonte, debiendo ser excluida toda pieza de dudosa procedencia.

Los depósitos de loess pampeano presentarán siempre dificultades para establecer los límites entre los pisos. La sedimentación del loess en la llanura pampeana ha sido continua desde los tiempos cretáceos hasta el cuaternario; el carácter litológico ha sufrido modificaciones durante este largo tiempo; pero, como he dicho, la estructura y el color no bastan como determinantes para hacer separaciones y solamente en lugares donde ha habido una interrupción en la sedimentación, estas señas son utilizables. Las capas marinas de las transgresiones tampoco son suficientes para determinar horizontes; los depósitos de la transgresión entrerriense, por ejemplo, se intercalan en el horizonte eopampeano y el loess que se halla encima de los bancos marinos ensenadenses contienen los mismos restos de mamíferos que las capas que están directamente debajo de ellas. Análogas dificultades para la separación de pisos presentan los fósiles.

Hemos visto que la fauna de mamíferos ha cambiado tres veces el carácter durante el tiempo en que se depositó el loess que aflora en la provincia de Buenos Aires, pero la mutación de las formas no se verificó de repente; los nuevos géneros se especializaron gradualmente de los

tipos más antiguos ¹. En el horizonte mesopampeano encontramos el *Glyptodon*, *Panochtus* y otros fósiles que se desarrollaron de precursores que se encuentran en el eopampeano y conjuntamente con ellos aparecen géneros exóticos; pero la inmigración no tuvo lugar, recién al terminar la sedimentación de este horizonte, como lo demuestra la presencia de restos de ciervos en las capas marinas entrerrianas. Por consiguiente no se puede fijar límites rigurosos entre uno y otro horizonte por la aparición de nuevas formas.

Tenemos que hacer la división de los estratos en grupos naturales, según las condiciones geológicas como se presentan aquí y no sobre el orden de sucesiones cronológicas establecidas en Europa.

Podemos decir con evidencia que las capas donde se encuentran el *Panochtus*, *Hippidion*, *Mastodon*, *Machaerodus* y *Typotherium*, corresponden al horizonte mesopampeano, y las capas con *Panochtus*, *Mastodon*, *Equus*, *Auchenia* (guanaco), *Cervus campestris*, *Canis Azarae*, *Felis* con color, etc., en que falta el *Typotherium*, corresponden al neopampeano.

En cambio es un error colocar toda la formación pampeana en el plioceno, como lo ha hecho Ameghino, y más erróneo es considerarla de edad cuaternaria como sostienen otros autores, por ser el loess que se encuentra en la región clásica en el valle del Rhin del tiempo glacial.

La formación del loess pampeano representa un sistema o complejo de capas que abarca varias épocas geológicas, pero hoy faltan todavía los elementos positivos para puntualizar la correlación sincrónica de los horizontes de nuestras divisiones con los pisos de Europa o con los de América del Norte. Por la semejanza que presentan nuestras faunas con las de otras regiones se pueden hacer únicamente deducciones verosímiles, pero no es posible solucionar en definitiva la controversia entre los diversos autores referente a la edad de las formaciones en cuestión. Adjunto publico un cuadro demostrativo de la relación estratigráfica que presentan los depósitos sedimentarios de la provincia de Buenos Aires, separados en grupos bajo el punto de vista litogenético, indicando las épocas a que puedan corresponder, según mi apreciación.

¹ Hemos visto que en las divisiones hechas por Ameghino figuran hiatos, pero se podría hablar más bien de zonas de transiciones.

CUADRO DEMOSTRATIVO DE LA CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LOS DEPÓSITOS
OBSERVADOS EN LA LLANURA PAMPEANA

Facies eólicas y fluviales	
Depósitos postpampeanos	Tierra vegetal, capas fluviales, médanos movedizos. Capas fluviales y loess removido, médanos movedizos y fijos.
Depósitos neopampeanos	Loess eólico y removido, freático, poca tosca, capas fluviales y médanos fijos con abundantes mamíferos extinguidos y especies actuales. Loess eólico y removido, pardo claro, poco consistente, bancos de tosca, capas fluviales y médanos fijos, bancos de toba volcánica. Abundan los mamíferos extinguidos, pocas especies actuales; aparece el género <i>Equus</i>, falta el <i>Typotherium</i>.
Depósitos mesopampeanos	Loess eólico y removido, pardo, muy consistente, abundan los bancos de tosca, capas fluviales y bancos de tobas volcánicas; abundan los mamíferos extinguidos y faltan las especies actuales; emigración de géneros exóticos, aparecen por primera vez los géneros <i>Glyptodon</i> , <i>Panochthus</i> , <i>Hoplophorus</i> , <i>Scelidotherium</i> , etc.; abunda el <i>Typotherium</i> , falta <i>Pachyrucos</i> .
Depósitos eopampeanos	Loess eólico semigranulado pardo rojizo, pocos bancos de tosca, con mucho material de origen volcánico; aparecen por primera vez los géneros <i>Typotherium</i> , <i>Teachitypotherium</i> , <i>Xotodon</i> , <i>Eutriconodon</i> , etc., y grandes Edentados. En la provincia de Buenos Aires aflora solamente la parte superior de este horizonte.
Formación patagónica	Loess eólico granulado pardo, toba volcánica granulada gris, depósitos fluviales y médanos (?); no aflora en la provincia de Buenos Aires, se conoce por los sondeos. En la Patagonia, donde está muy desarrollado, se caracteriza por la abundancia de Edentados de estatura reducida y por los géneros <i>Nesodon</i> , <i>Protypotherium</i> , <i>Hegetotherium</i> , <i>Homodontotherium</i> , <i>Astropotherium</i> , etc.
Formación de la toba de transición	Toba limosa, marga y arcilla laminosa y pizarrosa; su existencia se conoce en la provincia de Buenos Aires por los sondeos. En la Patagonia, donde aflora, abundan los mamíferos fósiles de la forma de <i>Pyrotherium</i> y de <i>Notosyllops</i> .
Formación de la arenisca roja	Arenisca roja con interposiciones de tobas abigarradas, loess más o menos puro y marga y arcilla. No aflora en la provincia de Buenos Aires, pero se ha constatado en todas las perforaciones de mayores profundidades. En la Patagonia, donde está bien desarrollada, abundan los restos de dinosaurios y en el horizonte superior predominan los de mamíferos.

SEDIMENTARIOS DE FACIES EÓLICAS Y FLUVIALES Y DE FACIES MARINAS Y LÍMNICAS,
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Facies marinas y límnicas		
Fluvial	Acumulaciones de conchillas marinas y de agua salobre, capas limosas.	Transgresión querandina
Diluvial	Bancos de conchillas marinas y de agua salobre sueltos, capas lacustres con escasos mamíferos extinguidos.	
	Bancos con moluscos marinos y de agua salobre cementados, capas lacustres limosas con abundantes mamíferos, idénticos a los del loess freático.	
Plioceno	Bancos marinos y depósitos lacustres y limosos.	Transgresión belgranense
	Bancos con moluscos marinos y de agua salobre, capas lacustres y limosas consistentes.	Transgresión ensenadense
Mioceno	Capas marinas y límnicas no afloran en la provincia de Buenos Aires, se conoce su existencia por los sondeos, forman interposiciones en el loess pampeano. Las capas marinas afloran en las barrancas de la provincia de Entre Ríos y contienen moluscos marinos mezclados con mamíferos en que abundan los Roedores y Lytopternas.	Transgresión enterrriana
Oligoceno	Capas marinas y límnicas, no afloran en la provincia de Buenos Aires, se conoce su existencia en el subsuelo por los sondeos.	Transgresión patagónica
Eoceno	Capas marinas y límnicas; se conocen en la provincia de Buenos Aires solamente por sondeos.	Transgresión salamanquense
Cretáceo superior	Interposiciones de capas marinas no se han constatado en la provincia de Buenos Aires; en Neuquén y en la Patagonia, existen estas interposiciones en la parte superior de la formación.	Transgresión rocaneuse

XI

Consideraciones generales del régimen de las aguas subterráneas en la provincia de Buenos Aires

En general se dividen las aguas subterráneas en dos categorías : « juveniles y vadosas ». Las primeras provienen de grandes profundidades de las rocas macizas y las segundas son alimentadas por agua atmosférica que infiltra al subsuelo o por aire cargado de vapores de agua que circula en las capas superiores y se condensa por el cambio de la temperatura.

Aquí me ocupo solamente de las aguas vadosas; de las juveniles trataré en otro capítulo al hablar de las aguas termales en Bahía Blanca.

En las aguas vadosas se distinguen también dos clases principales : « agua de manantiales » que circula por las hendiduras de las rocas y agua de filtración que se halla en los sedimentos sueltos.

Agua de manantiales se halla en la provincia de Buenos Aires solamente en las sierras de Tandil y de la Ventana, mientras que el agua de filtración se encuentra en todas partes de la llanura; en cualquier punto que se practica una excavación, se encuentra agua a mayor o menor profundidad.

Por lo general se distingue aquí agua de la primera y de la segunda napa o agua de pozo de balde, semisurgente y surgente.

Algunos autores hablan también de agua freática. Este término es tomado del francés *eaux prèatiques*, agua de pozo alimentada por aguas de lluvias locales que se infiltran en el terreno de acarreo más reciente y que no traspasan las capas impermeables. Todos estos términos son frecuentemente mal empleados. El agua de los pozos de balde o freática en el loess pampeano y la llamada semisurgente, provienen, por lo general, de un mismo horizonte; solamente porque el pozo se ha perforado a mayor profundidad, el caudal de agua es mayor, y por esto lo llaman semisurgente. Para poder hablar de una primera y una segunda napa, éstas tienen que ser separadas por una capa impermeable, o por lo menos, el agua debe circular por distintas clases de sedimentos.

Los términos primera y segunda napa se han generalizado tanto que considero conveniente conservarlos, aunque la procedencia del agua sea la misma. Por primera napa entiendo el agua de los pozos comunes que se hallan en la formación pampeana, y por segunda o tercera napa, la que circula en los antiguos lechos de ríos o se halla en depósitos marinos o de lagos, separados por capas de loess.

El agua freática, tal como la ha definido A. Daubrés en su gran obra

Les eaux souterines, poco o nada tienen que ver con el agua de la primera napa en la formación pampeana. Agua freática se encuentra en la provincia de Buenos Aires en la formación postpampeana, principalmente en la zona donde existen médanos. En estos parajes el agua de lluvia se infiltra rápidamente en el suelo hasta encontrar una capa impermeable o saturada completamente de agua y se acumula en la arena. Por esta razón hay en los médanos napas de agua dulce y al traspasar la capa impermeable o al llegar al loess pampeano, frecuentemente el agua es salobre.

La abundancia de esta agua depende de las lluvias locales, mientras que la del agua de la primera napa en el loess pampeano, no. En parajes donde la arena de los médanos se halla directamente sobre el loess, faltando una capa impermeable, quiere decir, donde el agua freática está en comunicación directa con la de la primera napa, sucede a menudo que en tiempos lluviosos, el agua de los pozos es perfectamente potable y en tiempos secos, no es utilizable, porque el agua dulce por ser más liviana se halla arriba y una vez agotada ésta, se extrae el agua salobre. En la costa marítima de Holanda donde el agua del mar se infiltra en los médanos y se mezcla con el agua de lluvia, se construyen pozos especiales para extraer solamente el agua dulce más superficial.

El agua freática se halla en Europa en los depósitos aluviales y diluviales, quiere decir, en acumulaciones de materiales sueltos. En las rocas compactas el agua subterránea se encuentra solamente en forma de manantiales.

En la llanura pampeana no es lo mismo. Aquí se encuentra el agua de la primera napa en todas partes, aun cuando faltan sedimentos sueltos aluviales, lo que es una de las singularidades de esta región.

En la provincia de Buenos Aires el agua de la primera napa se halla generalmente en el loess del horizonte mesopampeano y en algunas partes también recién en el eopampeano, pero raramente en el neopampeano. El loess mesopampeano es una roca compacta, si bien no muy dura y el agua se encuentra con frecuencia en los bancos de la tosca dura.

En la llanura pampeana el agua de la primera napa, por lo general, no proviene directamente de las lluvias que infiltran al suelo. La capa de tierra vegetal que cubre casi todo el terreno, absorbe gran cantidad de agua, pero una vez saturada por completo es casi impermeable; debido a las materias en estado coloidal que contiene, filtra muy poca agua al subsuelo.

El agua de lluvia corre entonces a los ríos y arroyos y en los terrenos bajos donde éstos faltan, se forman lagunas y cañadas. La mayor parte se evapORIZA; una parte es absorbida por la vegetación y solamente donde falta la vegetación, se infiltra algo en el subsuelo.

Llama mucho la atención que siendo el loess un sedimento en que el

agua circula con cierta facilidad, la de la lluvia penetra a poca profundidad. De experimentos practicados en nuestro laboratorio, resulta que el agua cargada con un 5 por mil de cloruro de sodio, se infiltra en dos horas a 20 centímetros, mientras que el agua destilada en las mismas condiciones, precisa 48 horas para llegar a esta hondura, quiere decir, que la velocidad del movimiento del agua salobre en el loess es 24 veces más rápida que la del agua destilada, lo que debe ser motivada por los pocos minerales en estado coloidal que el loess contiene.

Se entiende que en los experimentos de laboratorio no se pueden imitar exactamente las condiciones que se presentan en la naturaleza. El loess que se coloca en tubos de vidrio es más suelto, y en cambio, faltan los pequeños canales que existen en los depósitos naturales.

He tenido ocasión de observar la infiltración de agua por gravitación en capas de loess en estado natural. En el bosque de La Plata se hizo un pequeño lago. Se practicó una excavación en el loess del horizonte neopampeano y durante más de un mes se dejó correr día y noche agua, no llegándose a cubrir nunca todo el fondo.

Para estudiar el efecto de la infiltración de agua en este sedimento practiqué una serie de sondeos y resultó que las superiores estaban impregnadas de agua, mientras que a cuatro metros de profundidad el loess estaba completamente seco.

Con toda evidencia puedo afirmar que en lugares donde la primera napa se halla a más de 10 metros de profundidad en el loess, el agua no proviene de las lluvias que se infiltran por las capas superiores. Practicando en períodos de abundantes lluvias sondeos en cualquier parte, se observa que debajo de la capa de tierra vegetal el loess al principio es algo húmedo, pero en el pozo de la perforación no se junta agua y a pocos metros de la superficie está completamente seco; antes de llegar al nivel de la primera napa el loess está otra vez algo húmedo, debido a la acción capilar, que hace subir el agua en los sedimentos.

Estas condiciones que se observan en todas partes, demuestran con evidencia, que los pozos comunes en la formación pampeana son alimentados por agua que circula en las capas inferiores y no por agua de lluvia que se infiltra en la parte superior, pues en este caso no podría haber en tiempos de lluvia una zona intermediaria de loess completamente seca.

Se podría admitir más bien que la primera napa está alimentada por precipitaciones subterráneas. Algunos autores suponen que el aire cargado de vapores de agua que circula en el subsuelo, se condensa a causa del cambio de temperatura y que estas precipitaciones tienen mayor influencia sobre las aguas subterráneas, que las lluvias en la superficie. Se atribuye mucha importancia al aire nebuloso. No hay duda que la primera napa de agua está en comunicación con la atmósfera, lo que está

demostrado por el hecho que la presión atmosférica influye sobre la abundancia del agua en los pozos comunes. La estructura del loess es ciertamente favorable a la circulación del aire, pero el problema está todavía poco estudiado. Y aquí se observan muchos hechos que hablan en contra de esta hipótesis.

En su conjunto, la formación pampeana constituye un gran resumidero del agua de los ríos y arroyos que nacen en las cordilleras y en las serranías pampeanas. En diversas ocasiones he demostrado que, fuera del río Paraná, no hay otro río de alguna importancia en nuestra provincia que tenga su curso superficial. Toda la enorme masa de agua de la cordillera del norte y de las sierras de Córdoba y San Luis circula subterráneamente. (El río Negro y el río Colorado se hallan fuera de la formación pampeana.)

La llanura pampeana forma una enorme cuenca rellena de sedimentos y agua; en algunas partes el agua llega casi a la superficie del suelo, pero no constituye un horizonte geoméricamente plano, como frecuentemente se supone. De estudios que he practicado, resulta que el nivel de la primera napa de agua, forma una línea muy ondulada, que no corre paralela con las ondulaciones que presenta la superficie del terreno. Este fenómeno hay que atribuirlo en parte a la capilaridad del loess y sobre todo a la presión hidrostática de las napas de agua que se hallan a mayor profundidad. Practicando un sondeo hasta la segunda napa, donde la línea del nivel de la primera napa forma una curva convexa, el agua en los tubos sube a veces a mayor altura que la de la primera napa, mientras que en la curva cóncava el agua de las dos napas llega a la misma altura. En toda la región noroeste de la provincia de Buenos Aires he encontrado que el agua de la segunda napa, llega en las perforaciones por lo menos a la altura de la primera napa lo que demuestra con evidencia, que los pozos comunes son alimentados por agua de la segunda napa.

Es sabido que todos los sedimentos conducen agua; debido a la acción capilar, ésta sube en la arcilla a mayor altura que en la arena, a pesar de circular en esta última con más facilidad. Según Mitscherlich el agua sube por capilaridad en la arcilla, miles de metros (?) mientras que en la arena el ascenso por capilaridad es de pocos metros; prácticamente la arcilla es impermeable, absorbe el agua, pero no la trasmite a las capas permeables.

En los sedimentos el ascenso por capilaridad y la rapidez del movimiento del agua por presión está en la relación inversa; cuanto más fino el material, mayor es la altura a que llega el agua por capilaridad, pero tanto más lento es el movimiento; y cuanto más grueso es el material, tanto más rápido es el movimiento y a menor altura llega por capilaridad. Vale decir, que el sedimento de gran capacidad capilar, prácticamente es

mal conductor de agua y el efecto de transmisión es nulo. De allí resulta que una capa de arcilla de poco espesor basta para impedir que el agua de las capas inferiores pase a las superiores por presión hidrostática.

Ahora bien, el loess es un sedimento excepcional; tiene propiedades de la arcilla y de la arena. Debido al material sumamente fino, el efecto capilar es parecido al de la arcilla, pero debido a la estructura migajosa y cavernosa, es de gran capacidad de agua y a causa de la escasez de materiales coloidales, circula con relativa facilidad. En los depósitos de loess, que están en contacto con agua permanente, ésta sube por la acción capilar y se llenan no solamente los poros finos capilares, sino también los canales de mayores diámetros y todas las cavernosidades, cargándose toda la masa de agua como una esponja. En sondeos prácticos en arcillas saturadas completamente de agua, el rendimiento es casi nulo, mientras que en los pozos construídos en el loess hasta la primera napa es bastante abundante.

Las condiciones particulares que presentan las aguas subterráneas en esta región hay que atribuir las, en parte, a las circunstancias, que la masa principal de la formación pampeana se compone de loess y en otra parte al fenómeno que los ríos y arroyos, que nacen en las sierras, pierden su curso superficial al correr por la llanura pampeana.

Los antiguos lechos de ríos, que se encuentran interpuestos en los depósitos de loess, son los que alimentan, como he dicho, no solamente las napas inferiores, sino también los pozos comunes.

En el período terciario, cuando se formó el loess de los horizontes inferiores, la región de la actual llanura pampeana era cruzada por caudalosos ríos que desaguaban en los golfos, bahías y ensenadas que se extendían al interior del continente, como ya he demostrado en otras partes. Gran parte de estos ríos han existido antes que muchas de las actuales sierras; al mismo tiempo que se plegaron las capas por la acción de los movimientos orgánicos, los ríos se abrieron nuevamente salidas. Se observan frecuentemente en los anchos valles de las antiguas sierras cordones de colinas compuestas de estratos fluviales en posición perturbada, que presentan rumbos y declives distintos de las formaciones más antiguas. En muchos de los valles que se hallan dentro de las cordilleras, en tiempos normales el agua corre superficialmente, y al llegar los numerosos afluentes a los valles principales, ésta se infiltra al subsuelo y circula subterráneamente.

En las cordilleras muchos ríos conservaron su dirección general durante largos tiempos geológicos. En la llanura pampeana, por el contrario, los ríos cambiaron continuamente el curso. Debido a estos cambios un río ha pasado en distintas épocas por la misma localidad, pero cada vez en un nivel más alto. En las perforaciones se encuentran con frecuencia antiguos lechos de ríos separados por depósitos de loess.

Como los antiguos lechos están cubiertos de loess, no se puede conocer el curso que los ríos tenían, pero a veces es posible determinar de qué región o sierra provenían por la composición litológica de los estratos fluviales. En Junín, por ejemplo, se encuentra debajo de una capa de loess de 100 metros de espesor un antiguo lecho de río; comparando el material con el que deposita actualmente el río Cuarto, se ve que provenía de las sierras de Córdoba. La arena contiene mucha mica y pequeños rodados de rocas que abundan en estas sierras. En La Plata y en la costa del río Paraná se halla la segunda napa que está a una profundidad de 60 a 80 metros debajo del loess en estratos de arena, como los deposita actualmente este río. La arena contiene muy poca mica y es de color amarillenta por la gran cantidad de grano de rocas calcedónicas. En San Pedro se encontró, en la profundidad de la segunda napa, un depósito de arena que a primera vista se ve que proviene de un río afluente del Paraná.

Los antiguos lechos de ríos ocupan muchas fajas de terreno en la formación pampeana, pero de muchos de ellos ya no es posible determinar de qué serranía proviene el material. Durante el tiempo en que se formó el loess pampeano ha habido grandes cambios geográficos; cadenas de montañas enteras han tenido que desaparecer para suministrar tan enorme masa de sedimentos.

Estos depósitos fluviales se componen, en gran parte, de arena suelta; es muy raro que en los estratos, que forman la llamada segunda napa, hay rocas duras, y por esto el agua procedente de las regiones montañosas circula con toda facilidad en todas partes y no solamente en las hendiduras en forma de manantiales. Estos depósitos de arena acuífera forman las llamadas napas semisurgentes y surgentes.

Por pozos semisurgentes se entienden aquí los construídos hasta la segunda napa, que no se agotan, y por surgentes a los en que el agua llega a la superficie del terreno sin bombear.

Estos términos están mal empleados. Agua surgente es toda la que brota de la tierra, y se ha confundido el nombre surgente con el nombre artesiano, que es el término técnico empleado en casi todos los idiomas para el agua que circula en sedimentos que se hallan entre dos capas impermeables y la que llega por presión hidrostática a mayor altura que la superficie de la tierra ¹.

El mismo término se emplea también para el agua ascendente por presión hidrostática, aunque no llegue hasta la superficie. En este último caso son pozos con nivel piezométrico negativo, y cuando llega a mayor altura de la superficie, pozos artesianos con nivel piezométrico positivo.

¹ El nombre artesiano proviene del francés, del condado Artois, donde se han construído los primeros pozos de esta clase.

El término surgente correspondería, por consiguiente, al agua artesiana con nivel piezométrico positivo, y el término semisurgente a la con nivel piezométrico negativo. Adoptando los nombres surgente y semisurgente, éstos se tendrían que emplear también para el agua de la primera napa y no solamente para la de la segunda. Cavando un pozo al pie de las barrancas del río Paraná, por ejemplo, el agua de la primera napa llega hasta la superficie del terreno y corre frecuentemente en forma de pequeño arroyo. Al contrario, cavando un pozo en terreno alto hasta más abajo del nivel de la primera napa, por lo general es semisurgente. En Junín, por ejemplo, los poceros me hablaron de una segunda napa semisurgente que, según ellos, se halla a unos 30 ó 40 metros de profundidad; en realidad la segunda napa se halla recién pasando los 100 metros de hondura.

El agua de la segunda napa, en todos los sondeos que hemos practicado en la provincia de Buenos Aires, pertenece a la clase de agua artesiana, si bien no circula entre dos capas impermeables. Por lo general es de nivel piezométrico negativo; los casos de ser de nivel piezométrico positivo son raros.

Los antiguos lechos de ríos, en que se hallan las corrientes artesianas, se componen, en su masa principal, de arena de grano más o menos fino en estado semifluido, que sube por los caños de las perforaciones, junto con el agua, a considerables alturas. Encima de estos estratos acuíferos hay loess o depósitos lacustres permeables; es una gran excepción que, entre la primera y la segunda napa, haya una capa de arcilla, y jamás la hemos encontrado en gran extensión.

A pesar que falta una capa de sedimentos impermeables, que es una de las condiciones principales para las aguas artesianas, el agua de la segunda napa sube en todas partes en los tubos a mayor o menor altura, lo que es debido a las condiciones particulares que presenta el loess pampeano.

Hemos visto que el loess reúne propiedades de la arcilla y de la arena; en estos depósitos el agua sube por capilaridad como en la arcilla, y debido a su estructura y composición, circula como en la arena, de manera que este sedimento desempeña dos funciones: conduce el agua de la segunda napa, por presión, a las capas superiores y, una vez que éstas están saturadas, substituye las capas impermeables. De aquí resulta que la presión hidrostática de la segunda napa y el nivel del agua de la primera se equilibran.

Como la capilaridad depende de la estructura y la composición del loess, el agua que circula en un mismo depósito fluvial sube en una parte a mayor altura que en otra; en un lugar donde hay encima de estos depósitos loess arcilloso, el ascenso es mayor que donde hay loess arenoso.

No cabe duda que las irregularidades del nivel que se observan en la primera napa y la diferencia de la presión hidrostática que presentan las corrientes en los depósitos fluviales, son debidas en gran parte a las distintas clases de loess que se hallan encima de estos últimos.

Es cierto que el agua freática alimentada por lluvias locales, tampoco presenta una línea de nivel horizontal, sino que sigue más o menos a las ondulaciones de la superficie del terreno. En las zonas de dunas, por ejemplo, el agua freática se halla, en las partes elevadas de los médanos, a mayor altura que en las bajas. Como en este caso se trata de arena fina, el agua de lluvia que se infiltra al terreno está retenida por la capilaridad y la adhesión del sedimento, pero en depósitos de materiales más gruesos, como ser estratos de guijarros, el nivel del agua freática sigue también más o menos al declive de la superficie del terreno, y en este caso influye solamente la adhesión.

En el loess pampeano no es así; las curvas que forman la línea del nivel de la primera napa de agua por lo general no corren paralelas con el relieve del terreno. En Baradero, por ejemplo, en terreno muy ondulado, en un paraje llamado « El Rincón », el nivel de la primera napa forma un plano casi horizontal.

Hemos hecho varias perforaciones; en una, practicada en la loma más alta, se encontró la primera napa a 20 metros de profundidad, y en otra, hecha a unos tres kilómetros de aquélla, en un bajo, se halló a tres metros, lo que corresponde a la diferencia de altura del terreno.

En cambio, en sondeos practicados en el cañadón del río Salado, en Junín, donde el terreno es muy llano, el nivel de la primera napa forma una línea ondulada. En General Arenales he levantado un perfil geológico a través de todo el partido; la superficie del terreno es muy ondulada y la línea del nivel de la primera napa forma también suaves ondulaciones, pero éstas no corren paralelas con el relieve del terreno.

Con el fin de investigar si hay la posibilidad de alimentar el canal del Norte con agua subterránea, he practicado en el partido de Junín numerosos sondeos hasta la segunda napa, que se halla en aquella región, como hemos visto, a unos 100 metros de profundidad. Aquí no cabe duda alguna que las corrientes subterráneas se hallan en un mismo antiguo lecho del río. Encima de los depósitos fluviales se encuentra en todas partes loess pampeano, que en algunos lugares es más arenoso que en otros. En las perforaciones practicadas en puntos donde la línea del nivel de la primera napa forma una curva convexa, el agua subía en los tubos de revestimiento a mayor altura que a la de la primera napa, mientras que donde forma una curva cóncava, llegaba solamente a esta altura. Este hecho demuestra con evidencia que la presión hidrostática de la segunda napa es influida por la clase de loess que se halla encima de los estratos fluviales. Como la acción capilar y la rapidez del movimiento

están en relación inversa, resulta que en parajes donde el agua de la segunda napa sube por capilaridad a mayor altura, el rendimiento en los pozos construídos hasta la primera napa es menor que en terrenos donde sube a menor altura.

Se entiende que el agua subterránea de la formación pampeana en la provincia de Buenos Aires, no proviene únicamente de agua de ríos y arroyos que nacen en las sierras y que circulan en el subsuelo. Hay zonas donde las condiciones geológicas son favorables para la infiltración de las aguas de lluvia, y hay ríos con curso superficial que alimentan directa o indirectamente la primera y segunda napa.

En la provincia de Buenos Aires el único río de importancia que se puede considerar como proveedor de agua subterránea, es el Paraná; los otros ríos y arroyos forman más bien canales de desagüe. Es cierto que en los períodos de lluvias, cuando están crecidos, rezuman agua al terreno, pero ésta es insignificante en comparación con la cantidad de agua que substraen durante el año del subsuelo.

Todos los ríos y arroyos de agua permanente, que tienen su origen en la llanura pampeana, son alimentados con agua de la primera napa; los alimentados únicamente por agua de lluvias en la mayor parte del año están secos. Los de agua permanente corren, en tiempo normal, en un nivel más bajo que la primera napa; en cualquier parte que se practique una excavación en el borde de un arroyo, brota agua.

En las cuevas cavadas por las nutrias, en la base de las barrancas, se ve brotar agua, y algunos propietarios de campos prohíben la caza de estos animales, diciendo que ellos abren las vertientes y aumentan en esta forma el caudal de agua del arroyo.

En tiempos de crecientes, se infiltra el agua de éste al terreno vecino, pero cuando baja su nivel vuelve a surgir a su cauce. Se puede ver que, después de la lluvia, corre durante algún tiempo en las zanjas y agujeros un poco de agua que se filtra de las barrancas.

Contrario a los ríos y arroyos que nacen en las sierras y pierden su corriente superficial en la llanura por infiltración de sus aguas, los que tienen su origen en la Pampa pierden el cauce en su curso superior. Basta que el lecho de un arroyo se llene con materiales que los vientos traen de las comarcas vecinas y que se eleve un poco sobre el nivel de la primera napa para transformarse en una cañada, donde corre agua solamente cuando llueve. En un trabajo publicado en la *Revista del Museo de La Plata*, tomo XVI, titulado *La construcción de un canal*, etc., he citado algunos ejemplos de cómo arroyos de agua permanente se transformaron en menos de 50 años en cañadas, donde corre hoy solamente agua cuando llueve.

También las lagunas que se hallan a un nivel más bajo que la primera napa, suelen secarse en los años en que el nivel de la primera napa

baja mucho, mientras que en los períodos de grandes lluvias, cuando están llenas de agua, ésta se filtra al terreno vecino.

Durante el tiempo en que practicaba estudios en Junín, he hecho algunas observaciones sobre el régimen del agua en la laguna Mar Chiquita. El fondo de ésta se compone de loess arenoso y el terreno en sus alrededores está formado en gran parte de arena de médanos fijos, quiere decir, de sedimentos permeables. He hecho varios pozos de observación en distintas partes en las inmediaciones de la laguna y he podido constatar que el nivel de la primera napa subía a medida que aumentaba el agua en la laguna. Me llamó la atención que, durante un invierno lluvioso, el cambio de nivel del agua en la laguna y la primera napa había sido muy insignificante. Este hecho nos prueba que el aumento del agua subterránea en los años de lluvias regulares es de poca importancia, a pesar de que se trata de una zona donde existen muchos médanos. Muy distinto es en años lluviosos. En el año 1914, por ejemplo, ha habido en la región noroeste de la provincia de Buenos Aires una gran inundación, que se extendía a las provincias de Córdoba y Santa Fe. Todas las cañadas y depresiones del terreno estaban llenas de agua; las tierras altas parecían grandes islas en un mar de agua dulce. La inundación duró muchos meses, y, siendo el terreno en toda esta región permeable, se almacenaron enormes cantidades de agua subterránea; hasta el año 1916 el nivel de la primera napa se halló a una altura que pasaba de lo normal. Algunos años antes, cuando practiqué los estudios en Junín en el verano, y que no había llovido algunos meses, el agua en la laguna y la de la primera napa subía repentinamente en toda esta región; en algunas casas penetraba a los zótanos. De las averiguaciones que practiqué para explicarme el fenómeno, resultó que en la primavera había habido grandes lluvias en las sierras de Córdoba y que el agua del río Cuarto corría por cañadones hasta cerca de Rufino; todo el estero que forma este río, al este de Carlota estaba lleno de agua. Todas estas observaciones demuestran evidentemente que el agua de la primera napa, en la región noroeste de la provincia de Buenos Aires, está alimentada por aguas de lluvias y por corrientes subterráneas.

En la región de las sierras de Tandil y de la Ventana, el agua de la primera napa es también alimentada por aguas de lluvias y corrientes subterráneas, pero aquí hay que tener en cuenta, además, los manantiales de las sierras que vierten sus aguas en el loess pampeano. He practicado algunos estudios de los manantiales en estas sierras, y citaré un ejemplo: cerca de la estación Azucena, el señor Emilio Anchorena había plantado en una de las colinas toda clase de árboles para formar un gran monte, y como esta colina se compone de granito se necesitó mucha agua para el riego. Él había hecho, sin éxito, muy costosas perforaciones en el granito. Le aconsejé de abrir una zanja a través de un pequeño valle

hasta el granito, y se encontraron fuertes corrientes subterráneas, que provienen de manantiales que están cubiertos de loess y cantos.

En todas partes al pie de las sierras, donde se hace una excavación de alguna importancia, se da con corrientes subterráneas que provienen de manantiales de los macizos y no de agua de lluvia; éstos son seguramente aún más abundantes a mayores profundidades. Tengo la convicción que en los alrededores de las sierras, los manantiales tienen mayor participación en la alimentación de las aguas que circulan en el loess, que el agua de lluvia, a pesar que el terreno, por su composición arenosa, es favorable para la infiltración.

Parece que los manantiales, que se hallan en las sierras del Tandil, no dependen del agua de las lluvias que se infiltra por las hendiduras a los macizos.

En todas partes se ven pequeños ojos de agua que brotan de las rocas y el agua no es más abundante en los períodos de lluvias que en los de sequía. La colina donde estaba la piedra movediza, forma un cono casi desprovisto de vegetación y no parece posible que en él pueda almacenarse tanta agua en los años de lluvia para alimentar los numerosos manantiales que existen en su alrededor. Es cierto que en las faldas de las colinas de granito, cubiertas de tierra vegetal y de materiales detríticos después de las lluvias, brota abundante agua, pero estas corrientes se secan en poco tiempo, mientras que en los manantiales, que se hallan en las rocas macizas, el agua no aumenta ni merma en todo el año, según me manifestaron los vecinos.

El pueblo de Tandil se halla en el fondo de un valle rodeado de colinas; hemos hecho varias perforaciones de profundidad y resultó que el terreno está saturado completamente de agua. Los pozos no merman sensiblemente en los tiempos de grandes secas, lo que prueba que no están alimentados únicamente de las aguas de lluvias.

Una gran parte de los arroyos, que nacen en estas serranías, pierden su curso superficial por infiltración, no obstante hallarse relativamente cerca la costa del mar. Sin embargo, el aumento de agua de la primera napa por este medio no es tan grande como a primera vista se podría suponer, porque los arroyos que renacen en estos lugares son tan numerosos como los que se pierden. Entre Mar del Plata y Tres Arroyos existen numerosos arroyos que forman un drenaje natural, de manera que en los años regulares la infiltración y el desagüe se equilibran en la zona donde el agua subterránea está influída por las sierras del Tandil; hemos practicado varias perforaciones y hemos encontrado en diversas profundidades depósitos fluviales intercalados en el loess con fuertes corrientes de agua que son los principales surtidores de agua de la primera napa.

En Miramar, Tandil, Olavarría y Azul, en cuyos lugares hemos hecho

sondeos, el agua de todas las capas es de buena calidad, mientras que en Coronel Vidal donde se hizo una perforación hasta la profundidad de 430 metros, el agua de la primera napa, como las de las capas inferiores es de mala calidad por hallarse en la zona de la transgresión querandina. En ninguno de los anteriores sondeos, se encontraron capas marinas.

También los arroyos y ríos que nacen en las serranías de la Ventana, en gran parte pierden su curso superficial por infiltración de sus aguas. En el lado norte y noroeste existe en las llanuras una gran depresión, formada por un movimiento regional en el tiempo mesopampeano. Se trata de una hoya sin desagüe, en que se formaron las lagunas de la Cañada Grande de Alsina, Cochicó (Arbolito) del Monte, del Venado, Paraguayas, Epecuén y algunas más chicas que están en comunicación entre sí, pero no tienen desagüe al mar. En ésta se observa un fenómeno curioso; la mayor parte de los arroyos no llegan hasta la depresión, el agua se infiltra antes al suelo y vuelven a nacer nuevos arroyos que recién desaguan a las lagunas. Como éstas no tienen desagüe al mar, se han acumulado en ellas durante los largos tiempos geológicos tantas sales, que en la laguna de Epecuén se explota sal de cocina. (Es sabido que el agua en los hoyos sin salida, frecuentemente es más salada que la del mar.) El agua de los arroyos que nacen en el noreste, norte y noroeste de las serranías de la Ventana, se evapora en las lagunas, así no es extraño que el agua subterránea por lo general sea de mala calidad en esta región. En Carlué existen pozos artesianos con nivel piezométricos positivo, pero el agua no es de buena calidad; el residuo fijo de las muestras que hemos analizado pasa de 200 partes en 100.000.

En el lado sur y sudeste hay algunos ríos y arroyos que conservan su curso superficial hasta el mar. El régimen de las aguas es como en todos los ríos; en tiempo de creciente infiltra agua al terreno vecino, que vuelve a surgir en el cauce cuando baja el nivel. En las zonas de los médanos una parte del agua de la primera napa o, en este caso, mejor dicho freática, proviene seguramente de agua de lluvia, que se infiltra en el terreno. También en los valles y en los alrededores de estas serranías, en muchas, partes la composición del terreno es favorable a la infiltración del agua de lluvia, pero los surtidores principales del agua de la primera napa son los manantiales y las corrientes subterráneas.

Como en las serranías del Tandil, la mayor parte de los manantiales de estos macizos derrama sus aguas subterráneamente al loess pampeano. Éstos aquí seguramente no son alimentados por agua atmosférica que se infiltra por las hendiduras en las rocas. Hay manantiales que se hallan casi en las cumbres de las montañas. El río Sauce Grande, que es alimentado por manantiales, nace cerca de la Ventana, que es la parte más alta de toda la sierra, y la construcción tectónica de estas montañas indica que aquí se trata de aguas juveniles, de las que trataré cuan-

do me ocupe de las corrientes subterráneas del partido de Bahía Blanca.

En el noroeste de la provincia de Buenos Aires, el río Paraná es el gran surtidor de las aguas subterráneas; la zona de su influencia se extiende hasta una gran distancia de la costa.

En toda la costa desde La Plata hasta San Nicolás hay en la profundidad de 40 a 60 metros un depósito de arena acuífera que forma en esta región la segunda napa. Se trata de un antiguo curso del río Paraná más ancho que el actual delta. En las perforaciones practicadas en el norte de la provincia de Buenos Aires, lo hemos constatado desde San Nicolás hasta Rojas. He estudiado el régimen del río Paraná y el de las aguas subterráneas durante más de 40 años y puedo afirmar que en esta zona el agua de la primera napa no es alimentada por agua atmosférica, que se infiltra por las capas superiores. Solamente en tiempos de grandes crecientes, cuando los bañados, como el de Arrecifes, que se encuentra entre Baradero y San Pedro, el de la Cañada Honda, que existe entre Capilla y Pilar, están llenos de agua, hay infiltración, pero ésta es muy insignificante y de efecto puramente local. En las partes donde el río Paraná toca directamente a las barrancas que son compuestas de loess, se infiltra agua que sube por la capilaridad, pero el efecto no es tan grande como algunos autores suponen. Las crecientes y bajantes del río influyen algo en el nivel de los pozos de balde que se hallan cerca de las barrancas, pero aún no se ha establecido con exactitud hasta qué distancias se nota el efecto. Para eso sería necesario construir una serie de pozos de observación con cota bien determinada y hacer mediciones hidrométricas durante algunos años. He vivido seis años en San Nicolás y observé, que el nivel del agual del pozo de la casa, que se halla a menos de un kilómetro del río, subía y bajaba con las crecientes y bajantes periódicas del río, mientras que en un pozo, en una quinta que se halla más o menos a cinco kilómetros de la barranca, el nivel del agua bajaba tanto, que se tenía que profundizarlo a pesar que hacía meses que el Paraná estaba muy crecido.

Es sabido que las crecientes periódicas del río Paraná son debidas a las grandes avenidas en su curso superior; las lluvias locales en su curso inferior no tienen influencia sobre el nivel; durante largas secas en la provincia de Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires, el río a veces está muy crecido. Solamente en la parte más inferior se nota un cambio de nivel producido por las mareas y los vientos.

El régimen del río Paraná con relación a las aguas subterráneas es completamente distinto del de los ríos, que tienen semejante influencia sobre el agua de filtración en los valles. La depresión que se halla entre la provincia de Buenos Aires y Entre Ríos y que forma el delta, presenta las condiciones físicas solo de un ancho cauce de río y no las de un valle.

Este delta se extiende desde el río de la Plata, por lo menos, hasta la

confluencia de los ríos Paraguay y Alto Paraná en la provincia de Corrientes. En todo este largo trayecto no hay ningún afluente de mayor importancia. El terreno se eleva longitudinalmente hacia Corrientes, pero no lateralmente. Las islas en Corrientes no se hallan a mayor altura sobre el nivel del río que en Buenos Aires y todo este terreno es anegadizo; en tiempo de las grandes crecientes, que vienen del norte, la depresión entre las dos barrancas forma un solo cauce, que en algunas partes pasa de 50 kilómetros de ancho. Este enorme cauce está relleno de sedimentos semifluidos; la masa principal se compone de arena y limo; capas de verdadera arcilla son muy raras. Lo que se toma generalmente por arcilla es el material más fino proveniente del loess pampeano.

A pesar de la abundancia de materias orgánicas en estado coloidal, que estos sedimentos aluviales contienen, el agua se filtra con relativa facilidad. Los pozos y zanjas abiertas en las islas se llenan de agua que se filtra del terreno. En la parte inferior del delta, hasta donde alcanzó la transgresión querandina, predominan los sedimentos arcillosos, o mejor dicho, los limosos y más arriba de Baradero los arenosos; los bancos de arena pura lavada son muy frecuentes. Este terreno está continuamente removido a causa de los cambios del curso de los canales; solamente en los 50 años que yo conozco este río he notado grandes cambios. En San Nicolás, por ejemplo, los vapores de carreras pasaban antes entre la barranca y una isla que hay enfrente; más tarde se formó un banco de arena y hoy el canal está completamente cerrado. Debido a estos movimientos, el material está muy mezclado, lo que es una de las causas por qué el agua circula con cierta facilidad.

Los depósitos de aluviones, que corresponden al horizonte postpampeano, tienen un espesor, en término medio, de 10 a 15 metros y descansan directamente sobre la formación terciaria entrerriana de facie fluvial y marina. En ninguno de los numerosos sondeos, que hemos practicado en las islas, hemos encontrado loess pampeano entre los depósitos postpampeano y entrerriano; recién debajo de estos últimos, se encuentra loess que corresponde al horizonte infrapampeano. La formación entrerriana se compone, en general, en la parte superior, de capas fluviales y en la parte inferior, de marinas. En algunas perforaciones no se ha encontrado la facie fluvial, hallándose el postpampeano directamente sobre las capas marinas y en otras faltan estas últimas y las capas fluviales están directamente sobre el loess infrapampeano.

El espesor total de la formación entrerriana varía entre 50 y 80 metros; en ninguno de los sondeos practicados en el Delta entre el Tigre y San Nicolás hemos encontrado un espesor que alcance a 100 metros. Llama mucho la atención que las capas fluviales se componen casi exclusivamente de arena muy pura, lavada; es una rara excepción encontrar interposiciones de estratos de arcilla o de limo y jamás tienen gran

espesor y extensión. La arena en general es de grano más grueso que la de los bancos postpampeanos y a veces contiene rodados de rocas calcedónicas; no obstante ser semiflúida, no se puede perforar en ella, no llevando el zapato de los caños de revestimiento junto con la mecha o empleando agua de inyección muy espesa.

En la facie marina, en cambio, predominan los sedimentos limosos que alternan frecuentemente con estratos de arena y a veces se encuentran capas de verdadera arcilla plástica de considerable espesor, pero siempre interpuestas en forma lenticular. Tanto las capas fluviales como las marinas están completamente saturadas de agua, pero las primeras son mejores conductores; en ellas circula el agua con gran facilidad, se puede decir que forman una mezcla de agua y arena, que sube por la presión hasta cierta altura en los tubos de las perforaciones.

Ahora bien, estos estratos, como hemos visto, no están limitados al delta del Paraná, se extienden debajo del loess pampeano hasta grandes distancias del río. En un perfil que hemos levantado desde La Plata hasta el centro del delta, las arenas acuíferas forman un horizonte sin interrupción; en el norte las hemos encontrado, como ya he dicho, desde San Nicolás hasta el Pergamino, donde aún continúan.

Entre la arena acuífera, que forma en todas partes en esta región la segunda napa, y el loess, se encuentran frecuentemente capas de las llamadas depósitos lacustres, que se han tomado erróneamente por capas impermeables. Basada en esta suposición, la dirección de Obras sanitarias había hecho una reglamentación para la construcción de pozos semisurgentes en los alrededores de la Capital federal, que dificultaba mucho el aprovechamiento de esta excelente agua. En realidad estos sedimentos presentan para la circulación del agua las mismas condiciones que el loess. La primer napa se halla frecuentemente en depósitos lacustres del horizonte mesopampeano y el agua en los pozos construídos hasta esta napa es tan abundante como en el loess. Si los depósitos lacustres fueran sedimentos impermeables, se encontraría en la región nordeste de la provincia de Buenos Aires y en el este de Santa Fe con frecuencia agua artesiana de nivel piezométrico positivo.

Como en el delta del Paraná no existe, encima de los depósitos fluviales entrerrianos, una capa impermeable, el agua del río se infiltra a las capas inferiores, donde se halla en todas partes bajo una presión, que equivale a la altura de las capas impregnadas de agua, que están encima. Aquí tenemos el fenómeno ya explicado. La presión hidrostática del agua, que circula en el antiguo lecho del río Paraná, y la altura a que llega en el loess pampeano que hay encima, se equilibran.

Las irregularidades en el nivel de la primera napa de agua, que se observan en esta región, seguramente provienen también en gran parte de la distinta composición litológica del loess, pero todo indica que exis-

ten corrientes subterráneas independientes de la infiltración del río Paraná. En el tiempo terciario este río ha tenido afluentes que hoy no existen; uno de estos hemos constatado en San Pedro.

El antiguo lecho de río, que se halla en Junín a los 100 metros de profundidad, también puede haber sido en el tiempo terciario un afluente del Paraná. En Quilmes, en el lugar de la cervecería, el nivel piezométrico de la segunda napa subió en años pasados varios metros, mientras que en La Plata no se notó ningún cambio de nivel, lo que demuestra que existen distintas corrientes subterráneas en esta región. Es muy posible también, que las corrientes que se hallan a mayores profundidades, influyan en la segunda napa y ésta a su vez en el nivel de la primera. Todavía faltan los datos exactos para poder explicar todos los fenómenos que se observan.

Tan complicadas como el régimen, se presentan también las condiciones en cuanto a la calidad de las aguas subterráneas en la formación pampeana. Es un fenómeno muy conocido aquí, que la calidad del agua de la primera napa cambia a poca distancia, lo que está motivado en gran parte por el origen del loess. En general el agua en el loess es alcalina y de composición química distinta de la de las aguas freáticas que se encuentran en los médanos.

También la calidad del agua de la segunda napa cambia a menudo de una localidad a otra.

En La Plata, por ejemplo, el agua de la segunda napa es de excelente calidad y en Ensenada en la misma arena acuífera es tan salobre que no se puede utilizar. Lo mismo en Buenos Aires en la quinta de Lezama el agua de la segunda napa es buena y a menos de 100 metros de la barranca en dirección al río no es potable, a pesar de encontrarse en la misma clase de estratos. El ministerio de Obras públicas de la Nación ha practicado en el puerto de Buenos Aires y en Río Santiago numerosas perforaciones, y el director general de Obras hidráulicas, ingeniero Lange, me ha facilitado una gran serie de perfiles. Examinando las condiciones geológicas del estuario en La Plata y del Delta del Paraná resulta, que en todas partes, donde los depósitos de la transgresión querandina se hallan directamente encima de los estratos entrerrianos fluviales o marinos, el agua es de mala calidad.

En lugares donde hay entre estas dos formaciones depósitos de loess, frecuentemente es también salobre; por ejemplo, entre La Plata y Ensenada se encuentra encima de los depósitos entrerrianos una capa de loess y encima de estas recién están depositados los estratos de la transgresión querandina; en toda esta parte el agua de la segunda napa es de mala calidad. En cambio, donde estas últimas capas faltan, el agua es buena.

No cabe la menor duda, que la mala calidad del agua de la segunda

napa en estas partes está motivada por la transgresión querandina, pero sería un gran error deducir de este hecho que en todos los depósitos marinos el agua tenga que ser salobre. En La Plata, por ejemplo, encontramos, intercaladas en el loess del horizonte neopampeano, capas marinas de la transgresión belgranense y el agua de la segunda napa es buena, como también la que se halla en los depósitos marinos que están debajo de la facie fluvial.

Es bien sabido que en el mar no se deposita sal; para que ésta se precipite, el agua tiene que evaporarse. Por esta razón el agua salobre se encuentra frecuentemente en sedimentos depositados en los mares vadosos, donde el agua ha quedado represada.

La península San Blas es uno de los parajes de nuestra costa, donde se puede estudiar actualmente este proceso. El doctor Witte ha practicado investigaciones geológicas en esa región y ha descripto cómo se forman todavía hoy salinas. Reproduzco la parte en que habla del agua del mar, que se evapora en las depresiones ¹:

«Más adelante tendré ocasión de demostrar que toda esta costa del Atlántico se encuentra actualmente en un período de regresión. A medida que el mar se retiraba, su fondo quedaba en seco, y en consecuencia, las depresiones submarinas se transformaban en salitrales. Cuando éstas quedaron cortadas del mar por completo, el agua represada en ellas, en parte rezumábase al subsuelo y en parte se evaporaba, precipitándose las sales.

«Al principio las depresiones quedaron en comunicación con el mar, formando lagunas, pudiéndose distinguir dos tipos: lagunas en comunicación continua con el mar por medio de canales, y lagunas a las que el mar tiene acceso solamente en tiempos de mareas muy altas. En las primeras se forman con el tiempo los salitrales, y en las segundas las salinas.

«Los alrededores de San Blas presentan en la actualidad las condiciones en que se puede estudiar este fenómeno en todos sus detalles. En el sistema de lagunas, delante de la que se halla situada la mencionada península en forma de una barra, y el que es el resultado del último movimiento regresivo del mar, están representados todos los tipos de que hablé más arriba. En él se repite ahora y visiblemente el proceso de la formación de salitrales y salinas del mismo modo que se desarrollaban anteriormente los que se encuentran más en el interior en un estado de formación concluída.

«El proceso es el siguiente:

«En las ensenadas, donde la corriente de la marea no es suficientemente fuerte para arrastrar materiales gruesos, es decir, rodados y are-

¹ *Estudios geológicos de la región de San Blas*, Ministerio de obras públicas de la provincia de Buenos Aires, páginas 28 a 31, La Plata 1916.

nas, se deposita la materia más fina que el agua lleva en suspensión, y que consiste en un limo fangoso, conocido con el nombre alemán *Schlick*. Este es completamente idéntico a las tierras arcillosas que se encuentran en las depresiones del interior. Favorece la deposición, o más bien dicho la precipitación de esa materia, por la circunstancia que el agua de las lagunas es siempre más salada que el agua del mar afuera.

« Mientras que el *Schlick* en otras costas, en donde la cantidad de lluvias es mayor que en nuestra región, forma una tierra muy fértil, v. g., en el mar del Norte, cuyas tierras se conocen con el nombre de « Maschen », el limo fangoso de las costas sur de la República Argentina es casi estéril, debido a las sales que contiene, lo que es motivado por las siguientes circunstancias :

« Todo depósito arrojado por el mar a la costa, en terreno situado entre el nivel de la marea alta y el de la baja, queda mezclado con agua marina. Ahora bien ; si los depósitos son permeables, como lo son la arena y los rodados, el agua circula por ellos casi con la misma prontitud, como se retira la marea, mientras en depósitos poco permeables o impermeables, como son las materias arcillosas, el agua del mar queda retenida como en una esponja hasta que vuelva otra vez la marea alta.

« En costas muy playas, como en el presente caso lo son especialmente los alrededores de San Blas, grandes extensiones de terreno quedan en seco durante el intervalo entre la marea alta y la baja. En países de clima húmedo y de lluvias copiosas, como lo son las regiones septentrionales de Europa, esos terrenos vuelven a desalarse con mucha prontitud, mientras que en regiones como las nuestras sucede lo contrario. En este territorio la insolación y, en consecuencia de ésta la evaporización, es muy fuerte, mientras que las lluvias son muy escasas. Resulta de esto, que durante la marea baja se produce un enriquecimiento de materias salinas en los limos fangosos que durante la marea alta están cubiertos por el agua del mar, y en vez de disminuir la concentración de sales se aumenta cada vez que aquella penetra en las depresiones. Por otra parte, el agua de mar que entra en las lagunas, se pone también siempre más salobre, como ya he demostrado más arriba, y esto produce una aumentación de la precipitación de las materias arcillosas que lleva en suspensión.

« Este proceso se repite diariamente en las lagunas situadas detrás de la península de San Blas, las que en el mapa son designadas como arroyo, nombre que les han dado erróneamente los vecinos de la región, probablemente por su forma estrecha y por la fuerte corriente causada por el cambio de las mareas.

« Durante cada marea baja quedan en seco por algunas horas vastas áreas de su fondo y se produce el efecto arriba descripto. En las partes donde llegan solamente mareas muy altas, y que quedan a descubierto

por mayor tiempo, la concentración progresiva de sales en el terreno es aún más intensa.

« La formación de las salinas es muy análoga. La diferencia consiste, como he dicho, en que estas se pueden formar únicamente en lagunas sin desagüe a las que el mar tiene acceso solamente durante mareas muy altas o sizigias, y en las que el agua estancada se evapora paulatinamente. Se pueden distinguir dos casos diferentes. El primero es el siguiente: el agua se evapora por completo en el tiempo entre una y otra marea sizigia, y entonces sobre la capa de sal formada en consecuencia de la evaporización, se deposita primeramente la arena y la materia arcillosa acarreada en la nueva marea sizigia. Este es un proceso que se repite continuamente. Después de cada marea alta se depositan en primer término los sedimentos, y luego se forma una costra de sal al evaporizarse el agua. El resultado de este suceso es la formación de capas alternantes de sal, de arcilla y arena.

« En el otro caso la cantidad de agua que entre en las depresiones durante las mareas sizigias es tan grande, que no puede evaporizarse por completo hasta la marea siguiente. Entonces las materias que el agua lleva en suspensión, se precipitan, pero la sal queda en solución, produciéndose así una concentración cada vez mayor. Cuando en consecuencia de la regresión de mar, el agua, ni en mareas altísimas, tiene más acceso a las depresiones, entonces se evapora por completo, formándose así las grandes salinas, como ocurrió, por ejemplo, en la salina de Piedras, del Inglés, etc. Constaté el caso primeramente descrito en el salitral, cerca de La Colonia, en la parte extrema noroeste de la región marcada en el plano adjunto. Allí encontré bajo la capa superficial de limo arcilloso capas de sal que alternan con estratos de arena marina verduzca, la que contiene restos de moluscos marinos.

« Los dos casos se hallan combinados a veces. Así por ejemplo, en la Salina de Espuma, situada a unas 5 leguas arriba de Carmen de Patagones, encontré debajo del limo arcilloso estratos de sal, que alternan con arcilla y arena, al parecer de origen marino.

« He tenido oportunidad de estudiar detenidamente la Salina de Espuma. En medio de la depresión se halla un depósito de sal gema de color algo rosado, de la cual no se ha hecho análisis, pero seguramente es más o menos la misma que la de la Salina del Inglés. Esta última, como la de la Salina de Piedras, es cloruro de sodio casi puro, con un contenido muy pequeño de cloruro de potasio. El análisis que se ha hecho de la sal de la Salina del Inglés en la sección química de esta repartición, ha dado el siguiente resultado :

Cloruro de sodio	99,655 %
Cloruro de potasio.....	0,354
Anhídrido sulfúrico.....	vestigios

« En esta salina se pueden distinguir distintas zonas. En el centro se encuentran las sales, que quedaron en solución hasta el fin de la evaporación del agua, y que se hallan encima de la arcilla salífera en forma de una cubeta. En su alrededor se observa una zona compuesta de arcilla salífera, que contiene, además de cloruro de sodio y de potasio otras sales, que se cristalizaron antes que aquellas. Después sigue una zona exterior caracterizada por las grandes cantidades de yeso que contiene. Los cristales de yeso en forma de flechas casi transparentes e incoloros, se hallan casi diseminados en un limo negro algo bituminoso de olor de fango podrido (sapropelo).

« Estas tres zonas son, según mi concepto, la parte de la depresión, donde se ha producido el proceso final de la evaporación del agua de mar. »

Lo citado basta para comprender, que en depósitos marinos, el agua en una parte es salada y en otra potable. Los estratos marinos, que se hallan en La Plata intercalados en el neopampeano son de poco espesor y han sido depositados en la barranca de una costa y no en una depresión, donde el agua había quedado represada y se hubiera podido evaporar.

En el delta del Paraná a la altura de Baradero hemos hecho sondeos hasta la segunda napa y el agua resultó muy buena, mientras que en el Tigre, donde se verificó un estudio sistemático, no hemos encontrado agua potable, ni en las capas superiores, ni en los estratos fluviales y marinos entrerrianos. Este hecho nos demuestra que a la altura de Baradero el mar se retiró sin haber dejado represada agua salada, mientras que en la parte inferior del delta y en la costa, donde existen los depósitos marinos querandinos, se verificó un proceso como el que ha descrito el doctor Witte.

Aquí se nos presentan complicaciones que es muy difícil explicar. En La Plata el agua de la segunda napa, como hemos visto, es buena y a menos de un kilómetro de la antigua barranca es salobre. Se podría suponer, que la presión hidrostática en la zona de agua buena impidiera la penetración del agua salobre, pero en la zona de la transgresión querandina se observa lo contrario. En Ensenada, por ejemplo, no solamente el agua de las capas superiores, depositadas durante la transgresión querandina, es salobre, sino también la de las capas de loess mesopampeano y de los estratos entrerrianos, de manera que la presión hidrostática de la segunda napa no ha impedido aquí la penetración del agua salobre a las capas inferiores. El fenómeno se podría explicar, admitiendo que la salmuera formada en la superficie del terreno durante la transgresión haya penetrado a las capas inferiores, por ser el agua salada más pesada que la dulce o que haya habido un intercambio por difusión. Esta explicación está, empero, en contradicción con otras obser-

vaciones. En Mar de Plata existen pozos al pie de la barranca en un nivel más bajo que el del mar, donde llega diariamente la marea.

He examinado las capas en que se halla el agua; éstas se componen de loess faltando una interposición de una capa impermeable que impide que el agua del mar penetre a la napa de agua dulce. Aquí el fenómeno se podría explicar como en La Plata, admitiendo que la presión hidrostática en la napa de agua dulce impida que el agua del mar penetre al subsuelo; pero entonces está excluido un intercambio por difusión.

Análogas condiciones se observan en el interior de la llanura, en lugares, donde está excluido que el mar haya influido sobre la calidad del agua. Es un fenómeno muy común que el agua de la segunda napa sea de buena calidad, mientras que la de la primera napa alimentada por la segunda no es potable. En estos casos no hay duda que las sales tienen que encontrarse en las capas superiores y son disueltas al circular el agua por ellas. También es de suponer que la presión hidrostática impida, que el agua salobre de la primera napa se mezcle con la de la segunda.

El doctor Bade, después de un estudio de la composición química de las aguas subterráneas en la provincia de Buenos Aires, ha llegado a la conclusión de que la alcalinidad del agua en el loess pampeano está relacionada con el origen de este sedimento. Pero esto no nos explica por qué el agua en un pozo, cavado en el loess, está tan cargado de sales, que no es utilizable y a poca distancia en otro pozo, en los mismos depósitos, es potable.

Cuando practicaba estudios hidrogeológicos en la provincia de Santiago del Estero, he tenido ocasión de hacer algunas observaciones, que pueden contribuir a aclarar en algo las condiciones particulares, que presenta el agua de la primera napa.

Añatuya y toda la línea de ferrocarril hasta Tintina se provee de agua del río Salado. En todo este trayecto, más de 200 kilómetros, no se ha encontrado hasta ahora agua potable, a pesar de haberse hecho perforaciones hasta una profundidad de más de 2000 metros.

En tiempos normales se lleva el agua desde Añatuya en trenes especiales y cuando el río Salado está seco en esta localidad, se la trae de Suncho Corral. El año en que practiqué los estudios, era de gran seca general; el nivel de la primera napa había bajado en todas partes y en el río Salado no corría agua superficialmente desde la frontera de la provincia de Salta. Mediante sondeos, hechos en el cauce del río, constaté que existían fuertes corrientes a poca profundidad. El agua para la población de Suncho Corral y para las locomotoras de los trenes y aserraderos se traía desde la estación la Aurora. Con un aparato de sondeo a mano practiqué una perforación de unos 8 metros de profundidad en el lecho del río, al lado de la usina de aguas corrientes y el resultado fué sorprendente, pues un solo pozo daba suficiente agua para toda la

población; la bomba de la usina no la podía desagotar. Si bien el agua no era de primera calidad, se la podía utilizar perfectamente bien.

He hecho también una serie de sondeos en el terreno alto y resultó que solamente cerca de la barranca el agua era utilizable; a unos 100 metros del río es tan salobre, que no se puede tomar. Hemos visto que el río Salado corre en Suncho Corral por un cauce muy encajonado, cavado a través de un antiguo estero y no cabe duda que el agua ha desalado el terreno, en las inmediaciones del río. El efecto, empero, que produce este proceso es muy limitado; en sondeos hechos en el lecho del río en la profundidad de 20 metros el agua resultó salobre. Si en el transcurso de los tiempos el río tomara otra dirección y se rellenase este cauce con sedimentos tendríamos el mismo fenómeno que se observa en los depósitos pampeanos, de que el agua en un pozo es potable y en otro a poca distancia salobre.

Aún más singulares se presentan las condiciones en Añatuya. En esta localidad el río Salado forma un estero de más de tres leguas de ancho; allí el río no corre por un cauce bien definido, se divide continuamente en brazos, que a mayor o menor distancia vuelven a unirse. En tiempos de grandes crecientes todo el estero se inunda y en el terreno más bajo se forman lagunas, donde el agua se evapora y se acumulan las sales, que contiene en solución. Aquí se verifica el mismo proceso, como en los terrenos llanos, en la costa del mar.

Como las perforaciones de profundidad que se verificaron en esta parte del Chaco habían dado un resultado negativo, traté de investigar si había la posibilidad de proveer a esta región de agua de corrientes subterráneas del río Salado, como en Suncho Corral. Con este fin practiqué numerosos sondeos, los que tuve que efectuar a la buena ventura por no conocer los lugares donde antes existían lagunas o cauces del río. Encontré en varios puntos, entre el pueblo y el río Salado, agua utilizable aunque no de primera calidad. El caudal de agua en los pozos de ensayo no era tan abundante como en Suncho Corral. Presenté a la dirección del ferrocarril del Norte un proyecto de instalación de aguas corrientes para las necesidades del pueblo y la línea hasta Tintina con un sistema de bombeo que se emplea en Holanda, en regiones, donde existe agua potable de poco caudal encima de agua salada. (Hasta hoy la instalación no se hizo.)

Se trata en los presentes casos evidentemente de un proceso de desalación del terreno, posterior a la sedimentación, limitada a las capas superiores a lo largo de antiguos cauces del río Salado. El efecto es relativamente limitado, porque el agua de este río en tiempos normales es algo salada; en ríos de agua completamente dulce la desalación tiene que ser más eficaz.

Admitiendo que haya habido un análogo proceso de desalación durante la sedimentación del loess, en que se halla la primera napa de

agua, tenemos una explicación por qué el agua en una misma zona es de diferente calidad. En la provincia de Buenos Aires las condiciones morfológicas del terreno eran más favorables para una desalación parcial que en el río Salado. Aquí el proceso se pudo verificar también en el terreno alto y no solamente a lo largo de los ríos y arroyos.

En la época en que se depositó la formación pampeana, el terreno era menos llano que hoy. En las lomas el agua de las lluvias disolvía las sales contenidas en el suelo y éstas se acumulaban en las lagunas, donde el agua se evaporaba. Es natural, que el loess, formado en las antiguas pendientes y lomas, contiene menos sales solubles, que el que se depositó en las depresiones y en el terreno llano, y por consiguiente el agua que se filtra por estas napas, tiene que ser de distinta concentración. Todo esto se refiere solamente a las aguas de la primera napa; se encuentra, empero, frecuentemente en las napas inferiores, en el interior de la llanura, agua muy salada.

Nuestros estudios han demostrado con toda evidencia, que los antiguos esteros han tenido una gran influencia sobre la calidad de las aguas de la segunda napa, pero en forma distinta de la que acabo de explicar. En ellas se verificó un proceso parecido al de la formación de salinas en las costas de mar vadoso, con la diferencia que la sal no proviene de agua de mar evaporada, sino del agua de los ríos.

En el antiguo estero de la región de Mar Chiquita, en Junín y en sus alrededores las condiciones geológicas del subsuelo son parecidas a las de la costa, por ejemplo, en los bañados de Ensenada y La Plata. Hemos visto que en Ensenada las capas más superiores están formadas por estratos marinos de la transgresión querandina; éstas se hallan directamente encima del loess mesopampeano, faltando el del horizonte neopampeano y debajo se encuentra la arena acuífera de la segunda napa. En La Plata faltan los estratos marinos querandinos, en cambio hay loess neopampeano.

En Ensenada el agua de la primera y segunda napa es salobre; en La Plata la de la segunda napa es buena y la de la primera napa es en todas partes más o menos alcalina, variando su concentración muy a menudo. En la zona del estero de Mar Chiquita las capas superiores se componen de depósitos lacustres, de limo y de arena, que forman la facie palúdica o límnic de la transgresión querandina.

Éstos se hallan también directamente sobre el loess mesopampeano y debajo de éste se encuentra arena acuífera de la segunda napa. Fuera del estero, las capas límnicas del tiempo de la transgresión querandina faltan; en cambio se encuentran sobre el loess mesopampeano depósitos de arena de médanos fijos y loess arenoso correspondientes, como en La Plata, al horizonte neopampeano. Ahora bien, en todos los sondeos, que hemos practicado en el terreno del estero, el agua de la primera y

segunda napa es salobre, mientras que fuera de esta zona, la de la segunda napa es buena y la de la primera cambia de un punto a otro. Como se ve, las condiciones en las dos regiones son iguales, y no puede caber duda alguna, que la mala calidad del agua de la segunda napa, en Mar Chiquita, es debida al estero que se formó en tiempos de la transgresión querandina.

Llama la atención que en las dos regiones el agua salobre, proveniente en un caso de la transgresión marina y en el otro del estero, ha penetrado a través del loess mesopampeano hasta la arena acuífera, mientras que fuera de la zona de la transgresión y del estero no ha habido un intercambio del agua de la primera y segunda napa.

Según el doctor Atterberg los sedimentos compuestos de granos de tamaño menor de 0,002 dificultan un movimiento molecular vigoroso en el agua, pero en el presente caso se halla la misma clase de interposición entre la primera y segunda napa. Puede ser que agua de gran concentración de sales penetre con más facilidad a las capas inferiores; este fenómeno aún no está aclarado.

En mi concepto, la calidad del agua subterránea se mejoraría con el tiempo, si se pudiera dar una rápida salida a las aguas que se estancan en los esteros, cañadones, bañados, en una palabra, en las zonas de inundaciones. En vez de aumentar las sales nocivas, se produciría una destilación. A propietarios de bañados he aconsejado abrir zanjias para dar salida al agua y con esto han mejorado mucho el terreno. La idea de almacenar el agua de las inundaciones para tenerla disponible en tiempo de sequía que, teóricamente, parece muy razonable, en la práctica no daría resultado, pues en poco tiempo ésta estaría tan salada que no sería utilizable para el riego.

Referente a la composición que debe tener el agua potable, los higienistas y especialistas en la materia, no están en todo de acuerdo y no es posible establecer una fórmula general.

El doctor Hans Hofer von Heinhalt, conocida autoridad en materia de aguas subterráneas, dice ¹:

«Que un agua potable buena debe tener las condiciones siguientes:

«1ª Ser transparente, sin color y olor o sabor extraño;

«2ª La temperatura debe variar, durante las estaciones del año, entre límites estrechos (6 a 12);

«3ª Debe ser poco dura, sobre todo no contener mayores cantidades de sales de magnesio; el límite máximo de dureza en grados alemanes se fija generalmente en 20. El límite máximo de residuo seco es de 500 miligramos y de substancia orgánica 50 miligramos por litro;

¹ *Grundwasser und Quellen-Eine Hydrogeologie des Untergrundes-Braunschweig*, página 12, 1912.

« 4ª No contener amoníaco, especialmente amoníaco albuminoide, ni ácido nitroso y de nitrato en cantidades mayores (máximo 15 mg. de ácido nítrico por litro); sulfatos y cloruros (cloruro de sodio autóctono máximo 300 mg.). Finalmente, exenta de compuestos de hierro, ácido fosfórico, hidrógeno sulfurado y sulfuros alcalinos;

« 5ª Contener poca substancia orgánica y ser exenta de organismos con tendencia a la descomposición (máximo 30 mg. por litro);

« 6ª Ser libre de gérmenes patógenos y el número de gérmenes inofensivos no debe exceder de 150 por centímetro cúbico. »

Aceptando estas condiciones como reglas para juzgar el agua potable, resultaría que en la provincia de Buenos Aires solamente la de los manantiales en las sierras del Tandil y de la Ventana se podría clasificar como buena, pero el mismo autor hace presente, que los mencionados no deben considerarse en todos los casos como máximos.

Otros autores admiten 800 miligramos de residuo fijo por litro como límite para el agua potable ¹, pero aún en este caso tendríamos en la llanura pampeana muy pocas aguas subterráneas que presentasen estas condiciones; casi todas las de la primera napa pasan este límite. Se entiende que la buena calidad del agua no depende tan sólo de la cantidad de residuo fijo sino también de la clase de sales que contiene en solución. Citaré un caso concreto para demostrar que los preceptos formulados por los higienistas y especialistas, que se ocupan de la composición del agua potable, están a veces en contradicción con lo que se observa en la práctica.

Cuando se descubrió el agua termal en la estación La Vitícola, la Compañía de aguas corrientes de Bahía Blanca, intentó demostrar que el agua del río Sauce Grande era preferible para el consumo a la del agua termal, que se halla en aquella región y encargó a una comisión de químicos para que informara. En este informe se menciona el resultado de un análisis químico del agua del pozo del Puerto Militar, que reproduzco a continuación:

Materias salinas	Gramos por 1.000.000
Carbonato de calcio	26,775
— de magnesio	15,120
— de sodio.....	201,121
Cloruro de sodio	819,000
Nitrato de sodio.....	3,935
Sulfato de sodio.....	355,000
Sílice.....	30,000
Total.....	1,450,951

¹ Según nuestra determinación 800 miligramos por litro corresponden a 80 partes en 100.000.

« de lo que precede se desprende, que el agua analizada *no es potable por el exceso de materias salinas* que contiene ; principalmente cloruro y sulfato de sodio, comunicándole este último propiedades ligeramente laxantes. »

Ahora bien, según este análisis, el residuo fijo es 145,00 partes en 100.000, o sea en número redondo 1,450 miligramos por litro, quiere decir, el doble de lo que generalmente se admite para agua potable buena. La experiencia demuestra, empero, que el consumo continuo de agua de este tipo que contiene hasta 200 partes de residuo fijo en 100.000 no es perjudicial a la salud.

Es verdad, que el agua del pozo del Puerto Militar no es de primera calidad, pero el declararla no potable, por el exceso de materias salinas, es un gran desacierto, pues todas las aguas de mesa embotelladas contienen mayores cantidades de sales. Las sales que dominan son : carbonato, cloruro y sulfato de sodio. No hay que tomar en cuenta el carbonato.

Sulfato de sodio se encuentra en todas las aguas que circulan en el loess pampeano y en algunas regiones lo hay en proporciones, que a las personas no acostumbradas a este tipo de agua, produce al principio un efecto laxante, que desaparece empero al poco tiempo. Hay numerosas poblaciones que están obligadas a hacer uso de agua, que contiene hasta dos gramos de sulfato de sodio por litro, y si bien no tenemos una estadística médica sobre el efecto que produce el consumo continuo, la experiencia ha demostrado que no es perjudicial para la salud. Declarar no admisible un agua, que contiene menos de medio gramo de sulfato de sodio por litro, es juzgar los casos sin reflexionar.

La sal, que el agua del Puerto Militar contiene en mayor cantidad, es cloruro de sodio (sal de cocina) que no llega a un gramo por litro y en esta proporción no influye en el sabor. La presencia de cloruro de sodio en agua termal o en agua de la segunda napa no significa peligro alguno para el consumo continuo y es tolerable, no siendo su contenido en cantidad que produzca un sabor desagradable y que cambie el gusto en las bebidas. Muy distinto es, si se lo encuentra en agua de la primera napa, en los centros poblados, donde las letrinas llegan hasta la misma napa ; en este caso podría provenir de orines y su presencia indicaría la posibilidad que exista una contaminación.

Vestigios de amoníaco o ácido nitroso en pozos cavados en el loess pampeano fuera de las poblaciones tampoco significan peligros para la salud. En cambio encontrando estas sustancias o amoníaco albuminoide en agua que circula por aluviones, o en pozos, que se hallan cerca de letrinas o resumideros, hay que sospechar que exista contaminación con materias fecales o sustancias animales en putrefacción.

En general se puede decir, que el peligro de la contaminación del agua

de la primera napa no es tan grande como frecuentemente se supone. En los grandes centros poblados de Europa se han hecho minuciosos estudios y resultó, que el peligro de contaminación de las aguas de filtración es menos grande, que en las aguas corrientes superficiales.

En los alrededores de Buenos Aires se ha tratado de prohibir el consumo del agua de la primera napa; sin embargo, ésta es higiénicamente mejor que el agua del río de la Plata purificada artificialmente, porque aquélla pasa por un filtro natural de loess, cuyo poder de absorción es mucho más grande que el de los filtros artificiales de arena. Esto está demostrado prácticamente.

La población de Rosario, por ejemplo, hasta el año de 1880 se surtía de agua de la primera napa; todas las letrinas llegaban hasta esta napa y sin embargo las enfermedades que se propagan por el agua como ser el tifus, no eran más frecuentes que después, cuando se estableció el agua corriente, tomándola del río Paraná.

En cuanto al sabor del agua subterránea de la llanura pampeana, es muy variable y depende naturalmente de la concentración de sales que contiene.

Todas las aguas mineralizadas tienen un gusto particular, la que circula en el loess pampeano siempre es más o menos salobre, pero a veces en forma tan insignificante que solamente las personas acostumbradas a agua muy dulce notan un gusto extraño. El sabor desagradable que produce el agua en el paladar, depende mucho del tipo de agua, a que la persona está habituada. El que está acostumbrado a beber agua de la primera napa, encuentra desabrida la de aljibes. Un agua de sabor algo salobre no extingue la sed, pero como la de la primera napa contiene carbonato o bicarbonato que mejora el sabor y produce un efecto refrescante, la gente que vive en los alrededores de Buenos Aires la prefiere al agua corriente de la Capital, afirmando que esta tiene un gusto a agua estancada.

El doctor Mauricio de Thierry autoridad en materia de agua mineral, hablando de las aguas subterráneas de los suburbios de Buenos Aires dice: ¹ «Respecto al criterio referido, ya hemos consignado nuestro parecer en el estudio que, sobre las aguas superficiales y subterráneas del país, hemos publicado en 1905, denominado *Contribución al estudio de las aguas superficiales y subterráneas de la República Argentina* (*Anales del Ministerio de agricultura, 1915*); y desde entonces, el crecido número de muestras de aguas que tuvimos que examinar, ha venido a robustecer la opinión que ya teníamos en aquella época, es decir, que los límites a adoptar para la totalidad de las sustancias mi-

¹ *Anales del Ministerio de agricultura, sección minas, tomo VIII, número 1, páginas 11 y 12, 1912.*

nerales disueltas en una agua destinada al consumo del hombre, así como los respectivos de cada uno de sus componentes, no han sido aún determinados de una manera indiscutible; sin duda, conviene siempre usar, para el fin indicado, las aguas más puras, es decir, las menos mineralizadas; pero no hay razón alguna para rechazar todas las que no caben en los cuadros trazados para las aguas potables por los higienistas y especialistas en la materia, cuando en la región en estudio no existen aguas parecidas a las que ellos dan como tipo.» Y más adelante sigue diciendo:

«Las aguas de esta napa tienen una composición muy variable; el residuo seco a 105 varía entre 0,400 y 1 gramo, y a veces más; en pozos semisurgentes de la calle Calvo hemos encontrado 1,680 y 1,350. En general, la proporción de sulfato y de cloruro sódico es relativamente baja; pero todas las aguas de esta napa presentan un carácter común a muchas otras del país: son alcalinas, debido a la presencia de bicarbonato sódico en cantidades que representan, frecuentemente, la mitad más o menos del total de las sales disueltas, y hasta el 70 por ciento del mismo, acompañadas a veces de pequeñas cantidades de carbonato sódico o de silicato de la misma base. Aunque la composición de estas aguas difiere mucho de las de los tipos potables, es evidente que su uso para el consumo del hombre no trae inconvenientes para su salud, por lo menos que sepamos, y por consiguiente, se incurriría en un error grave al declararlas inaptas para este fin, precisamente a causa de la proporción de bicarbonato sódico que contienen, substancia que, en general, caracteriza a ciertas aguas minerales, pero no figura en ninguno de los cuadros que fijan los límites de composición de las aguas potables.»

El sabor del agua no depende tan solo de la cantidad de sales que contiene, sino también de sus combinaciones; así por ejemplo, un agua que contiene dos gramos de cloruro de sodio, acompañado de bicarbonato de calcio o magnesio, tiene un gusto menos salado que un agua en que faltan estos últimos.

Aquí no se trata, empero, únicamente de agua de beber sino de agua de consumo en general. El agua subterránea del loess pampeano puede contener una cantidad de residuo fijo aproximadamente de 250 partes en 100.000, sin que se note un gusto extraño en las bebidas de café, te, mate y en las comidas preparadas con ella.

Basado en experiencias prácticas, hemos fijado como tolerable para el consumo en general para el agua del tipo pampeano la cantidad de residuo fijo en 150 a 200 partes en 100.000.

En algunas regiones de la provincia de Buenos Aires los habitantes se ven obligados a usar agua que contiene mayor cantidad de residuo fijo, sin que se hayan constatado malas consecuencias.

Si un agua que pasa de 80 partes de residuo fijo en 100.000, no fuera

utilizable, gran parte de la llanura pampeana no sería habitable por falta de agua potable.

Por lo expuesto se ve que el régimen de las aguas subterráneas de la llanura pampeana no se puede juzgar por principios generales, sino que cada región requiere un estudio especial. Si en Europa, donde los hidrotécnicos, geólogos e higienistas se ocupan desde mucho tiempo de esta clase de investigaciones, hay todavía muchos problemas no resueltos, mucho menos es de esperar que aquí, donde recién se empieza con un estudio hidrogeológico sistemático, se puedan explicar todos los fenómenos que se observan.

Me he ocupado aquí casi exclusivamente de los fenómenos generales, que se presentan en la segunda napa de agua; de las aguas que circulan en las capas de mayores profundidades me ocuparé cuando trate de los resultados obtenidos en las diversas perforaciones practicadas en los distintos partidos de la provincia de Buenos Aires.