

559.3.054:550.3(824.3)(825.2)(047)



CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO SEDIMENTOLOGICO Y GEOQUIMICO

DEL SUR DE MISIONES Y NORTE DE CORRIENTES

por

Isaias Rafael Cardini y Juan Carlos Riggi

*Trabajo realizado por la Dirección Nacional  
de Geología y Minería.*

*Laboratorio Sedimentológico*

Buenos Aires

1959

*Isaias R. Cardini*

Resumen



El trabajo estudia los siguientes tópicos: Basalto tholeiítico, arenisca cuarzosa de San Ignacio, arenas actuales del río Paraná, grava actual del río Uruguay, suelos rojos y aspectos hidrológicos.

Este basalto muestra una engañosa apariencia de roca meteorizada; el examen microscópico confirma solamente alteración deutérica. Aunque no se aprecia a la observación directa, sus caracteres texturales indican que forma parte de un filón capa.

La arenisca de San Ignacio está compuesta por minerales estables en granos con superficies despulidas, redondeamiento y esfericidad altos. Se considera esta arenisca en función de su ubicación marginal con respecto al esudo brasileño. Es un ejemplo típico de un sedimento redepositado, que en alguno de sus ciclos sufrió transporte eólico.

Las arenas actuales del río Paraná son mineralógicamente más complejas que el sedimento anterior, por tratarse de un material en tránsito que recibe nuevos aportes de minerales durante su transporte; el scarreo en medio acuoso se refleja en las superficies pulidas.

Los fragmentos que componen la grava actual del río Uruguay muestran un predominio de basaltos, areniscas silicificadas y calcedonia. En el capítulo de génesis se relacionan los arrastres actuales con la complejidad petrográfica de las zonas atravesadas por las corrientes de agua. Hay curvas que comparan las características granulométricas de los sedimentos estudiados, relacionándolos con el origen.

Se estudian dos suelos rojos de tipo laterítico uno de los cuales se ha acumulado por transporte mientras que el segundo se encuentra "in situ".

En los aspectos hidrológicos se establece el arrastre salino



de las aguas superficiales (Paraná, Uruguay y algunos afluentes significantes); se lo compara con el contenido salino de un agua de primera napa. El primer grupo está compuesto por aguas muy poco mineralizadas y en el mismo hay conclusiones sobre su intervención en la movilidad de los óxidos. Las aguas subterráneas son mucho más mineralizadas; el Uruguay tiene carácter efluente sobre la napa en el caso estudiado.

#### A b s t r a c t

~~Tholeiitic basalts, supposed Trias quartzose sandstones, and fluvial sands and gravels of the Paraná and Uruguay rivers in the south and north of Misiones and Corrientes Provinces respectively, are described. The origin of the sediments is discussed; lateritic transported and "in situ" soils are studied. Finally several hydrological features (surface and groundwater), specially regarding transport and mobilization of oxides are considered.~~

*Tholeiitic basalts, Trias (?) quartzose sandstones, and fluvial sands and gravels of the Paraná and Uruguay Rivers in the Misiones and Corrientes provinces of NE Argentina are described. The origin of the sediments is discussed; lateritic soils, both transported and residual, are described. Some geochemical aspects related to mobilization and transport of oxides are considered.*



INDICE

I. Introducción ..... *pág*

II. Las rocas estudiadas

a. Basalto tholeítico ..... *pág.*

b. Arenisca cuarzosa de San Ignacio ..... "

c. Arenas actuales del río Paraná ..... "

d. Grava actual del río Uruguay ..... "

e. Génesis de los sedimentos ..... "

III. Los suelos rojos ..... *pág*

IV. Aspectos hidrológicos

a. Aguas superficiales ..... *pág*

b. Aguas subterráneas ..... "



## I. Introducción

Este trabajo comprende dos partes. La primera es un estudio sedimentológico y en la segunda se intenta un ensayo geoquímico. Dada su orientación no pudo ser encarado por un solo autor; es el producto de un equipo compuesto por dos geólogos y dos químicos.

Los estudios de campaña tuvieron una duración de 15 días, de modo que debe considerarse este primer resultado como integrante de una serie que se completará en otros viajes. Es de esperar que al final se tendrá un panorama completo de los procesos sedimentarios y geoquímicos a lo largo de la mesopotamia argentina región que, recorrida de norte a sur, es un área de dispersión ideal para estudiar el desarrollo de tales aspectos.

Misiones es una provincia que de acuerdo a la clasificación de Knoche, W. (Lám I), tiene un clima que oscila entre húmedo seco el 33 % del año en los meses de verano, y húmedo el 67 % en otoño, invierno y primavera. Con respecto a la temperatura es cálido durante el 92 % del año y tórrido el 8% restante.

Con ciertas limitaciones se puede recordar la regla empírica de van't Hoff: "un aumento de 10° C en la temperatura hace que la velocidad de reacción se haga dos a tres veces mayor; esto equivale a decir que por cada grado la velocidad experimenta un aumento de 10% en números redondos".

Si a esto se une la existencia de un clima que dispone de agua abundante, se comprenderá sin dificultad la conveniencia de circunscribirnos principalmente al campo de la meteorización química. Es así que de acuerdo a la clasificación geoquímica de los sedimentos debida a Rankama y Sajama podemos encasillar ciertos procesos como sigue:

### Inatacados

Constituyen los restos que no han sido atacados químicamente

durante la meteorización.

Este caso se cumple en la formación de areniscas antiguas y arenas de acarreos actuales.

#### Hidrolizados

Los sedimentos hidrolizados están compuestos por materiales arcillosos debidos a la intemperización en el mismo lugar de su origen.

Esta categoría está ejemplificada por los suelos lateríticos típicos de Misiones y norte de Corrientes.

#### Oxidados

Sedimentos, o parte de los mismos debidos a enriquecimiento en  $O_2$ . Se forman de materiales transportados en solución hasta el lugar donde se depositan, sitio en que se produce la oxidación. Los hidróxidos de hierro y manganeso componen la mayor parte de los oxidados.

Esta categoría está representada en gran parte por el Fe del horizonte laterítico y en mucha menor escala por la presencia de oetitas ("rodados de arcilla" con cubierta cementada por hidróxido de hierro) en el río Paraná.

#### Reducidos

Aunque los reducidos comprenden principalmente carbón y petróleo, también existen en esta categoría limos compuestos por partículas ya hidrolizadas, oxidadas y materia orgánica al estado de fermentación pútrida.

La categoría comprende los suelos negros de los bajos con drenaje defectuoso. No se estudiaron en el presente trabajo.

#### Precipitados

Se forman en las soluciones acuosas verdaderas cuando se sobrepasa el límite de solubilidad de uno o varios de los componentes disueltos; no debe confundirse este proceso con el de evaporación.

En Misiones no hay precipitados porque el ambiente climático no es propicio.

#### Evaporados

Los evaporados que se producen por pérdida de agua, se diferencian de los precipitados y oxidados en que son muy solubles. Esta misma condición exige para su subsistencia climas muy secos; por lo tanto no se encontrarán en Misiones.

Para que el trabajo resultara más completo se han encarado al mismo tiempo estudios petrológicos que comprenden a rocas eruptivas y sedimentarias.

Agradecemos la valiosa colaboración de Natalia Kotelnikov y Raul Poggi que tuvieron a su cargo los análisis químicos. Los trabajos de ilustración se deben a Esteban Cordini y Ede Mazzoni de Cordini.



## II. Las rocas estudiadas

### a. Basalto tholeítico

Hemos llamado así al basalto que aflora al sur de la ciudad de Posadas, porque concuerda con los tres caracteres principales distintivos de este tipo de roca, dados por Kennedy (4): predominio de <sup>piróxenos</sup> de pequeño ángulo axial, presencia de productos residuales ácidos y escasos o ausencia de olivina.

Esta roca es una muestra <sup>2</sup> más o menos representativa de los productos que dieron origen a potentes derrames, filones capas y diques compuestos por basaltos, diabasas, "meláfiros" y aún andesitas, estas últimas en el territorio brasileño; forman parte de un complejo efusivo que abarca una gran extensión regional, no sólo en nuestro país sino en gran parte del sur brasileño, el este del Paraguay y el Uruguay.

El primer autor que menciona la vastedad del área <sup>aproximada</sup> cubierta por este tipo de rocas, fué Guimaraes (5) en 1933 dándole el caracter de una provincia magmática definida <sup>la</sup> denominó "provincia magmática del Brasil meridional". Se trata de la misma provincia que Teruggi (6) llamó en 1957 "provincia petrográfica de la cuenca del Paraná".

La formación efusiva de referencia, que está asociada a las areniscas de la Serie de Sao Bento o areniscas de Betucatú, llamada Serie (o Lavas) de Serra Geral, es considerada actualmente de edad triásica.

Las muestras objeto de estudio en este trabajo, fueron recogidas en la cantera "Santa María" a 2 km. de Posadas en cortes que tienen 10 m. de altura como máximo. Si bien no hay indicios estructurales visibles que lo confirmen, <sup>las características de este afloramiento indican, por la</sup> ~~este afloramiento indica, por la~~ <sup>textura del basalto, que forma parte de un filón capa; su cubierta</sup> ~~textura del basalto, que forma parte de un filón capa; su cubierta~~



~~ha sido eliminada por la erosión.~~

Fig. 1.-Cantera "Santa María". En esta figura se ve el corte de la roca con fragmentación columnar mal definida y el suelo en la parte superior. Además puede apreciarse la contención construída para descargar piedra partida.

Aprovechando el corte citado se ha podido distinguir:

- 1º Horizonte con material de acarreo, rejizo.
- 2º Basalto gris verdoso oscuro, con bandas rojizas vecinas y paralelas a las fisuras.
- 3º Basalto gris vedoso oscuro.

La muestra inferior (3º) sometida al golpe del martillo, se fractura en superficies ásperas, que reflejan el carácter textural de la roca. Al microscópio, ésta resulta ser holocristalina, entre intergranular y subefítica, con individuos que suelen llegar al milímetro. La composición mineralógica comprende una asociación afiligrada de plagioclase; entre sus componentes se disponen cristales de piroxeno, clorita en pseudomorfosis de alivina y magnetita algo

titanífera. Intersticialmente, como productos residuales ácidos se disponen feldespato alcalino y clerita (fibras por sectores), cuarzo, <sup>micropegmatita?</sup> micropegmatita y apatita.

En los niveles superiores del afloramiento, estos estadios finales de la cristalización aumentan en porcentaje y el basalto resulta con características más sálicas.

La plagioclasa, mineral predominante, es bastante homogénea en tamaño y forma; tiene un alto grado de transparencia. Su composición es  $Ab_4An_6$ , <sup>alco</sup> es decir <sup>alco</sup> "libra de media" y se presenta <sup>alco</sup> albitizada <sup>alco</sup> en venillas sin direcciones definidas, <sup>alco</sup> como productos de <sup>alco</sup> fenómenos autógenos, <sup>alco</sup> proceso que tuvo lugar con mayor fuerza en los niveles superiores del filón capa.

Sigue en abundancia el piroxeno, con coloración muy ligeramente verdosa a incoloro, sin pleocroísmo, <sup>alco</sup> carente de formas cristalin <sup>alco</sup> ~~nas salvo unas pocas individuales~~; suele formar grupos entre otros de plagioclasa. En los individuos estudiados se han medido ángulos axiales muy pequeños, alcanzando muchos de ellos a  $0^\circ$ , característica que corresponde <sup>alco</sup> entre los <sup>alco</sup> piroxenos, <sup>alco</sup> la <sup>alco</sup> variedad <sup>alco</sup> pigeonita. No se descarta la posible existencia de otros <sup>alco</sup> clinopiroxenos.

La cristalización del piroxeno fué, por regla general, posterior a la de la plagioclasa pues se produjo en los espacios libres que dejó la última y de aquí que los contactos íntimos entre estos dos minerales, se presentan amoldados respetando la forma de las tablillas feldespáticas.

Sigue en orden decreciente de abundancia magnetita ligeramente <sup>alco</sup> titanífera, de tamaños mayores a los minerales mencionados y de <sup>alco</sup> formas caprichosas. La cristalización tardía de este óxido queda evidenciada por la forma irregular y porque suele englobar a cristales de plagioclasa y piroxeno.

En cantidades aún menores se encuentra <sup>alco</sup> ps <sup>alco</sup> demerfosis de alivina, en granos relativamente pequeños, constituidos por material



clorítico de color verde subido (vidrinita o clorofeita de algunos autores) <sup>con ~~gr~~ tonos pardos rojizos que podrían ser de iddingsita</sup> sin duda, la olivina ha sido el primer mineral en cristalizar. <sup>ya se dijo en las pruebas de laboratorio.</sup>

La cristalización de los líquidos residuales, se produjo por descenso de la temperatura con el gradiente necesario para que no se formara vidrio. <sup>En la</sup> Esta fase final <sup>se caracteriza con los líquidos residuales</sup> se encuentra caracterizada por la cristalización intersticial de: clorita de color verde subido, desarrollada en forma fibrosa normal a los contactos de los minerales que la circunscriben o en forma microgranosa y suele insinuarse a través de las fisuras y clivajes de la plagioclasa y piroxeno; feldespato alcalino en forma microgranosa y fibrosa; cuarzo, micropegmatita y apatita, esta última desarrollada en cristales aciculares, en algunos casos muy largos.

Fig. 2.-Basalto del horizonte 39.  
Textura entre intergranular y subofítica con plagioclasa, piroxeno y magnetita. En la parte superior izquierda pseudomorfosis de olivina y en la parte central, algo a la izquierda clorita fibrosa. Luz paralela, x 50.

No se distingue

En el basalto correspondiente al nivel superior (20) se ha observado lo siguiente:

- a) Aumento con respecto al nivel inferior (30), de minerales residuales y ~~una~~ albitización de la plagioclasa ~~de~~ <sup>de</sup> ~~veas~~ <sup>de</sup> zeolita?
- b) La plagioclasa y el piroxeno se encuentran totalmente frescos como en el nivel inferior.
- c) La magnetita de las zonas marginales a las fisuras de la roca, se ha oxidado originando pigmentos rojizos hematíticos.
- d) La clorita pierde su color verde intenso y pasa al amarillento, por oxidación del ~~contenido en~~ <sup>del</sup> hierro ferroso ~~original~~.

En el lugar ~~donde se afecta~~ <sup>del</sup> perfil N° 1 (véase capítulo correspondiente a suelos rojos) el aspecto del basalto con bandas rojizas en el nivel superior y el de los fragmentos amarillentos rojizos inmediatos a la base del suelo propiamente dicho, inducen al observador a creer que se está en presencia de una evidente meteorización. Sin embargo la observación microscópica detallada de las bandas aparentemente más afectadas muestra que esa supuesta alteración se reduce a una ligera oxidación de la magnetita, que se cumplió en las zonas marginales de los bloques de basalto.

El acceso más libre de agua y aire provocó cáscaras de oxidación en la roca; son coherentes y hacen cuerpo con la misma. La observación microscópica quedó corroborada por los análisis químicos comparativos que se llevaron a cabo en las cáscaras y en las áreas no coloreadas. Las primeras muestran un pequeño aumento de  $Fe_2O_3$  que se manifiesta como un pigmento al cual se debe el aumento del color rojo.

Resulta engañoso apoyarse solamente en el análisis químico cuando se especula sobre fenómenos de meteorización en un perfil, sin tener en cuenta los cambios que puedan deberse a las variaciones de composición mineralógica de la roca. El caso presente es un ejemplo específico; la composición del basalto no es homogénea en los diversos niveles del citado perfil. El nivel 30, como se vió en la descripción, tiene labraderita con una muy reducida albitización, en

cambio en el nivel inmediato superior (20) la albitización es <sup>algo,</sup> mas notable, <sup>conociendo también la supuesta zeolita</sup> produciéndose así una disminución en el contenido en calcio y aluminio con aumento en el de sodio. Además el aumento de líquidos residuales, con la cristalización de feldespato alcalino, entre otros minerales, se manifiesta como un aumento en el porcentaje de potasio.

En cuanto a la relación de hierro ferroso, férrico y total del nivel 20 y 30, se advierte que en el 20 es mayor el <sup>porcentaje de</sup> hierro férrico, el total y algo menor el ferroso. Esta relación coincide con la que podría esperarse de un proceso de tipo laterítico, pero en el caso estudiado el origen se debe a las diferencias mineralógicas y alteración deutérica apuntadas, ya que la fase de cristalización más abundante en el nivel 20 implica una concentración de hierro.

Respecto a la semejanza del contenido en sílice en los dos niveles, ello indica solamente que el grado de diferenciación es leve y responde a que entre las dos muestras no media una marcada diferencia entre leucocráticos y melanocráticos.

El dato de mayor interés para evaluar el origen de los procesos deutéricos, es el aumento evidente de sodio <sup>(ver análisis químico en el capítulo referente a feldespatos)</sup>

*Ver análisis químico en el capítulo referente a feldespatos*



b. Arenisca cuarzosa de San Ignacio

Ubicación geológica

No habiendo encontrado elementos de juicios geológicos, no se puede aportar novedades con respecto a la posición estratigráfica de estas areniscas, cuyos afloramientos (fig. 3) han sido repetidamente citados en la bibliografía. Por ello nos vemos forzados a presentar una revisión sumaria de las principales opiniones existentes <sup>hasta</sup> la actualidad. *sobre las areniscas de Misiones.*

Fig. 3.- Afloramiento de areniscas cuarzosas en San Ignacio, con rumbo E - O y 25° de inclinación.

Se ha considerado a las areniscas de Botacatú (areniscas de Misiones) como el yaciente sobre el cual se extendieron los mantos basálticos de Serra Geral.

Hausen (7), realizó observaciones en varios <sup>localidades</sup> ~~partes~~ de Misiones y describe someramente algunas areniscas y los efectos producidos por el calor de los derrames sobre ellas. Su trabajo contiene una serie de perfiles de perforaciones efectuadas en las provincias de Misiones, Corrientes y Santa Fe, donde puede comprobarse ~~en las mismas~~ ~~partes~~ que las coladas corrieron sobre sedimentos arenosos; además queda establecido que entre aquellas se intercalan arenas y areniscas. Este es el caso de las areniscas de Apóstoles, comprobado en la revisión de los cortes delgados de la colección Hausen, por contener clastos transportados que provienen de rocas basálticas.

La ubicación de las areniscas en el cuadro que sigue se debe a du Toit (15) que así ha interpretado el Permo-Carbonífero y Triásico del Brasil.

Serie de São Bento	{ Eruptivas de Serra Geral: Arenisca de Botucatú Grupo Rio do Rasto	} Triásico
Serie de Passa Dois	{ Estrada Nova (parte superior) Discordancia (hiatus) Estrada Nova (parte inferior): Grupo de Iraty	
Serie de Tubarão	{ Grupo de Palermo Grupo de Bonito	} Carbonífero superior
Serie de Hararé	{ Depósitos Glaciarios Discordancia (hiatus) Basamento	

El trabajo de este autor es aún la base para las especulaciones sobre la edad de las rocas misioneras. En general los geólogos están acordes en aplicar la serie siguiente:



Triásico { Serie de São Bento { Rocas efusivas de Serra Geral, en mantos muy extensos: diabasas y basaltos. Corresponderían a los basaltos del sur de Misiones.

Areniscas multicolores de São Bento. Corresponderían a las areniscas cuarzosas de Misiones.

Serie de Rio do Rasto. Areniscas y arcillas multicolores con restos de madera fósil y reptiles (Scaphonix).

-----discordancia (plano de denudación)-----

Pérmico { Serie de Passa Dois { Capas marinas con Solenomorpha  
Calizas de Roçinho, con fósiles marinos  
Lutitas de Estrada Nova  
Esquistos de Iraty, con Mesosaurus

Serie de Tuberão { Lutitas de Palermo  
Arenisca de Rio Bonito, con mantos de carbón intercalados y flora de Glossopteris.

Serie de Itararé { Conglomerado glaciario de Orleans  
Arenisca amarilla y lutitas

-----discordancia (plano de denudación pregondwanico)-----

Lambert (10) en ocasión del estudio geológico que efectuó en Uruguay, cita a las areniscas de Tacuarembó refiriéndose a las opiniones de Falconer, Walter y du Toit. La descripción es objetiva razón por la cual no se pueden intentar comparaciones con las areniscas de Misiones. ~~Es muy probable que el grupo de las areniscas de Misiones, perteneciente a la formación de las areniscas de Misiones, que se encuentra en el grupo de las areniscas de Misiones.~~

Harrington (6) en un viaje de estudio a la República Oriental del Paraguay, intentó bosquejar la estructura geológica del área oriental de dicho país.

En lo referente a areniscas, describe un grupo que denomina "Areniscas de Misiones" extendidas en una franja central de dirección norte-sur, considerándolas como triásicas y, en una pequeña área situada frente a San Ignacio, otro grupo de areniscas a las



cuales considera dubitativamente cretácicas.

Para el primer grupo establece que:

"En lo que respecta a la correlación de estas areniscas con formaciones similares del Brasil, es evidente que han de equivaler a las areniscas de Botucatú, ya que se sitúan por arriba de la Serie de Independencia (= Rio do Rasto) y por debajo de las eruptivas de Serra Geral.

Las areniscas de Botucatú sensu lato (incluyendo las Capas de Pi-

### Descripción microscópica

Minerales livianos 99,92 %



Esta fracción se encuentra constituida por granos de cuarzo con abundantes inclusiones fluídas irregulares y algunas sólidas de zircón, rutilo, turmalina, apatita y mica; son raros los granos que se ven libres de ellas.

La gran mayoría de los granos de cuarzo tienen extinción uniforme y sólo un pequeño porcentaje muestra extinción ondulada.

Los granos se encuentran cubiertos por una delgada costra silícea visible al binocular. En la sospecha de que ella estuviese formada en parte por sílice coloidal, se trató una porción de la muestra con el reactivo de Milberg y Lunge, pero las costras resistieron la acción del mismo demostrando que se trata de <sup>sílice cristalizada</sup> ~~cuarcita~~; la confirmación se obtuvo por observación microscópica al comprobar la cristalización incipiente de cuarzo secundario, ~~con formación de~~

~~bipiramidas en algunos casos.~~ en partes en forma de ~~bipiramidas~~



Fig. 4.- Arenisca cuarzosa de San Ignacio vista a luz paralela, x 175. El grano muestra claramente el crecimiento de cuarzo secundario.

La parte fina (menor de 61 micrones) es cuarzo finamente subdividido en el cual, ~~conocido~~, la angulosidad ha aumentado considerablemente con respecto a los elementos gruesos.

Nos inclinamos a suponer que el origen del cuarzo secundario debe buscarse en la fracción más fina de la arenisca; el crecimiento secundario no induró suficientemente la roca como debía esperarse en el caso de una introducción de sílice alóctona; por el contrario todo se presenta como si los granos mayores hubieran crecido a expensas de la sílice cedida por la fracción más fina. De esta manera el proceso no tuvo mayores consecuencias sobre la porosidad de la roca. La opinión concuerda con la de Pye y Goldstein.

Minerales pesados 0,08 %

En orden decreciente de abundancia se tiene:

Opacos : magnetita en granos redondeados; hidróxido de hierro.



- zircón : incoloro y rosado; predominan granos redondeados y en menor escala prismas bipiramidados de bordes bien redondeados; algunos muestran zonalidad.
- rutilo : en general rojizo y más escasamente amarillento; los primeros son algó pleocroicos y son escasos los que presentan estrías diagonales. Los granos están redondeados.
- turmalina: parda, verde y rosada. Los granos son muy redondeados; este redondeamiento se hace más evidente cuando el eje cristalográfico es normal a la platina. Si se considera que la forma del cristal es alargada, se verá que la esfericidad está notablemente desarrollada.
- muscovita: láminas redondeadas.
- biotita : parda; láminas redondeadas
- anatasa : amarillenta hasta opaca; subredondeada.
- clorita : verdosa; redondeada.

Los tres últimos minerales son sumamente escasos.

Fig. 5.- Arenisca de San Ignacio vista a luz paralela, x 30. Minerales pesados: magnetita, zircón, rutilo y turmalina.



### Textura y granulometria

Esta arenisca se presenta con estratificación fina, en bandas *de distinta granulometria* que alcanzan hasta 4 mm de espesor. Tal estratificación es más evidente al binocular, donde puede apreciarse que resulta de la intercalación de bandas de grano fino entre otras de *mayor diámetro*.

Aunque el tamaño en sí indique un ambiente lótico de deposición, es evidente que debió haber una cierta alternancia en la fuerza de la corriente que lavó el material, sin alcanzar nunca los caracteres de un ambiente léntico que permitiese la deposición de rangos silt o menores en porcentajes importantes.

Las bandas de granos finos son más compactas que las de granos gruesos; probablemente esto se deba a una simple razón de tamaño.

Fig. 6.- Aspecto de una superficie pulida en la arenisca de San Ignacio, x 6. En la fotografía pueden observarse las bandas de distinta granulometría y la porosidad marcada de la muestra.

Al binocular puede apreciarse que la textura clástica no queda disfrazada por el crecimiento de cuarzo secundario. Esta roca es un ejemplo muy ilustrativo que permite diferenciar al cuarzo secundario del cuarzo detrítico original debido a la existencia de una línea <sup>nitida</sup> que separa a ambos.

Texturalmente, este sedimento que tiene alto grado de selección, se distingue por contener granos <sup>redondeados</sup> ~~subangulosos~~ a redondeados, con superficies despulidas; los lúcientes son excepcionales. Estas características sugieren una acción eólica prolongada.

El análisis granulométrico da:

Arena gruesa	:	0,34	%
Arena mediana	:	25,00	%
Arena fina	:	46,13	%
Arena muy fina	:	17,90	%
Silt	:	8,80	%

La curva correspondiente puede verse en ~~figura 12~~ <sup>figura 13</sup> y los principales elementos estadísticos en el cuadro I.

Es evidente que se está en presencia de una "arenisca pura" antigua; los elementos de diferenciación son ya bien conocidos: alto porcentaje de cuarzo, redondeamiento y selección pronunciados, pobreza en especies y en cantidad de los minerales pesados representados por especies estables y ausencia ~~de óxidos móviles~~ de óxidos móviles. En otras palabras, se trata de una arenisca formada por los minerales estables primarios de las rocas madres que han podido sobrevivir a los procesos de la meteorización, salvo, por supuesto, a aquellos debidos al desgaste propio del transporte.

Krumbein y Sloss <sup>(p. 13)</sup> han definido una "arenisca pura" caracterizándola como se indica en el cuadro que sigue; compárense estas propiedades con las de la arenisca aquí estudiada.

	Arenisca cuarzosa "pura" Krumbein y Sloss	Arenisca de San Ignacio
Composición mineral	: 95 % o más de granos de cuarzo; minerales pesados constituidos por especies estables, tales como turmalina y zircón	91,2 % de granos de cuarzo; en los pesados predomina zircón y turmalina. <sup>magnetita</sup> yrutilo.
Color	: colores claros	rosado
Textura	: formada principalmente por arena gruesa o mediana; buena selección;	formada por arena fina; buena selección; granos bien redondeados; esfericidad al

granos bien redondeados; esfericidad alta; superficie despulida y punteada; cuarzo secundario común.

ta; superficie despulida y punteada; cuarzo secundario.

Matriz y cemento

: matriz, menos del 5 %; cemento silíceo, calcáreo o dolomítico.

matriz 8,8 %, ~~silíceo~~ silíceo.

Fósiles

: ausentes o raros.

ausentes.

Queda sobrentendido que los autores citados no han tenido la intención de fijar cifras absolutas, sino propiedades que oscilan razonablemente dentro de ciertos límites.

Aspectos químicos

La madurez composicional de esta arenisca también puede expresarse en términos químicos si, como se hizo, es sometida a dos ataques diferentes. Primero se efectuó un ataque clorhídrico a fondo, dosando en el filtrado hierro, aluminio, calcio y magnesio; la sílice soluble que pasó en el filtrado se insolubilizó llevando repetidamente a sequedad, con intercalación de ataques clorhídricos y se la agregó al insoluble de la parte no atacada. Otra porción de la muestra fué sometida al ataque fluorhídrico. En el primer caso se obtuvo un insoluble de 97,55 % y en el segundo <sup>se solubilizó así</sup> 97,40 %. Esta diferencia indica <sup>que</sup> las "impurezas" ( parte no silícea) están contenidas intersticialmente, es decir entre los granos.

	Insoluble en clorhídrico.....	97,55 %
	(Si O <sub>2</sub> , por evaporación fluorhídrica....)	97,40 %
	(Hierro en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....)	0,45 %
Por ataque	(Aluminio en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....)	1,80 %
fluorhídrico	(Calcio en Ca O.....)	vestig.
	(Magnesio en Mg O.....)	0,26 %

Quando, como en este caso, se ha revisado al aspecto petrográfico, el análisis químico de la arenisca puede traducirse así: Se trata de una arenisca antigua, indurada de modo incipiente

por la introducción intersticial de cantidades reducidas de hierro, aluminio y magnesio ( 2,51 en total ) y muy poco diagenetizada por ~~arenisca~~ sílice que contribuyó, intraestratalmente, al crecimiento secundario de los clastos en pequeña medida.

### Constantes físicas y datos sobre aplicación práctica

#### Absorción de agua y porosidad

*En esta arenisca de peso específico*

2,22, la cifra porcentual de impregnación se obtuvo primero con el método corriente ( 24 hrs. en agua a temperatura ambiente), alcanzándose a 4,3 %. La porosidad ~~correspondiente, es decir la relación porcentual entre el volumen ocupado por los granos y el ocupado por los poros~~ es de 9,5 %.

Estas magnitudes no reflejan la absorción y porosidad en la muestra "in situ". En un segundo ensayo, la probeta se sometió a agua hirviendo durante media hora; la impregnación alcanzó a 6,7 % lo que elevó la porosidad efectiva a 14,55 %. En este segundo caso la temperatura desplazó más completamente al aire que ocupaba los poros, pero también es evidente que un resultado análogo se conseguiría en la naturaleza en la parte inferior de un complejo, no ya por temperatura sino por efecto de la presión hidrostática.

Los ensayos realizados indican que la arenisca de San Ignacio es muy porosa y tiene por lo tanto la posibilidad de permitir la percolación de agua. De estar asentada sobre rocas impermeables puede inferirse la existencia de un acuífero de cierta importancia en su base.

La permeabilidad medida con un permeabilímetro a aire, alcanzó a 95 milidarceyes, cifra que indica buena permeabilidad de la arenisca ~~por~~ el agua.



### Resistencia a la compresión

Por su textura esta arenisca es poco apta para soportar cargas elevadas. Su resistencia a la compresión alcanza a 320 kilogramos por centímetro cuadrado, medida normalmente a la estratificación.

Teniendo en cuenta el número y grado de ligazón de Hirschwald se aprecia en forma más completa la poca resistencia estructural de la roca. El número de ligazón, considerado en un término medio de 40 recuentos es de 4,5. Dado que una arenisca de ligazón directa oscila entre 50 y 60, la cifra obtenida es muy baja. El grado de ligazón es de 0,30 en las capitas de granos mayores y de 0,60 en las de granos finos.

Como se recordará el grado de ligazón es la relación entre la circunferencia de un grano y la suma de los contactos producidos por los granos que lo rodean; una ligazón total está representada por la unidad.

Fig. 7.- Arenisca cuarzosa de San Ignacio en corte normal a la estratificación x 36. Obsérvese el bajo número de ligazón y la porosidad de la roca.

### Aplicaciones prácticas

La arenisca de San Ignacio es mediodre como material de construcción. Puede empleársela con éxito cuando no se requiere mucha capacidad portante: cordones de aceras, pavimentación de caminos destinados a tránsito de peatones, lajas de recubrimiento para frisos, base para canales de desagüe de poca sección ( en este caso hay que impermeabilizarla con revoques ), etc.

Es poco recomendable para cimientos, salvo que se la emplee generosamente en bloques grandes, supliendo con una mayor superficie y espesor la poca resistencia. Por otra parte tal uso exigiría la intercalación de capas impermeabilizantes. En lajas para recubrimiento resiste razonablemente bien la acción de la intemperie, pero su elevada porosidad hace que retenga humedad, lo que se traduce en un rápido y abundante desarrollo de musgos. De la misma manera es poco recomendable para agregado grueso de hormigón y menos aún para macadám al agua, porque no contiene fracción ligante; al disgregarse se convierte en arena que no puede ser compactada nuevamente.

c. Arenas actuales del río Paraná

Arena de saltación - Posadas -.

El sedimento de referencia (7A) ha sido recogido en el extremo norte de la isla Del Medio, en el río, a 0,60 m de profundidad. Este material se obtuvo con dispositivos especiales, en el momento mismo de cumplirse dicha saltación, vale decir que representa el sexton de un bajo fondo, arrastrado a razón de 59,8 grs. por litro de agua. En otras palabras, se va a describir un material que el río arrastra, inmediato a su fondo, a razón de casi 60 kg. por metro cúbico de agua, en el lugar donde la deposición predomina sobre el arrastre (en condiciones normales del río).

Minerales livianos 98,79%

El cuarzo constituye la casi totalidad de los granos de esta fracción; la mayoría tienen extinción normal y unos pocos presentan extinción ondulada. En la parte más fina hay un ligero aumento en el porcentaje de feldespatos.

Las inclusiones observadas en el cuarzo son: fluídas y sólidas de rutilo, mica, zircón y turmalina.

Los granos formados por agregados de cuarzo y otros de textura más fina (criptocristalina) son muy escasos. De la misma manera es escaso el feldespato representado por ortosa, microclino y plagioclasa.

Minerales pesados 1,21%

En orden decreciente de abundancia se tiene:

- Opacos : magnetita, ilmenita, hidróxido de hierro y escasa hematita.
- cianita : en la asociación de los minerales pesados, éste es el de mayor tamaño en granos prismáticos generalmente muy alargados.

contenida en las arenas pulcherrimas del subsuelo de Buenos Aires tenga origen en el escudo brasileno que provee de este mineral a los materiales actuales transportados por el rio Paraná. 22

Es probable que la cianita ~~de este sedimento~~ tenga el mismo origen que la encontrada en las arenas pulcherrimas del subsuelo de Buenos Aires, explicándose su presencia por la resistencia al transporte y ataque químico.

- clorita : láminas redondeadas, generalmente oxidadas.
- muscovita : láminas redondeadas, algunas con extinción ondulada, otras con inclusiones de óxido de hierro y zircón.
- turmalina : color verde, pardo y rosado; granos prismáticos subangulosos; otros redondeados y esféricos.
- epidoto : granos irregulares con tinte verdoso.
- granate : rosado, granos irregulares; algunos presentan superficies con ángulos entrantes, ~~...~~
- estauroлита: color amarillento a castaño rojizo; granos muy irregulares.
- biotita : láminas generalmente redondeadas de color rojizo; otras parcialmente oxidadas de tonos verdosos.
- augita : granos prismáticos subangulosos de color verde; algunos son variedades titaníferas.
- hornblenda: granos tabulares irregulares; color verde intenso y pardo.
- enstatita : granos prismáticos con extremos irregulares. Se ha observado un grano con cierto tinte bronceado que puede corresponder a la variedad broncita.
- andalucita: granos irregulares y subangulosos; pleocroismo marcado.
- hipersteno: granos menudos prismáticos con pleocroismo característico.
- olivina : granos irregulares.
- zircón : granos menudos redondeados.

Los últimos cinco minerales se encuentran en proporciones muy reducidas.

~~...~~ En esta fracción ~~...~~, se encuentran granos de pastas volcánicas de textura muy fina compuestas principalmente por plagioclasa, piroxeno y óxido de hierro.



Fig. 9.- Arena fluvial de ~~salinación~~ en el extremo norte de la isla Del Medio. Fracción pesada a luz paralela, x 30. Contiene la ilustración: ciánita, biotita, estaurolita, epidoto, turmalina, clorita, magnetita y limonita.

#### Textura y granulometría

Las formas de los granos varían entre subredondeados y redondeados, especialmente la fracción más gruesa; la mayoría son lucientes, lo cual indica un arrastre fluvial. Hay muchos granos que evidencian origen eólico por su alto grado de redondeamiento y por sus superficies despulidas, pero que al ser transportados en medio acuoso están adquiriendo superficies pulidas. En general este material no muestra señales de saltaduras o roturas.

El grado de redondeamiento de los clastos sugiere la existencia de cuarzo de más de un ciclo: a igualdad de tamaño los hay notablemente redondeados junto con otros angulosos, provistos de aristas apenas embotadas. Este mismo fenómeno se observa en los pesados (turmalina y zircón).

La selección de la arena es buena, como puede verse en el cuadro siguiente.

Tamaños	%
<del>          </del> <i>Sábulo</i>	0,26
Arena muy gruesa	0,73
Arena gruesa	9,74
Arena mediana	51,87
Arena fina	36,35
Arena muy fina	0,30

El 88,22 % está comprendida en los rangos arena mediana y fina. La curva correspondiente tiene tendencia sigmoide muy poco pronunciada lo cual sugiere que se está en presencia de un material que originariamente fué seleccionado, en gran parte, por acción eólica.

Resulta muy interesante el paralelismo entre las muestras 7A y 21 (arenisca cuarzosa de San Ignacio). La mayor diferencia consiste en grosores un poco menores en la muestra 21 y en la "cola" de esta última, que se debe a la presencia de material intersticial ~~entre~~ *entre los granos.*

Arena de fondo - Posadas:-.

Esta arena, muestra 9, ha sido recogida a unos 6 km aguas abajo de la Prefectura de Posadas, en la isla Del Loro; forma parte de un pequeño banco marginal que mira hacia la isla Del Medio, tal como se puede apreciar en <sup>la figura 10.-</sup> ~~el croquis de la página 42.~~

Minerales livianos 97,65 %

El cuarzo es, como en todas las arenas estudiadas en este trabajo, el mineral predominante por excelencia; algunos granos presentan extinción ondulada.

Con referencia a las inclusiones llama la atención la gran abundancia de ellas, especialmente las fluidas; son muy raros los granos que no las poseen. En algunos casos estas son tan abundantes que llegan a sombrear <sup>los</sup> ~~los granos~~. Se distribuyen en forma homogénea, o dispuestas en líneas, o corren a lo largo de planos a veces paralelos. Sus formas varían entre las más o menos regulares hasta las notablemente irregulares y grandes.

Las inclusiones sólidas suelen ser abundantes en algunos granos; son de formas prismáticas, aciculares, laminares y granulares. Las especies más comunes son: zircón, rutilo y biotita; en menor proporción las hay de turmalina, apatita y óxido de hierro. Se han observado unas pocas inclusiones con un pleocroismo que recuerda al hipersteno.

Un 2 a 3 % de la fracción liviana está constituida por granos angulosos de microclino y ortosa, generalmente sucios y frescos; hay además fragmentos de pastas basálticas, en algunos casos con base vítrea e impregnación férrica; muy escasos fragmentos de <sup>de grano muy fino</sup> ~~sedimentitas silíceas~~; agregados de cuarzo; granos angulosos de sílice criptocrystalina; granos muy pequeños de labradorita.

Como restos organizados se han encontrado oxeas y strongylos de Uruguay corallioides, células silíceas de gramíneas y muy esca-

sos restos de frústulos de diatoméas indeterminables.

Minerales pesados 2,35 %

No hay selección de tamaño; se han medido granos de zircón de 30 micrones y otros de cianita que llegan a 2,5 mm.

Los minerales, en orden decreciente de abundancia, son:

- opacos : magnetita, ilmenita y limonita.
- cianita : granos prismáticos elongados y menos comunmente cortos.
- muscovita : láminas grandes redondeadas; algunas provienen de la desferrización de la biotita. Hay individuos con extinción ondulada.
- zircón : se presenta en granos idiomorfos y otros redondeados; son comunes aquellos que tienen zonalidad.
- turmalina : en granos idiomorfos y redondeados. En general el pleocroísmo varía dentro del verde, unos pocos dentro del rosado.
- granate : granos irregulares con aristas embotadas; tinte rosado.

Las especies que siguen a continuación resultan más escasas.

- estauroлита: granos irregulares.
- epidoto : granos irregulares.
- hornblenda : granos prismáticos con bordes ligeramente embotados.
- augita : granos subangulosos a subredondeados.
- andalusita : granos irregulares subangulosos.
- clorita : granos redondeados.
- hipersteno : granos prismáticos subangulosos.
- rutilo : granos subredondeados a redondeados.
- enstatita : granos prismáticos subangulosos.
- sillimanita: granos prismáticos con bordes embotados.
- zoisita : granos irregulares subangulosos.
- olivina : grano prismático corto subanguloso.

En ~~la~~ <sup>la fracción</sup> ~~la~~ <sup>la</sup> ~~fracción~~ más fina aumenta considerablemente el porcentaje de zircón. Los granos mayores corresponden a los opacos, cianita, muscovita, estauroлита y turmalina.



Entre los fragmentos de rocas se han observado pastas desvitrificadas basálticas, algunas cloritizadas y otras indeterminables.

Fig. 9.- Arena fluvial de fondo, isla Del Loro inmediata a la Del Medio. Fracción pesada a luz paralela, x 30. Contiene la ilustración: magnetita, limonita, hornblenda, cianita, muscovita, estauroлита, zircón, turmalina y clorita.

#### Textura y granulometría

Esta arena se encuentra bien seleccionada y se diferencia principalmente de la vecina (7A), por la existencia de una pequeña "cola" de silt cuya presencia se explicará en el capítulo referente a génesis sedimentaria.

El porcentaje de rangos es el siguiente.

Tamaños	%
<del>arenas</del> Sábulo	0,07
Arena muy gruesa	0,61
Arena gruesa	16,87
Arena mediana	50,70
Arena fina	21,54
Arena muy fina	6,73
Silt	3,39



Los granos de la fracción arena gruesa son redondeados a muy redondeados con evidentes señales de decantillamiento. Como en la arena anterior, a igualdad de tamaño los hay notablemente redondeados junto con otros más o menos angulosos. Las mismas características se presentan en la turmalina y zircón.

Hay una fracción que es límpida y luciente, y otra formada por granos sucios; esta última tiene una textura de superficie semejante a la observada en la arenisca cuarzosa de San Ignacio.

Arenas de fondo - Corrientes -

Estas arenas, muestras 7 y 8, no han sido recogidas in situ; representan el material que explota una empresa, dragando en los alrededores del Puerto de Corrientes. La draga transporta el material extraído por cañerías hasta la costa y lo vuelca sobre un plano que tiene 30° 30' de inclinación.

De esta manera se puede considerar que estas arenas representan un común del material contenido en el ~~lecho~~<sup>lecho</sup> del río.

La nueva selección producida artificialmente es la que proporciona las dos fracciones que se utilizan comercialmente. La muestra 8 es el material depositado en las inmediaciones de la tubería de salida y explotado como arena gruesa; la muestra 7 es el material que se deposita hacia los bordes del plano decantador.

Minerales livianos 98,00 % (fracción arena)

El cuarzo es el mineral predominante; algunos granos presentan extinción ondulada. También los hay formados por agregados. Sigue en abundancia sílice criptocristalina. El feldespato es muy escaso y está representado por microclino, ortosa y plagioclasa ácida en granos subangulosos.

En el cuarzo hay inclusiones fluidas muy abundantes en algunos granos; están distribuidas homogéneamente, en líneas o en planos. Las inclusiones sólidas están representadas por biotita, turmalina, rutilo, zircón, apatita e hipersteno (?).

El recorrido de las fisuras de algunos granos se encuentra impregnado por hidróxido de hierro.

Minerales pesados 2,00 %

Minerales en orden decreciente de abundancia.

- opacos : granos lucentes y redondeados de limonita<sup>(oetitas)</sup>, junto con otros de magnetita.
- cianita : granos alargados, hasta de 3 mm.

- turmalina : granos que conservan sus formas cristalinas, ligeramente redondeados y granos muy redondeados.
- muscovita : láminas grandes redondeadas; en una lámina se han observado abundantes inclusiones de sillimanita.
- granate : rosado, en granos subredondeados.
- zircón : en granos idiomorfos y otros muy redondeados.
- biotita : en láminas pardas y verdes redondeadas.
- estauroлита: granos irregulares, subangulosos.
- augita : granos irregulares, subangulosos.
- epidoto : granos irregulares, subangulosos
- clorita : granos irregulares, subangulosos
- zoisita : granos irregulares, subangulosos.
- hematita : grano irregular, subanguloso.
- titanita : grano más o menos idiomorfo.

Entre los pesados hay abundantes fragmentos de pastas vítreas, en algunos casos desvitrificadas; otros granos provienen de rocas basálticas con textura intergranular.

Textura y granulometría

Las características granulométricas están reunidas en el cuadro siguiente.

Muestra 7		Muestra 8	
Tamaños	%	Tamaños	%
<del>Sábulo</del> Sábulo	0,47	Grava fina	4,44
Arena muy gruesa	1,03	<del>Grava gruesa</del>	<del>4,44</del>
Arena gruesa	20,57	<del>Sábulo</del> Sábulo	6,59
Arena mediana	60,88	Arena muy gruesa	12,42
Arena fina	16,35	Arena gruesa	20,55
Arena muy fina	0,35	Arena mediana	47,19
		Arena fina	8,59
		Arena muy fina	0,04

El material grueso es (hasta gránulos) muy poco homogéneo tanto en lo que respecta a grado de redondeamiento como a esfericidad; junto con elementos bien redondeados se encuentran otros en los cuales apenas han comenzado a borrarse las aristas principales. Cohe-



xisten clastos de alto grado de esfericidad con otros que dan cifras muy bajas; se encuentran juntos rodados silíceos y arena cementada por hidróxido de hierro que difícilmente resistirían un transporte muy prolongado. Al lado de elementos de formas compactas y macizas existen otros, tales como las oetitas de formas alargadas, gráciles y huecas; elementos de superficie muy pulida se encuentran junto a otros de superficie deslustrada. Todo esto está indicando claramente un sedimento de mezcla, que podríamos llamar de transición hacia otro más estable.

Para el aspecto y composición de la fracción <sup>grava</sup> ~~arenosa~~ y arena véase la lámina II.



d. Grava actual del río Uruguay

La muestra 20 es un ejemplo de la fracción gruesa de los depósitos <sup>en</sup> de transición del río Uruguay, en la extremidad de la isla situada frente al Destacamento de Barra Concepción.

Llama la atención el hecho que esta grava se encuentra compuesta por dos partes bien diferenciables entre sí, ~~caracterizadas por sus~~ ~~texturas~~. La primera está constituida por grava de areniscas muy finas silicificadas inmaduras con impregnación férrica, en clastos subangulosos y grava basáltica de textura microgranosa con predominio de óxido de hierro, en clastos subredondeados a redondeados. La segunda, por grava silícea con predominio de sílice criptocrystalina sobre cuarzo, en clastos que van de formas angulosas a redondeadas; véase lámina III.

Si se diferencian ambas porciones en porcentaje se tiene:

Tamaños en milímetros	Grava de areniscas silicificadas y de rocas basálticas	Grava de sílice
35 a 20	67 %	33 %
20 a 5,5	53 "	47 "
5,5 a 4,7	44 "	56 "

Como puede apreciarse, el material de la primer columna disminuye a medida que decrece el tamaño, mientras que el de la segunda aumenta. Como se verá en génesis, es la grava basáltica un ~~elemento~~ <sup>elemento</sup> importante en la contribución de elementos magnéticos a la fracción arena y silt.

Minerales livianos 94,78 % (fracción arena)

El porcentaje mayor corresponde al cuarzo en la fracción más gruesa; muchos granos presentan gran cantidad de inclusiones fluidas y las hay también sólidas de rutilo. Al cuarzo le sigue <sup>en</sup> abundancia la calcedonia; es común hallar formas con bandeamiento (ágate), pero en cambio son raras las esferulitas radiales. A veces se encuentra intensamente impregnada por hidróxido de hierro y en esos

~~este~~ el clasto toma aspecto parecido a un jaspe.

~~En la fracción más fina,~~ En la fracción más fina, predominan los fragmentos de pastas ~~de~~ hialopiliticas provenientes de los basaltos; hay también fragmentos de vidrio pardo con índices mayores y menores de 1,54; en menor proporción se observan granos de las areniscas silicificadas ya citadas. En cantidades muy

~~pequeñas~~ <sup>pequeñas</sup> hay feldespatos potásico, labradorita, andesina y oligoclasa.

De la misma manera que la muestra 9, <sup>parte de</sup> este acarreo fluvial ha estado sometido en cierto momento a un ambiente léntico, por que ~~la~~ la fracción fina <sup>contiene</sup> abundante cantidad de macrocleras de Uruguay corallioides; en general están muy bien conservadas y son pocas las que se presentan corroídas por solución o rotas por choque. A estas acompañan una escasa cantidad de frústulos de diatomeas: Navicula cf cuspidata Kütz; Cocconeis placentula Ehr.; Fragillaria, Synedra, Denticula y Bidulphia. El sedimento también contiene caparazones de un silicoflagelado, restos de células de gramíneas y tejidos vegetales incompletamente oxidados.

#### Minerales pesados 5,22 %

Opacos : 70 % de magnetita en granos angulosos y limonita.

augita : 28 %, en granos con tendencia prismática, algunos <sup>angulosos,</sup> ~~de~~ color pardo verdoso; pocos granos insinúan una alteración clorítica.

El 2 % está formado por material clorítico, hornblenda, zoisita, hipersteno, lamprobolita y zircón, en granos subangulosos.

#### Textura y granulometría

La selección se encuentra representada en la curva M 20 de fig. 13 y resumida en el cuadro <sup>I.</sup> ~~que se adjunta.~~

A continuación se detalla la distribución del material por tamaño



Grava mediana y fina	67,67
<del>Grava gruesa</del>	<del>1,74</del>
<del>Grava muy gruesa</del>	<del>0,77</del>
Sábulo	6,91
Arena muy gruesa	9,74
Arena gruesa	8,64
Arena mediana	5,76
Arena fina	0,77
Arena muy fina	0,23
Silt	0,24

Las dos fracciones del material grueso (~~grava de areniscas-grava basal-~~  
~~tica y grava silícea~~) <sup>en general,</sup> tienen, alto grado de redondeamiento pero el coeficien-  
te de esfericidad es mucho más elevado en la fracción silícea.

~~La superficie~~ <sup>de los clastos silíceos</sup> muestra abrasión y a-  
demás formas de solución, en cambio los clastos de rocas ~~silíceas~~  
~~muestran solamente~~ el primer proceso.

En la fracción arena el cuarzo (en los rangos mayores) tiene  
formas que van de subredondeadas a redondeadas, mientras que en la  
calcedonia las formas van de subangulosas a angulosas. Estas últi-  
mas formas son las que predominan en el material compuesto por ~~clastos~~  
~~de rocas efusivas.~~

La fracción fina de la arena está siendo <sup>transportada</sup> ~~transportada~~ por sal-  
tación y por lo tanto sus granos <sup>se encuentran en un proceso de fragmenta-</sup>  
~~ción;~~ es por <sup>ello</sup> ~~ello~~ que contrasta el material grueso con el fino  
de este sedimento.

Los principales parámetros estadísticos, como así también el  
resumen granulométrico y el contenido en pesados de las muestras  
descriptas, pueden consultarse en el cuadro <sup>I.</sup> ~~siguiente.~~

CUADRO I

Mues- tra No	SEDIMENTO	Md	Q <sub>1</sub>	Q <sub>3</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>k</sub>	Grava % en peso	Sábulo % en peso	Arena % en peso	Silt % en peso	Minera- les % peso	Minera- les pesa- dos % peso
7 A	Arena de acarreo en el río Para- ná C.de Posadas	0,27	0,22	0,36	1,28	1,08	-	0,26	99,23	-	98,79	1,21
7	Arena de aca- rreo en el río Paraná C.de Corrientes	0,33	0,26	0,45	1,31	1,07	-	0,47	99,18	-	97,82	2,18
9	Arena de acarreo de Isla del Loro en río Paraná, Posadas	0,32	0,22	0,43	1,40	0,93	-	0,07	96,45	3,39	97,65	2,35
21	Arenisca cuar- zosa de San Ignacio	0,19	0,12	0,24	1,41	0,79	-	-	89,33	8,84	99,91	0,08
8	Idem a 7	0,44	0,31	0,9	1,70	1,44	4,44	6,59	88,79	-	98,00	2,00
20	Grava de acarreo en el río Uruguay en Barra Concep- ción.	6	1,80	2,31	2,62	0,61	67,67	6,91	25,14	0,24	94,78	5,22*

\* Entre los minerales pesados hay un porcentaje elevado de granos de origen basáltico que por su alto contenido en óxidos de hierro, tienen un peso específico mayor de 2,82.





e. Génesis de los sedimentos

Arenisca cuarzosa de San Ignacio

Para interpretar la génesis de la arenisca cuarzosa de San Ignacio, conviene tratar de ubicarlas dentro de las grandes unidades geológicas de Sudamérica.

Es sabido que los cratógenos son regiones estables y positivas; ellos han sido fuente permanente de materiales sedimentarios sujetos a procesos prolongados e intensos que los modificaron profundamente en su composición mineralógica y química. El producto final resultante dista mucho de semejarse a los primeros materiales, poco modificados por las fases tempranas de la destrucción de la roca madre.

Este es el caso de las areniscas de <sup>San Ignacio</sup> Misiones, ~~provincia~~ ubicada en las márgenes del cratón brasileño.

Esta arenisca ~~de San Ignacio~~, nació en el cratógeno mencionado; en gran parte ha vivido, por así decirlo, sobre este escudo estable, desplazándose por etapas. Después de una larga vida alcanzó la madurez al perder los óxidos móviles; en su composición sólo se encuentran ahora los minerales más estables, capaces de soportar por su tenacidad e inalterabilidad, una larga meteorización y transporte.

En regiones donde la corteza estable mantiene un perfil de equilibrio, los depósitos se han desarrollado sin ser sepultados por otros durante largo tiempo y de este modo tienen la posibilidad de ser repetidamente retransportados y modificados en aspectos fundamentales.

El estudio de la arenisca de San Ignacio revela un material que en estados anteriores perteneció a depósitos de mayor complejidad mineralógica. Como se ha dicho, fue sometida a meteorización, repetidos transportes y nuevas deposiciones; en otras palabras, la arenisca tratada representa un resto de sedimentos removidos.

Para determinar la naturaleza de las rocas de las cuales proviene su componente principal, el cuarzo, se ha empleado el tipo de inclusiones y el carácter de la extinción de acuerdo con los estudios realizados por Mackie, Gilligan, Gayeux y Tyler.

Estos autores sostienen que el cuarzo con inclusiones irregulares (fluidas) y aciculares son de origen granítico, mientras que las regulares indican un origen metamórfico. En el presente caso parte del cuarzo proviene de rocas graníticas y parte de metamórficas. Este doble origen puede deberse a la existencia del complejo cristalino arcaico formado por granitos, gneises y esquitos, surcado por drenajes que presumiblemente han arrastrado materiales hacia el sur.

Liberados los materiales de la roca madre por la primer etapa de meteorización, la abrasión inició el proceso de reducción de tamaño, pero la textura actual de los granos se debe a que por lo menos en alguna o algunas de las etapas hubo transporte eólico; esto queda evidenciado por la textura de superficie despaldada. Mas tarde parte del material terminó por depositarse en ambiente fluvial de poca corriente, con intermitencia muy pequeña e intervalos muy cortos en la velocidad del agua, dando origen a una alternancia en el tamaño de los granos que se tradujo en una estratificación fina.

No se puede determinar con exactitud el coeficiente de reducción de tamaño, porque es desconocida la textura de la roca madre; dos aspectos permiten especular sobre el tema:

1º.- El tipo de la roca madre, entre las cuales hay granitos y gneises, da una idea aproximada del tamaño original de los granos.

2º.- Se conoce el tamaño actual de los granos de la arenisca, en la que predominan los finos ( 125 a 250 micrones).

De esto puede deducirse que la reducción de tamaño ha sido intensa y como el cuarzo es un mineral de gran tenacidad, resulta evidente que actualmente lo encontramos alejado de su fuente de origen.

Contribuye a sostener este criterio el hecho de que todas estas rocas tienen un porcentaje considerable de feldespatos, mineral que no entra en la composición de la arenisca.

Los análisis petrográfico y químico revelan que esta arenisca contiene especies minerales muy estables, que no contiene óxidos móviles, y que es de textura fina, con granos subredondeados a redondeados compuestos por cuarzo en más del 95 %. En otras palabras, se está en presencia de un ejemplo muy claro de sedimento textural y composicional<sup>mente</sup> maduro, que ha sufrido varios ciclos sedimentarios y que fué originado ~~en una región estable de relieve bajo~~ por una meteorización prolongada, sobre una región estable de relieve bajo.

Las características anteriores señalan la presencia de una arenisca indudablemente antigua y en ella se demuestra una vez más que la complejidad mineralógica es función inversa de la edad geológica.

Una vez depositada como arena en el lugar donde se encuentra actualmente, sufrió una muy ligera diagénesis, específicamente una reorganización autigenética, puesto que se cumplió a través del crecimiento secundario de un mineral que ya estaba en la roca. La introducción de hidróxido de hierro, alúmina y magnesio, no puede considerarse como un proceso diagenético, sino como simple agregado de un material cementante extraño.

Cementación y diagénesis no induraron mucho el material, que se presenta como una roca relativamente friable. El caso de una arenisca cuarzosa poco indurada, no indica necesariamente que ella sea una roca geológicamente joven. Ya se conocen algunas areniscas ordovícicas del valle del Mississippi y otras del jurásico del Colorado que se encuentran poco induradas.

Como producto actual, todos los fenómenos explicados formaron una arenisca caracterizada por colores claros, buena selección, bien lavada (desprovista de material arcilloso), formada por minerales

estables primarios con predominancia de cuarzo, por productos de precipitación química a partir de soluciones silíceas que cristalizaron como cuarzo secundario y por la introducción posterior de hierro, aluminio y magnesio.

Esta arenisca ha comenzado un nuevo ciclo geológico, pues en la actualidad está cediendo sus elementos para componer una parte de los sedimentos fluviales en tránsito.



## 2.- Los arrastres fluviales

### Arenas del Parana en Posadas y Corrientes

Conviene que el lector relea previamente las características de las arenas 7A + 9 (ciudad de Posadas) y 7 - 8 (ciudad de Corrientes).

Por su composición y textura puede afirmarse que estas arenas contienen minerales provenientes de varias fuentes, como se señala en el cuadro siguiente.

- |                                                                              |                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 19. <u>Sedimentos redepositados</u><br>(Areniscas de la Serie de Sao Bentos) | : cuarzo en granos despulidos y redondeados.<br>turmalina, zircón, rutilo y magnetita en granos bien redondeados. |
| 20. <u>Eruptivas</u><br>(Efusivas de Serra Geral y basamento)                | : cuarzo, augita, hornblenda (?), micas, hipersteno, enstatita, olivina y granos de pastas.                       |
| 30. <u>Metamorficas</u><br>(Basamento)                                       | : cuarzo, micas, cianita, estaurólita, andalucita, sillimanita y hornblenda (?).                                  |

El alto porcentaje en cuarzo indica que estas arenas provienen de fuentes ya enriquecidas en este mineral.

Estas arenas, en su mayor parte, provienen de las formaciones mesozoicas sedimentarias surcadas por el alto Paraná y sus afluentes en el Estado de Sao Paulo (Brasil). Los minerales del basamento derivan de los afloramientos que ocupan áreas relativamente pequeñas en las zonas de Caldas Novas, Corumbaiba y alrededores. Los minerales originados en rocas efusivas fueron cedidos por las extensas regiones basálticas que el río atraviesa en su curso superior (Brasil) y en su curso medio (Paraguay y Misiones).

La complejidad mineralógica indicada en la descripción, muestra claramente que se trata de un sedimento moderno en tránsito.

En este caso, el río actúa como integrador; a los minerales estables moderadamente estables, del basamento, se agregan, aguas abajo, minerales estables de



las areniscas antiguas (mesozoicas) y minerales menos estables cedidos por rocas efusivas básicas.

En todos los acarreos actuales del río Paraná, llama la atención la ausencia de apatita; este mineral es moderadamente estable, mientras no se encuentre en contacto con aguas bicarbonatadas. Como se verá en el capítulo referente a aguas superficiales todas ellas contienen  $\text{CO}_3\text{H}^-$  lo cual explicaría dicha ausencia.

Ahora, aunque fuera de lugar, se hará una digresión que puede tener interés.

Obsérvese que en el canal situado frente a Posadas entre esta ciudad y las islas Del Medio y Del Loro, las arenas 7A y 9 tienen prácticamente la misma selección, a pesar de haber sido recogidas en las márgenes opuestas del canal, a 200 m de distancia una de otra, tal como se muestra la figura 10.

*Fig. 10. Esquema de ubicación de las muestras obtenidas entre las islas Del Medio y Del Loro. La muestra 10 (arenisca seleccionada ferruginosa) es la base donde se asientan transitoriamente los arrastres del río.*

Esto muestra la excelencia de los razonamientos deducidos a partir de métodos granulométricos; el lector verá que la arena 9 tiene una "cola" de finos que alcanza aproximadamente a un 20 % del total, pero también debe observar que la misma muestra proviene de un pequeño banco marginal, en cuya constitución interviene una parte limosa mas fina, que es precisamente la causante de esa "cola".

Lo esencial es comprender que, cuando se comparan arenas

de un mismo ambiente, valiéndose de su curva de selección, no deben tenerse en cuenta las pequeñas diferencias de los extremos, sino las semejanzas en el recorrido mayor de las curvas.

Durante su transporte una arena es arrastrada y redepositada muchas veces. Todos los sedimentos cumplen un ciclo geológico antes de llegar a su estabilización final con caracteres muy diferentes a los que poseían en un principio; de la misma <sup>forma</sup> ~~po~~dría decirse que las arenas cumplen microciclos durante su arrastre antes de llegar a constituirse en rocas coherentes y estabilizadas. El ejemplo de las muestras 7A y 9 es precisamente uno de los pasos de este microciclo.

La fracción con restos organizados en la muestra 9, que no aparece en la vecina 7A, esta indicando que la primera ha formado parte de un banco costero, poblado por gramíneas y ciperáceas y en el cual el ambiente ha sido relativamente léntico. Como puede apreciarse y como ya se ha dicho las pequeñas "colas" de finos que aparecen en muestras tales como la 9, son producto de un ambiente muy localizado y transitorio.

En las arenas de Corrientes (muestras 7 y 8) la asociación mineralógica es semejante a la recién descrita.

Si se compara la granulometría de las arenas en ambas localidades se obtiene una selección parecida; como principales diferencias pueden citarse:

- a.- En las arenas de Corrientes hay una pequeña fracción de material más grueso.
- b.- En las mismas ha aumentado el porcentaje de granos limpios y lucientes con respecto a las de Posadas.
- c.- Contienen mayor porcentaje de granos formados por agregados de cuarzo.
- d.- Presentan granos que originalmente han sido limpios y lucientes, pero que ahora muestran una impregnación de hidróxido de hierro a lo largo de fisuras. Esta impregnación se produjo en un ambiente sedimentario oxidante.
- e.- Hay granos de superficie despulidas que están ahora en...



*proceso de pulimento.*

f.- Contienen tambien un porcentaje mayor de silice cripto-cristalina.

En general puede creerse que la granulometria del arras-tre de un rio es función directa de la altura a que se haya reco-gido la muestra, sin tener en cuenta que una corriente de agua de extenso recorrido suele deslizarse sobre un verdadero mosaico geológico.

Cuando el rio principal y sus afluentes arrancan nuevos ma-teriales elásticos, resulta muy claro que pueda haber un aumento en el tamaño del grano en puntos que están más alejados de sus cabeceras. Esto es lo que sucede en el rio Paraná a la altura de la ciudad de Corrientes, donde ya se han incorporado y se incor-poran clastos que provienen de las areniscas del Terciario su-perior ubicadas entre Posadas y Corrientes.

Grava del río Uruguay en Barra Concepción

La complejidad geológica de las zonas recorridas por los cursos superiores de estos ríos se refleja en el contenido mineralógico de sus sedimentos. El Paraná contiene minerales que provienen de rocas sedimentarias, eruptivas y metamórficas, mientras que en el Uruguay esta complejidad es menor.

La grava del río Uruguay se encuentra constituida por areniscas muy finas silicificadas (probablemente terciarias) y por basaltos en los cuales se han observado alveolos ocupados por cuarzo criptocristalino. Esto, unido a la presencia de calcedonia libre indica que este material proviene de tales rocas.

Si se comparan, en la composición, los arrastres entre el Paraná y Uruguay, es evidente que ellos difieren en ambos ríos. En el primero están representados por cuarzo, con cantidades subordinadas de calcedonia y granos de rocas efusivas; en el segundo predominan en cambio clastos de areniscas finas silicificadas, fragmentos de rocas efusivas y calcedonia, siendo el cuarzo el subordinado.

Comparando, en el río Uruguay, los porcentajes de los distintos tamaños con la cantidad de magnéticos contenido en cada uno de los rangos se tiene.

Tamaños (mm)		%	Magnéticos	
35	-	20	4,11	0,00
20	-	5,5	48,48	1,52
5,5	-	4,760	2,98	4,54
4,760	-	1,981	19,01	1,42
1,981	-	1	9,74	1,21
1	-	0,590	6,63	1,74
0,590	-	0,246	7,77	3,49
0,246	-	0,124	0,77	22,58
0,124	-	0,061	0,23	47,45
<0,061			0,24	40,61

Como se vé a medida que disminuyen los tamaños aumenta el porcentaje de magnéticos. Si se tiene en cuenta que la observación muestra en los tamaños mayores a los magnéticos como formando parte, en alto porcentaje, de rocas basálticas, es evidente que estos aumentan



como consecuencia de la destrucción mecánica de esas rocas. Por razón de simple densidad se depositan rápidamente y quedan retrasados con respecto al resto de los componentes. De esa manera resulta lógicamente la acumulación de magnéticos en los sedimentos del río.

La curva granulométrica no es típica; indica solamente un acarreo grueso muy mal seleccionado. Con este solo elemento, difícilmente se podría <sup>establecer una</sup> diferencia <sup>entre</sup> la muestra y los depósitos marginales de rodados tan abundantes a lo largo del río Uruguay.

Para relacionar los sedimentos antiguos con los acarreos actuales, se puede recurrir a la comparación de los histogramas de figura 12. *Fig. 12. Comparación entre los sedimentos antiguos y los acarreos actuales*

Esta figura contiene tres grupos muy diferentes de sedimentos. Uno es el de las arenas actuales 7A, 9 y 7-8; otro es el de la arenisca cuarzosa antigua 21; el tercero es la grava actual 20.

En las arenas actuales el componente principal (módulo) está sin excepción entre 1/2 y 1/4 de milímetro; en la arenisca cuarzosa de San Ignacio se desplaza hacia los finos entre 1/4 y 1/8 de milímetro; la grava actual es bimodal.

Es decir que se está en presencia de un sedimento antiguo seleccionado; de sedimentos actuales que aprovechan parcialmente el material del sedimento antiguo y que reciben además aporte de rocas efusivas y de sedimentos arenosos terciarios.

La grava representa típicamente un material inmaduro.

Las curvas granulométricas de los sedimentos estudiados se ilustran a continuación, en la figura 13.

*Fig. 13. Curvas granulométricas de los sedimentos clásticos de la región estudiada.*



### III. Los suelos rojos

Se llama suelo al complejo horizonte superior compuesto por una mezcla en la que intervienen clastos de rocas aún incompletamente alteradas, productos de meteorización y materia orgánica.

Esta mezcla forma una cubierta poco coherente, en la cual se pueden establecer interrelaciones genéticas tanto entre los diversos horizontes en que está dispuesta como entre los mismos y la roca madre que les sirve de soporte; este último aspecto en carácter dubitativo.

Claro es que la definición anterior no tiene carácter general; es aplicable a los suelos que están in situ con respecto a la roca madre. Con más precisión, es aplicable a un suelo de la serie alitica, <sup>o</sup>suelo rojo laterítico en su etapa de madurez. No se discutirá aquí si el carácter de un suelo depende del substrato o del clima que produce la intemperización del mismo con los consiguientes cambios físico-químicos. Nos inclinamos a creer, junto con muchos autores que el clima es el principal factor modelador del suelo pero es muy posible que Jenny (8) esté en lo cierto al afirmar que el sistema suelo queda definido por una serie de variables independientes, indispensables todas ellas, tal como lo estableció en su cuadro de 1941:

Variables independientes	Clima <u>cl</u>
que definen al sistema	Organismos <u>o</u>
suelo	Relieve <u>r</u>
	Roca madre <u>p</u>
	Tiempo <u>t</u>

Vale decir que para una determinada combinación de cl, o, r, p y t el estado del sistema suelo queda fijado y solo ese sistema puede existir con esa combinación.

El sur de Misiones está recubierto por dos clases principales de suelos, bien diferenciables entre sí. Las partes altas y bien drenadas tienen suelos arcillosos rojos, de tipo laterítico, mien-

tras que los bajos con drenaje pobre están ocupados por un material limoso que recuerda a los suelos forestales pardos.

Antes de comenzar la descripción de los primeros (los suelos pardos se estudiarán en campañas posteriores) conviene establecer el alcance que se da aquí a laterita y suelo laterítico por el libre empleo de estos términos ha provocado bastante confusión en la bibliografía.

En su trabajo de 1807 Buchanan (1) dió el nombre de laterita a un material arcilloso indurado por hierro; este autor fué influenciado principalmente por el hecho de que la roca se empleaba, recordándola, para obtener ladrillos de construcción. Desde ese entonces algunos autores la consideraron como formando parte de un horizonte indurado exclusivamente por hierro, mientras que otros insistieron en que la laterita debe contener un porcentaje alto de  $Al_2O_3$ . Dado que en los climas tropicales y subtropicales es frecuente la acumulación de hierro y aluminio en un horizonte común, resulta cierto que ambas tendencias tenían algo de razón en sus afirmaciones.

Más adelante Fox (3) sugirió muy acertadamente que: "si una laterita contiene tanta alúmina como para que pueda empleársela como mena de aluminio, debería llamársela bauxita". Cuatro años más tarde Martín y Doyne (4) propusieron el empleo de la relación  $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$  en fracción arcilla para diferenciar ambas rocas; una relación baja es indicio de alúmina libre y, si esa relación es menor de 1,3 el suelo debe denominarse laterítico. Posteriormente se ha empleado la relación sílice / sesquióxidos como más aproximada a la realidad.

Hoy día casi todos los geólogos consideran como laterítica a un material siltico o arcilloso que incluye pisolitas de hierro, con cantidades subordinadas de  $Al_2O_3$ , duro, de textura concrecional.

Pendleton, gran estudioso de los suelos tropicales, remarca que el empleo de laterita debe ajustarse a la definición de Buchanan: "Es el material de un horizonte aluvial, compuesto en

gran parte por óxido de hierro hidratado, con textura escoriácea unas veces y pisolíticas otras, de una dureza tal que permite ser extraído para su empleo como material de construcción". Como se notará, parecería que estamos prácticamente describiendo el horizonte de "tacurú" desarrollado entre los niveles -0,72 y -1,26 m. en el camino de Posadas a Barra Concepción. Por esto adoptamos la denominación recién dada para laterita. Si, en cambio, la roca está compuesta por  $Al_2O_3$  y sólo contiene cantidades subordinadas de hierro, se hablará de una bauxita. Un suelo laterítico presenta un nivel de acumulación de sesquióxidos; también puede suceder que el nivel de acumulación de  $Fe_2O_3$  no sea el mismo que el de  $Al_2O_3$ , como sucede en el segundo perfil de este trabajo. De todos modos, un suelo laterítico presenta un (ocasionalmente dos) horizontes de acumulación de sesquioxidos que puede encontrarse en la parte superior como costra, o también en el espesor del perfil como sucede en Misiones.

El "tacuru" que compone el citado horizonte es muy variable en lo que se refiere al contenido en hierro; salvo en muy raros casos, este catión predomina evidentemente sobre aluminio. La relación entre  $Fe_2O_3$  y  $Al_2O_3$  también puede variar mucho. En el cuadro que sigue damos algunos análisis obtenidos de los archivos de la D.N. de Geología y Minería que muestran la amplitud de la citada variación.

<u>Tacurú de:</u>	<u>San Javier</u>	<u>Apóstoles</u>	<u>Santo Tomé</u>	<u>Santa Ana.</u>
SiO <sub>2</sub>	43,86	38,67	26,68	23,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,99	14,14	12,74	----
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	53,10	11,76	18,32	61,0
Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	vest.	0,00	0,00	2,3
CaO	0,00	vest.	vest.	----

Entendemos que no se debe emplear la expresión bauxita laterítica en el caso de estar en presencia de una roca en la cual la alúmina sobrepase en poca cantidad al óxido de hierro porque bauxita y laterita son el resultado de meteorización en climas que

tienen diferente alternancia de períodos secos y lluviosos; no solamente son diferentes entre sí ambas especies, sino que representan, per se, diferentes ambientes y por lo tanto diferente marcha de la meteorización que las originó.

Ya ha sido demostrado, por Rubio (12), al buscar fuentes de aluminio en Misiones, que por ahora no se puede hablar de bauxita en esa provincia. Los análisis de este autor muestran un típico material laterítico, con muy escasa preponderancia en aluminio, y nos parece oportuno transcribir uno que sirva de ejemplo.

"Muestra de tierra colorada"  
 "Procedencia: Territorio de Misiones"  
 "Pueblo de San Pedro"

(Silíceo en) $\text{SiO}_2$ .....	41,979	%
Hierro y aluminio en $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	54,439	%
Aluminio en $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	28,308	%
Hierro en $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	26,131	%
Calcio en $\text{CaO}$ .....	0,123	%
Magnesio en $\text{MgO}$ .....	0,483	%
Potasio.....	Muy poca cantidad	
Titanio.....	" "	"
Fósforo.....	" "	"
Litio.....	Vestigios	
$\text{Al}_2\text{O}_3$ soluble en reactivo de Lunge, en 2 horas a $98^\circ\text{C}$ .....	2,930	%

Entre nuestros edafólogos hay autores (4) que niegan carácter laterítico al suelo rojo misionero, como se desprende de la siguiente transcripción: "A pesar de la riqueza de partículas finas, estos suelos no acusan las propiedades típicas de los arcillosos. Por el contrario, tienen consistencia deleznable y estructura amorfa o masiva, condiciones que los hacen muy apreciables desde el punto de vista agrícola."

En tal comportamiento influye la calidad de la fracción arcillosa compuesta por una parte importante de hidróxido de hierro y su estado de floculación debido a la insaturación del complejo coloidal. Tienen, sin embargo, una capacidad de adsorción de bases relativamente elevada, alrededor de 10 milli-equivalen-

tes por 100 de tierra, o sea de 20-30 % para la fracción arcillosa. Esta propiedad de la arcilla, lo mismo que su alto valor para la relación  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ , así también como la ausencia de alumina libre en cantidad apreciable, son determinantes que señalan a los suelos rojos misioneros como no perteneciendo al grupo de las lateritas."

Sin embargo, hay actualmente una concordancia casi completa entre los edafólogos al afirmar que las rocas, cualquiera que sea su carácter, producirán suelos lateríticos con liberación de óxidos hidratados de hierro y aluminio si están expuestas un tiempo suficientemente largo a meteorización química en clima tropical o subtropical.

La desintegración, movilización y acumulación de los productos resultantes variará según que el clima sea continuamente húmedo o alternadamente húmedo y seco. Sherman (43) al estudiar la génesis de arcillas lateríticas ricas en alúmina, tuvo ocasión de trabajar en las islas Hawaii durante mucho tiempo y en muy diversas condiciones de clima. Encontró que las alternancias de lluvia y sequedad se traducen en acumulaciones en las que predominan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sobre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mientras que, con clima continuamente húmedo, la predominancia se cumple en favor del  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Como ya se ha dicho, el sur de Misiones cumple los requisitos del primer caso. El cuadro ~~de~~ **II** es una modificación del publicado por el autor citado; responde muy bien a la secuencia observada en el terreno y tiene la ventaja de dar al lector una imagen del ciclo de meteorización tal como se lo concibe en la zona estudiada.

Cuadro **II** . . . *Ciclo de meteorización de rocas basálticas en clima húmedo y alternadamente húmedo y seco.*

Toca ahora describir los perfiles de suelo rojo; para visualizarlos conviene consultar los perfiles de laminas **IV** y **V**. Para el aspecto químico se dispone de un doble análisis en cada caso: uno



expresado en óxidos y efectuado sobre el total de la muestra; otro efectuado sobre la fracción menor de 2 mm. (tierra fina) de cada horizonte. Este último es el resultado de extracción clorhídrica de acuerdo a la técnica habitualmente seguida por los edafólogos.

Ya se sabe que en edafología una cosa es roca madre, y muy otra, el yaciente. En el perfil que sigue, se ha llamado yaciente a los basaltos M 13 y M 14, sobre los cuales se encuentra asentado el complejo del suelo. Está ubicado en el perfil edafológico para ajustarse a los requerimientos de la especialidad. En este caso es específico (Perfil Nº 1) la observación de campaña muestra un suelo asentado sobre el basalto de la cantera Lopez Torres, separado del mismo por una transición brusca como se ve en la figura 13. Vale decir, se trata de un suelo de acarreo. En la zona, hay acumulaciones grandes de materiales clásticos asentados en las depresiones del basalto, y también ellas han contribuido a formar suelos. La observación microscópica de la muestra M 14 (basalto del nivel inferior) indica que los minerales componentes de la roca se encuentran totalmente frescos. En la muestra del nivel siguiente (M 13), fisurada en bloques, la magnetita y clorita todavía se mantienen inalteradas en el interior de los mismos pero, en las situaciones inmediatas a las fisuras se observa ya una oxidación que forma zonas de impregnación; este fenómeno se traduce en el desarrollo de películas rojizas en el recorrido de las fisuras. En cambio, la plagioclasa de este mismo nivel está fresca, indicando que no ha cedido alúmina.

Revisando la fracción gruesa (mayor de 2mm) en las muestras M 11 y 12, que pertenecen al suelo propiamente dicho, se notan los mismos fenómenos en los fragmentos de basalto: la plagioclasa está fresca mientras que la magnetita y clorita están ligeramente oxidados. De estas consideraciones se desprende que la roca pudo enriquecer parcialmente al suelo en hierro, pero no en alúmina. Dicho de otro

modo, el hierro ha sido aportado en gran parte de otros lugares y en minima parte del yacimiento, mientras que la alúmina proviene totalmente de otros lugares, Compárense los tenores en hierro y aluminio en los cuatro niveles del perfil N° 1.

Las objeciones anteriores demuestran que las ganancias y pérdidas en óxidos no son reales y que ellas no pueden deducirse del simple análisis del perfil como muchas veces se ha hecho en la bibliografía. A pesar de ello nos parece ilustrativo comparar las magnitudes en sílice, hierro y aluminio para dar la idea de su distribución en un suelo rojo laterítico resultante de acarreo.

Perfil N° 1. En las inmediaciones de la cantera López Torres, Posadas. Análisis sobre el total de la fracción menor de 2 mm (porfirizada y disgregada).

Muestra N°.....	Suelo propiamente dicho		Yacimiento	
	11	12	Basalto con costros rojizas	Basalto fresco
Nivel.....	0,00-0,27 m	0,27-0,50 m	0,50-1,07 m	1,07- ? m
Agua a 300°.....%	8,60	9,24	2,04	1,56
Pérdida a 900° C (materia orgánica, agua, etc. menos agua a 300° C)...."	4,80	5,16	1,60	0,34
Sílice en SiO <sub>2</sub> ....."	40,35	35,00	47,20	47,55
Hierro ferroso en FeO....."	5,68	5,16	8,67	9,34
Hierro férrico en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....."	17,13	19,48	8,69	4,96
Aluminio en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....."	14,90	15,70	9,22	11,83
Titanio en TiO <sub>2</sub> ....."	0,38	0,20	0,23	0,38
Manganeso en MnO....."	0,06	0,06	0,06	0,05
Niquel....."	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Cobalto....."	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Calcio en CaO....."	2,76	2,28	9,47	10,92
Magnesio en MgO....."	1,68	2,08	5,92	6,69
Potasio en K <sub>2</sub> O....."	0,77	1,11	1,06	0,87
Sodio en Na <sub>2</sub> O....."	1,57	1,38	3,40	2,60
Azufre (S)....."	vest.	0,19	0,24	0,24
Fósforo en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ....."	0,90	0,90	1,58	1,58
Cloruros en Cl....."	0,30	0,25	0,42	0,28
Hierro total en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....."	23,42	25,20	18,30	15,36

Si en el perfil se hace el análisis de la parte suelta del suelo (fracción menor de 2 mm.), sin porfirización previa, atacando con ClH diluido 1:10 tal como se estila en la técnica edafológica, se obtiene un resultado muy diferente. Esto es lógico porque

las partículas cercanas a dos milímetros resultan inatacadas; casi siempre ellas están compuestas por pequeños fragmentos basálticos aún no descompuestos totalmente. El resultado de tal análisis se dá en el cuadro que sigue.

Perfil Nº 1. En las inmediaciones de la cantera López Torres, Posadas. Análisis sobre la fracción menor de 2 mm. sin porfirizar (óxidos solubilizados por ClH 1:10 sin haber modificado el estado de agregación del material).

Muestra Nº.....	11	12
Nivel.....	0,00-0,27	0,27-0,50
Pérdida a 900º C (materia orgánica, agua, CO <sub>2</sub> , etc.)....%	13,40	14,40
Insoluble en ClH 1:10....."	53,97	51,29
<u>Soluble en ClH 1:10</u>		
Sílice (SiO <sub>2</sub> ).....%	0,27	0,84
Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )....."	16,09	17,45
Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )....."	14,46	14,50
Manganeso (MnO)....."	0,06	0,06
Titanio (TiO <sub>2</sub> )....."	0,28	0,14
Calcio (CaO)....."	0,62	0,41
Magnesio (MgO)....."	0,77	0,64
Sodio (Na <sub>2</sub> O)....."	0,03	0,03
Potasio (K <sub>2</sub> O)....."	0,05	0,06
Anhídrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )....."	0,07	0,07
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )....."	0,075	0,075

El perfil Nº 2 presenta un caso diferente al anterior porque en el lugar se observa una transición gradual entre la roca madre y los horizontes del suelo. Se lo obtuvo en el camino de Posadas a Barra Concepción, a 22 km. de Posadas. Allí, el basalto ya totalmente alterado (nivel de M 19) todavía conserva las formas originales; es lástima que el corte no alcanzase al basalto fresco, para haber dispuesto así de una serie completa. Si bien es cierto que el basalto fresco aparece por debajo del suelo en lugares muy cercanos no se ha querido relacionarlo con el perfil para que él no resulte falseado por posibles variaciones locales que pudiese presentar la roca.

La serie se presenta como sigue.

- M 15.- De 0,00 a 0,18 m. Capa de laboreo; con algunas concreciones cementadas por hidróxido de hierro ("tacurú"); restos vegetales abundantes; color parduzco.
- M 16.- De 0,18 a 0,72 m. Textura migajosa, fácilmente disgregable; pequeñas concreciones de "tacurú", redondeadas y más abundantes que el horizonte anterior.
- M 17.- De 0,72 a 1,33 m. Horizonte de acumulación; concreciones muy abundantes y bien desarrolladas en tamaño.
- M 18.- De 1,33 a 1,94 m. Horizonte areno-arcilloso; con franjas más arcillosas (más plásticas) de color amarillento verdoso.
- M 19.- De 1,94 a 2,20 m y sigue. Basalto totalmente alterado; los bloques resultantes de agrietamiento se conservan en su posición original, como pedazos de color rojo amarillento punteados de blanco; disgregable a la presión de los dedos.

Si se evalúan los óxidos sobre el total de la muestra, se tiene.

Perfil Nº 2.- En el camino de Posadas a Concepción, a 22 km. de Posadas. Análisis sobre el total de la fracción menor de 2 mm. (porfirizada y disgregada).

Muestra Nº....	15	16	17	18	19
Nivel.....	0,00-0,18	0,18-0,72	0,72-1,33	1,33-1,94	1,94-2,20
Agua a 300º C. %	6,60	7,17	8,90	5,37	5,79
Pérdida a 900º C descontada el agua a 300º C."	4,30	5,40	3,55	5,00	8,02
Sílice en SiO <sub>2</sub> ."	37,43	37,32	25,97	50,93	31,80
Aluminio en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....."	16,85	9,73	5,00	11,94	13,98
Hierro férrico en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ....."	27,68	32,03	50,47	20,22	31,23
Hierro ferroso en FeO....."	0,46	0,94	0,46	0,23	2,37
Titanio en TiO <sub>2</sub> ."	3,23	3,40	3,00	3,30	3,15
Calcio en CaO."	0,33	0,73	0,44	0,41	0,20
Magnesio en MgO....."	1,03	1,59	1,63	2,02	1,56
Manganeso en MnO...;....."	0,52	0,62	0,10	0,26	0,46
Sodio en Na <sub>2</sub> O."	0,11	1,91	0,21	0,03	0,37
Potasio en K <sub>2</sub> O."	0,15	0,20	0,07	-	-
Asufre en S..."	0,19	0,33	0,27	vest.	0,20
Fósforo en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ..."	0,008	0,009	0,006	0,007	-
Cloruros en Cl."	0,16	0,15	0,10	0,14	0,29

El mismo perfil, hecho el análisis con la técnica del ácido clorhídrico diluido, da el siguiente resultado.

Análisis sobre la fracción menor de 2 mm. ("tierra fina")

Muestra No.....	15	16	17	18
Nivel.....	0,00 - 0,18	0,18 - 0,72	0,72 - 1,33	1,33 - 1,94

Pérdida a 900° C. (mat.org., agua, CO <sub>2</sub> , etc.).....%	10,90	12,57	12,45	10,37
Insoluble en ClH 1:10....."	62,15	55,50	59,53	63,36

Soluble en ClH 1:10

Silice (SiO <sub>2</sub> )...%	0,05	0,17	0,49	0,60
Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).."	19,63	22,58	20,00	14,84
Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).."	5,86	8,16	4,80	9,66
Manganeso (MnO).."	0,15	0,17	0,10	0,26
Titanio (TiO <sub>2</sub> ).."	0,83	0,55	0,41	0,28
Calcio (CaO)...."	0,07	0,04	0,18	0,09
Magnesio (MgO).."	0,18	0,31	0,32	0,31
Sodio (Na <sub>2</sub> O)...."	0,02	0,02	0,03	0,03
Potasio (K <sub>2</sub> O)...."	0,05	0,06	0,03	no cont.
Anhídrico sulfú- rico (SO <sub>3</sub> )....."	0,07	0,04	0,07	0,02
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ).."	0,008	0,009	0,004	0,003



#### IV. A s p e c t o s   h i d r o l ó g i c o s

##### a. Aguas superficiales

En este capítulo se tratará de establecer la medida en que intervienen los ríos principales en la movilización de los óxidos. El material disponible (11 muestras) es por ahora insuficiente para intentar estudios completos, pero su revisión permite establecer algunas conclusiones interesantes.

La primera es que una corriente de agua de sección suficientemente grande no fluye como cuerpo de agua único en lo que se refiere al arrastre químico. Se desea destacar el aspecto químico puesto que, como es sabido, no constituye ninguna novedad establecer que el cuerpo de agua está diferenciado en las diversas formas del arrastre físico.

Las muestras destinadas a la diferenciación se obtuvieron simultáneamente en la superficie de la corriente (parte media) y a 2/3 de la altura de la sección, donde el agua fluye con mayor velocidad; estas últimas son las llamadas "agua intermedia" en la descripción que sigue.

En la expresión de los resultados analíticos se ha seguido el temperamento habitual. Las bases se consideran como cationes ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , etc.); a ellas corresponden radicales ácidos ( $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , etc.). Hasta aquí, y salvo el inevitable error analítico por pérdida, los resultados son exactos. En cambio, solo se tiene una muy relativa seguridad al considerar como se combinan los anteriores para formar sales y la expresión "combinaciones probables" refleja exactamente lo que ella significa: una combinación que es químicamente posible, pero no comprobada con respecto a su existencia real en el agua estudiada.

Algunos casos presentan una razonable seguridad. La sílice,

por ejemplo, es arrastrada como ión  $\text{SiO}_3^-$  perteneciente a silicatos que han sido solubilizados por  $\text{CO}_3\text{H}^-$  presente en el agua. Esto parece ser cierto dada la marcha analítica seguida: el agua se filtra para eliminar el insoluble, se deja reposar el filtrado hasta eliminación de turbidez si la hay y se sifona para obtener un líquido límpido sobre el cual se efectuará la marcha analítica; queda sin embargo la duda de que podría estar como  $\text{SiO}_2$  coloidal que ha pasado a través del filtro y que no es aparente en el filtrado debido a la pequeñez de la cantidad existente. Como disgresión y para que otros no cometan el mismo error, se establece que es ilusorio intentar demostrar la presencia de  $\text{SiO}_2$  coloidal en muy pequeñas cantidades valiéndose de un turbidímetro o del haz de Tyndall porque en la naturaleza no existen aguas ópticamente limpias, ni aún después de haber sido sometidas a varias filtraciones comunes.

El calcio y magnesio, pertenecientes a combinaciones insolubles, son movilizadas como bicarbonatos solubles, y como tal se los expresa en la combinación probable con un margen grande de seguridad.

El hierro y el aluminio no están presentes en las aguas estudiadas; su ausencia se explica poco más adelante.

En aguas tan poco mineralizadas como las tratadas es difícil asegurar cual es la combinación real de los cationes y aniones, máxime si se tiene en cuenta que, debido a la gran dilución, buena parte de las sales en tránsito deben estar disociadas.

Como anterior, se quiere significar que se concede poco valor a las combinaciones probables. De todos modos, sean reales o no, ellas reflejan con exactitud analítica la cantidad de iones movilizadas y, dado que su empleo permite visualizar con mayor facilidad los volúmenes transportados, se ha preferido utilizarlas.

Las muestras recogidas están agrupadas como sigue para su mejor comprensión.

Un conjunto destinado a mostrar las diferencias entre el agua superficial y la intermedia, en un lugar del río Paraná próximo a la ciudad de Corrientes.

1A.-Agua de superficie del río entre las islas Meza y Del Medio, a 3 km. aguas arriba de la Subprefectura de Corrientes. Mayo 13 de 1958.

2A.-Agua intermedia en el mismo lugar.

Un conjunto destinado a mostrar las diferencias entre el agua superficial y la intermedia en un lugar próximo a la anterior. Se ha agregado el agua de un arroyo de la zona para comparar la diferencia del arrastre de sales con respecto al agua del río Paraná.

3A.-Agua de superficie del río Paraná, sobre el banco de arena situado a 2 km. aguas arriba de la Subprefectura de Corrientes. Mayo 13 1958.

4A.-Agua de fondo del río, sobre el mismo banco anterior, a 1,10 m. de profundidad. Si se exceptúa el arrastre de materia en suspensión puede considerársela comparable al agua intermedia dada la escasa profundidad del lugar. Mayo 13 1958.

8A.-Agua de superficie del arroyo Itá-ambé, a 2 km. aguas adentro de su desembocadura en el río Paraná. Mayo 15 de 1958. ~~(Incluido en el conjunto)~~

Un conjunto destinado a mostrar las diferencias entre el agua de superficie y la intermedia en el río Paraná, a 2 km. aguas arriba de la Subprefectura de la ciudad de Posadas.

5A.-Agua de superficie en el canal principal del río en el lugar señalado. Mayo 16 1958

6A.-Agua intermedia a 6 m. de profundidad en el mismo punto. Mayo 16 1958.

Una muestra destinada a apreciar el porcentaje de material arrastrado por saltación en un lugar poco profundo; es útil también para apreciar posibles diferencias con respecto a las muestras 5A y 6A.

7A.-Agua de fondo del río Paraná, a 0,60 m. de profundidad, en el banco formado por la punta norte de la isla Del Medio, aguas abajo de la Subprefectura de Posadas. Transporta, por saltación y arrastre, 59,8 o/oo de arena. Mayo 16 1958.



Un conjunto destinado a apreciar las diferencias entre las aguas del río Uruguay en Barra Concepción, las de un arroyo inmediato y las de la primera napa.

- 9A.-Agua de superficie del arroyo Concepción, a un km. de su desembocadura en el río Uruguay (Subprefectura de Barra Concepción) Mayo 17 de 1958.
- 10A.-Agua de superficie del río Uruguay, en el canal principal, frente al destacamento de Barra concepción. Mayo 17 1958.
- 11A.-Agua de la primera napa; pozo del poblador L. Antunez, en Barra Concepción, ubicado a unos 30 m. de la costa del río. La napa corre a 5 m. de profundidad; el pozo ha sido excavado en el relleno que recubre al basalto. Esta napa tiene caracter influyente sobre el río. Mayo 17 1958.



Un conjunto destinado a apreciar las diferencias entre las aguas del río Uruguay en Barra Concepción, las de un arroyo inmediato y las de primera napa.

- 9A. Agua de superficie del arroyo Concepción, a un kilómetro de su desembocadura en el río Uruguay (Subprefectura de Barra Concepción). Mayo 17 1958.
- 10A. Agua de superficie del río Uruguay, en el canal principal, frente al destacamento de Barra Concepción. Mayo 17 1958.
- 11A. Agua de la primer napa; pozo del poblador L. Antunez, en Barra Concepción, ubicado a unos 30 m. de la costa del río. La napa corre a 5 metros de profundidad; el pozo ha sido excavado en el relleno que recubre al basalto. Esta napa tiene carácter influente sobre el río.

	1A (g/l)	2A (g/l)
Reac. a la fenolftaleina en frío .....	ácida	ácida
" " " " " caliente .....	alc.debil	alc.debil
Residuo seco a 110 °C .....	0,050	0,048
Oxidabilidad (O <sub>2</sub> consumido en medio ácido).....	0,042	0,047
Dureza total, en CO <sub>3</sub> Ca .....	0,030	0,035
Alcalinidad de bicarbonatos, en CO <sub>3</sub> Ca.....	0,025	0,025
Bicarbonatos (CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> ).....	0,030	0,030
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> ) .....	0	0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ).....	0,003	0,003
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ).....	0,012	0,011
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	vest.	vest.
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	0	0
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	0	0
Calcio (Ca <sup>++</sup> ).....	0,008	0,014
Magnesio (Mg <sup>++</sup> ).....	0,003	vest.
Sodio (Na <sup>+</sup> ) calculado.....	0,005	0,003
Potasio (K <sup>+</sup> ).....	0	0
Hierro (Fe <sup>++</sup> ).....	0	0
Aluminio (Al <sup>+++</sup> ).....	0	0
Fluor (F <sup>-</sup> ).....	0	0
Arsénico (As).....	0	0
Vanadio (V).....	0	0
Sílice (SiO <sub>2</sub> ).....	0,0015	0,0015

COMBINACIONES PROBABLES.

Bicarbonato de Magnesio (CO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> ) Mg	0,015	---
Bicarbonato de calcio (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub> Ca	0,023	0,040
Sulfato de calcio SO <sub>4</sub> Ca	0,007	0,014
Sulfato de sodio SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub>	0,009	0,002
Cloruro de sodio ClNa	0,005	0,006

ARRASTRE ANUAL DE SALES DISUELTAS, EN TONELADAS

Bicarbonato de magnesio .....	7.426.728	
Bicarbonato de calcio .....	11.387.649,6	19.804.608
Sulfato de calcio .....	3.465.806,4	6.931.612,8
Sulfato de sodio .....	4.456.036,8	990.230,4
Cloruro de sodio .....	2.475.576	2.970.691,2
Totales.....	29.211.796,8	30.697.142,4

Arrastre anual total, término medio 29.954.469,9 toneladas.



	(g/l)	$\frac{4A}{(g/l)}$	$\frac{8A}{(g/l)}$
Reac. a la fenolft. en frío .....	ácida	ácida	ácida
" " " " " caliente .....	alc. déb.	alc. déb.	alc. déb.
Residuo seco a 110 °C .....	0,052	0,040	0,048
Oxidabilidad (O <sub>2</sub> consumido en medio ácido .....	0,043	0,039	0,052
Dureza total, en CO <sub>3</sub> Ca .....	0,025	0,020	0,020
Alcalinidad de bicarbonatos, en CO <sub>3</sub> Ca .....	0,025	0,020	0,020
Bicarbonatos (CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> ) .....	<del>0,030</del>	0,024	<del>0,024</del>
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> ) .....	0	0	0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) .....	0,003	0,003	0,003
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) .....	0,011	0,009	0,011
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	vest.	vest.	0
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	0	0	0
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	0	0	0
Calcio (Ca <sup>++</sup> ) .....	0,010	0,008	0,008
Magnesio (Mg <sup>++</sup> ) .....	vest.	vest.	vest.
Sodio (Na <sup>+</sup> ) calculado .....	0,007	0,006	0,007
Potasio (K <sup>+</sup> ) .....	0	0	0
Hierro (Fe <sup>++</sup> ) .....	0	0	0
Aluminio (Al <sup>+++</sup> ) .....	0	0	0
Fluor (F <sup>-</sup> ) .....	0	0	0
Arsénico (As) .....	0	0	0
Vanadio (V) .....	0	0	0
Sílice (SiO <sub>2</sub> ) .....	0,0015	0,0015	0,0015
	<u>0,0575</u>		<u>505</u>

COMBINACIONES PROBABLES

Bicarbonato de calcio (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca .....	0,040	0,032	0,032
Sulfato de sodio SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> .....	0,016	0,014	0,017
Cloruro de sodio ClNa .....	0,005	0,006	0,006

ARRASTRE ANUAL DE SALES DISUELTAS, EN TONELADAS

Bicarbonato de calcio .....	19.804.608	15.843.686,4
Sulfato de sodio .....	7.921.843,2	6.931.612,8
Cloruro de sodio .....	2.475.576	2.970.691,2
Totales .....	<u>31.202.027,2</u>	<u>25.745.990,4</u>

Arrastre anual total, de  
 3A y 4A (río Paraná), en  
 término medio..... 28.474.008,8 toneladas



	$\frac{5A}{(g/l)}$	$\frac{6A}{(g/l)}$
Reac. a la fenolftaleína en frío.....	ácida	ácida
" " " " " caliente.....	alc.déb.	alc.déb.
Residuo seco a 110 °C.....	0,048	0,044
Oxidabilidad (O <sub>2</sub> consum. en medio ácido...)	0,055	0,047
Dureza total en CO <sub>3</sub> Ca.....	0,020	0,025
Alcalinidad de bicarbonatos, en CO <sub>3</sub> Ca.....	0,025	0,025
Bicarbonatos (CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> ).....	0,030	0,030
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> ).....	0	0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ).....	0,003	0,003
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ).....	0,010	0,009
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	vest.	vest.
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	0	0
Amoniaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	0	0
Calcio (Ca <sup>++</sup> ).....	0,008	0,010
Magnesio (Mg <sup>++</sup> ).....	vest.	vest.
Sodio (Na <sup>+</sup> ) calculado.....	0,009	0,006
Potasio (K <sup>+</sup> ).....	0	0
Hierro (Fe <sup>++</sup> ).....	0	0
Aluminio (Al <sup>+++</sup> ).....	0	0
Fluor (F <sup>-</sup> ).....	0	0
Arsénico (As).....	0	0
Vanadio (V).....	0	0
Silicé (Si O <sub>2</sub> ).....	0,0016	0,0016

COMBINACIONES PROBABLES

Bicarbonato de calcio (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub> Ca.....	0,032	0,040
Sulfato de sodio SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> .....	0,015	0,012
Bicarbonato de sodio CO <sub>3</sub> HNa.....	0,008	--
Cloruro de sodio ClNa.....	0,006	0,006

ARRASTRE ANUAL DE SALES DISUELTAS, EN TONELADAS

Bicarbonato de calcio.....	11.160.572	15.075.840
Sulfato desodio.....	5.203.440	4.162.752
Bicarbonato de sodio.....	2.775.168	
Cloruro de sodio.....	2.081.376	2.081.376
Totales	21.160.656	20.119.968

Arrastre anual total, termino medio..... 20.640.312 toneladas

suponiendo que en Corrientes se escurriera anualmente la misma cantidad de agua que en Posadas, esa agua contendría un exceso de 346.876,013 toneladas de sales.



3,0061 CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> - 7. = unid. geol. Sec. 112  
Rio Uruguay 64

Arroyo Guapeán Napa

	<u>2A</u> (g/l)	<u>10A</u> (g/l)	<u>11A</u> (g/l)
Reac. a la fenolf. en frío.....	ácida	ácida	ácida
" " " " " caliente.....	alc.déb.	alc.déb.	alc.déb.
Residuo seco a 110 °C.....	0,078	0,052	0,350
Oxidabilidad(O <sub>2</sub> consum.en medio aci. do).....	0,056	0,061	0,039
Dureza total, en CO <sub>3</sub> Ca.....	0,035	0,030	0,180
Alcalinidad de bicarbonatos en CO <sub>3</sub> Ca.....	0,025 x	0,025 x	0,075 x
Bicarbonatos (CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> ).....	0,030	0,030	0,091
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> ).....	0	0	0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ).....	0,003	0,003	0,057
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ).....	0,029	0,011	0,021
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>=</sup> ).....	0	0	0,100
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>=</sup> ).....	0	0	0
Amoniaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	0	0	0
Calcio (Ca <sup>++</sup> ).....	0,013	0,011	0,048
Magnesio (Mg <sup>++</sup> ).....	vest.	vest.	0,011
Sodio (Na <sup>+</sup> ) calculado.....	0,013	0,006	0,042
Potasio (K <sup>+</sup> ).....	0	0	0
Hierro (Fe <sup>++</sup> ).....	0	0	0
Aluminio (Al <sup>+++</sup> ).....	0	0	0
Fluor (F <sup>-</sup> ).....	0	0	0
Arsénico (As).....	0	0	0
Vanadio (V).....	0	0	0
Sílice SiO <sub>2</sub> .....	0,0023	0,0019	0,0037
	<u>0,0853</u>	<u>0,0879</u>	<u>0,3577</u>

COMBINACIONES PROBABLES

Bicarbonato de magnesio (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub> Mg...		0,065
Bicarbonato de calcio (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub> Ca.....	0,040	0,049
Sulfato de calcio (SO <sub>4</sub> Ca) <sub>2</sub> .....	0,010	0,030
Cloruro de calcio CaCl <sub>2</sub> .....		0,076
Cloruro de sodio (ClNa).....	0,006	0,014
Sulfato de sodio (SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> ).....	0,032	0,137
Nitrato de sodio (NO <sub>3</sub> Na).....		0,137

ARRASTRE ANUAL DE SALES DISUELTAS EN TONELADAS

Bicarbonato de calcio.....	2.850.854,4
Sulfato de calcio.....	213.814,08
Sulfato de sodio.....	926.527,68
Cloruro de sodio.....	427.628,16
<u>Arrastre anual del Uruguay.....</u>	<u>4.418.824,32 toneladas</u>

Ahora se verá como intervienen las aguas superficiales de la región estudiada en la movilización de algunos iones. El primer hecho que llama la atención es su pobreza en calcio, catión que está comprendido dentro de los ocho elementos principales de la litósfera.

Los minerales de calcio no silicatados más importantes en la constitución de la litósfera son: calcita, aragonita, dolomita, yeso, anhidrita, fluorita y el grupo de las apatitas. Los dos primeros son los más comunes en la naturaleza, pero en este caso ellos no constituyen la fuente de Ca arrastrado por las corrientes de agua; tampoco proviene de yeso ni anhidrita, minerales que pertenecen al grupo de los evaporados grupo que, como ya se ha dicho no existe en la zona estudiada ni tampoco aguas arriba de la misma, por razones de clima.

En la región el calcio proviene fundamentalmente de las rocas efusivas; ~~en las lavas y en las lavas~~  
~~efusivas~~, En ellas, está contenido principalmente en las plagioclasas y en los piroxenos.

En estas condiciones la única forma soluble es la de bicarbonato, resultante del contacto prolongado con aguas que contienen  $CO_2$  libre, y así lo moviliza la meteorización química, Una parte queda en los hidrolizados de la cubierta edafológica (véase los análisis de suelos págs. 52-53), retenido por adsorción; el resto es arrastrado por las corrientes de agua en pequeña cantidad. En los análisis químicos todas ellas resultan muy pobres en calcio.

Es común que en aguas de escurrimiento superficial no contaminadas por pasaje a través de evaporitas, el contenido en calcio sea mayor que en sodio. Aquí esto no se cumple porque las corrientes no atraviesan zonas grandes con calizas ni calcáreos que cedan el catión con mayor facilidad, sino que fluyen sobre ~~lavas~~ efusivas de más difícil meteorización. Por otra parte el volumen de agua es-

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA GEOLOGIA DE LA MARGEN DEL RIO URUGUAY EN LA PROVINCIA DE CORRIENTES.

Battaglia, A.A.C. (1950) Carpeta 74 (Servicio de Aguas Subterranas INGM)



Reciente	Holoceno	Fluvial fragmentos angulosos	0,5	a	1
		Medanos	6	a	8
		Sedimentos (redepositados arcillo-arenosos)	3	a	5
Cuartario	Pleistoceno Pampeano	Redadas del Uruguay (generalmente en relieves altos)	1	a	4
		limo pardo rejizo	1	a	4
PLIOCENO	Araucano	Arenas rojas con letnes de redadas silíceas	6	a	15
		Arcillas arenosas (Greda Araucana)	4	a	8
		Congl. del Uruguay (con silicio-ferruginoso)	1	a	4,5
		Arenas y Areniscas ferruginosas con abundante madera fosil	3	a	9
MIOCENO	Fray Bentes	Calcareo brechoso	3	a	7
		Areniscas silíceas	↓ Estratificación diagonal		
TRIASICO	Serra Geral	Basaltos	??		

currida es de mucha magnitud, tanto como para esperar la dilución que comprueba el análisis.

### Hierro

En soluciones muy ácidas, de pH 3 ó menor, el hierro puede subsistir como  $Fe^{++}$  en presencia de oxígeno. En la naturaleza una acidez tan elevada sólo puede presentarse excepcionalmente como fenómeno local. El caso común, que es el <sup>que</sup> casi siempre se cumple, es el de la precipitación como hidróxido férrico cuando el medio dispone de  $O_2$ .

Por otra parte, se sabe que al neutralizar una solución ácida alcanzando pH 5,3 lo primero que precipita es el hierro con el tan típico hidróxido coloidal "color rojo ladrillo".

Las aguas del Paraná y del Uruguay están por arriba del punto neutro; tienen pH entre 7,5 y 8, y son bien oxigenadas. No es de esperar entonces que transporten hierro en solución porque en esas condiciones este elemento ha sido precipitado. Su arrastre se cumple en suspensión y falta por lo tanto en un agua que ha sido filtrada antes de ser sometida a la marcha analítica.

Es probable que una parte de estos precipitados haya contribuido a la formación de las tan típicas "cáscaras" de las ostitas y clastos de cubierta ferruginosa (Lám. II) comunes en el terciario que comienza a aflorar desde el norte de la provincia de Corrientes. Otra, debe haber sido fijada por la demanda biológica de las diatomeas y otros organismos del seston. En este aspecto la opinión queda apoyada por los resultados que obtuvo Cordini ( 2 ) al analizar el común de un mes de arrastre en suspensión del Rio de La Plata. El citado autor encontró que el arrastre medio en suspensión entre el 21 de Febrero y el 21 de Marzo alcanzó a 0,1894 o/oo en peso; es separable por decantación en una parte que se deposita a

las 24 horas de reposo (0,1762 o/oo) y otra que permanece en suspensión coloidal (0,0132 o/oo). Analizadas ambas porciones en conjunto obtuvo:

Por litro de agua (o/oo)

Peso en seco (110<sup>o</sup> C).....0,1894  
Pérdida al rojo, total.....0,0192  
Agua.....0,0173  
Materia orgánica.....0,0019

Ataque clorhídrico

Insoluble en HCl, secado a 110<sup>o</sup> C.....0,1462  
Hierro y aluminio en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.....0,0231  
Calcio en CaO.....0,0011  
Magnesio en MgO.....0,00185  
Alcalis en NaO.....0,00183  
Agua y materia orgánica (por diferencia).....0,0150

Ataque sulfo-nítrico, en el residuo del ataque clorhídrico.

Insoluble en sulfo-nítrico (sec. a 110<sup>o</sup> C).....0,1157  
Hierro y aluminio en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.....0,0232  
Calcio en CaO..... vest.  
Magnesio en MgO.....0,0010  
Alcalis en NaO.....0,0050  
Agua.....0,0013

Los basaltos de Misiones actúan como roca madre proveedora de hierro; ~~esta roca es muy estable y su movilización no se cumple al estado de solución o, dicho de otra manera no es arrastrado por las corrientes superficiales al estado de dispersión molecular.~~

Al meteorizarse la roca parte del hierro queda como mineral residual muy estable y parte como residuo precipitado; se redeposita localmente en concentraciones elevadas y bien podría decirse gráficamente que el ión hierro va quedando atrás respecto a los otros iones.

### Aluminio

Al igual que el hierro, el aluminio es elemento oxífilo. Se lo encuentra en la naturaleza en forma de combinaciones oxigenadas. En la región, la plagioclasa de los basaltos es la fuente principal de aluminio.

La movilización se cumple por *ataque* del feldespato en aguas con  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , pero en su mayor parte el aluminio no es arrastrado lejos porque precipita como hidróxido cuando esas aguas, por pérdida de carbónico, alcanzan un pH cercano a 7. Una parte del precipitado queda como hidróxido; otra contribuye a formar arcilla y ambas porciones se acumulan en el horizonte laterítico del suelo.

Existiría la posibilidad que las aguas arrastrasen pequeñas cantidades como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  solubilizado, puesto que la alúmina sólo precipita cuantitativamente en los alrededores del punto neutro; entre este y pH 4 hay precipitación parcial y parte queda soluble; lo mismo pasa entre pH 7 y 9. Esto es una posibilidad química, pero como puede comprobarse en los análisis, no se cumple en las aguas del Paraná y Uruguay.

b. Aguas subterráneas.

En el sur de Misiones todas las aguas subterráneas de niveles poco profundos tienen su origen en la percolación de aguas meteoricas. Por lo tanto deben ser consideradas como soluciones diluidas de sulfates y cloruros de metales alcalinos y alcalino térreos. A estas sales, que ya existen en <sup>my</sup>pequeña cantidad en el terreno en forma de combinaciones solubles, deben agregarse los bicarbonatos que resultaron de la solubilización del  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ , cationes cedidos por ~~carbonatos~~ y silicatos que, en combinaciones insolubles, también se encuentran en el mismo terreno sometidos a la meteorización en presencia de  $CO_2$ .

Si se define como aguas congénitas a las que impregnaban el sedimento en el momento de la deposición, es fácil ver que en la región estudiada tales aguas no han intervenido, por lo menos en cantidad significativa, en el contenido salino de las aguas subterráneas.

Estudios futuros más completos que éste deberán tener en cuenta si las arterias principales son influentes o efluentes con respecto al primer nivel hidrostático de agua subterránea. En la actualidad, el único pozo que existe en las inmediaciones del río en Barra Concepción es el del poblador L. Antúnez; es indudable que aquí el Uruguay es efluente con respecto a la "napa freática".

En el punto citado el río corre sobre un cauce excavado en basalto; la roca aflora en los islotes y además es visible en las margenes hasta unos tres metros por encima del pelo de agua. En las mismas márgenes, por encima del basalto, se puede observar un grueso relleno limoso coronado por el complejo edafológico del suelo.

Esta disposición permite generalizar, con ciertas reservas, el concepto de efluencia para la zona de Barra Concepción. Las a-



guas meteóricas percolan en los limos hasta alcanzar el basalto, que las detiene en gran parte; forman allí un primer nivel de saturación que es el que alimenta el pozo de Antúnez y se vuelcan hacia la barranca fluvial contribuyendo a alimentar la zona de evaporación; en parte, ayudan a mantener la humedad que necesita el espeso bosque en galería existente en la zona. En la figura 14 está representada esquemáticamente la disposición recién descripta.

Fig. 14 Posición relativa de la primera napa de agua subterránea con respecto al río Uruguay, en Barra Concepción. ~~Figura 14~~

Como ya se dijo en página 64, el Uruguay contiene aquí 52 gramos de sales por metro cúbico: La primer napa, a sólo 30 metros de distancia del cauce, alcanza a 350 g/m<sup>3</sup>.

No es ninguna novedad afirmar que casi siempre el agua subterránea de un lugar está más mineralizada que la superficial; sin embargo, es interesante constatar que, en tan corto trecho, la <sup>variación de la</sup> mineralización ~~entre ambas aguas es marcada~~. Los cloruros y sulfatos son los principales responsables de tal aumento.

Las aguas de la primer napa contienen más CO<sub>2</sub> que las del río; de aquí que puedan descomponer y disolver una mayor cantidad de rocas con CaO y MgO, movilizándolo lentamente a estos óxidos como combinaciones bicarbonatadas.



BIBLIOGRAFIA

- 1.-Buchanan, F.A. Journey from Madras, Canara and Malabar. London, 1807.
- 2.-Cordini, J.M. El sestón del Río de La Plata y su contenido diatómico. Rev. Cent. Est. Cien. Nat., T. II, pág. 158 - 179, Bs. As., 1939.
- 3.-Fox, G. S. Bauxite and aluminous laterite occurrences of India. Mem. Geol. Surv. India, Vol. 9, pág. 221, Calcuta, 1923.
- 4.-Gollán, J. H. - Cruellas, J. - Nicollier, V. Suelos de Misiones. Instituto Experimental y de Investigación Agrícola de Santa Fe, Pub. Nº 3, Santa Fe, 1936.
- 5.-Guimaraes, D. A provincia magmatica do Brasil meridional. Estado de Minas Geraes. Secret. de Agric., Dep. dos Serv. Geog. e Geol., Serv. Geol., Monog. 1, Río de Janeiro, 1933.
- 6.-Harrington, H.J. Geología del Paraguay Oriental. Min. Ed., Univ. N. Bs. As., Fac. C.E. y N., Tomo I, Bs.As. 1950.
- 7.-Hausen, J. Contribución al estudio de la Petrografía del Territorio Nacional de Misiones. Min. de Agric. D.G.M.G. e Hidrog. Boletín Nº 21 - Serie B, (Geol), Bs.As. 1919.
- 8.-Jenny, H. Factors of soil formation. 1rst. ed., Mc Graw Hill Book Co. New York, 1941.
- 9.-Kennedy, W. Q. Trends of differentiation in basaltic magmas. Am. Jour. Scienc., 25, págs. 239 - 256, New Haven, 1933.
- 10.-Lambert, R. Estado actual de nuestros conocimientos sobre la geología de la República Oriental del Uruguay. Inst. Geol. del Uruguay, Bol. Nº 29, Nov. 1940, Montevideo 1941.
- 11.-Martín, F. J. and Doyme, H. C. Laterites and laterite soils in Sierra Leone. Journ. Agric. Scienc. Soc. Am., Vol. 17, págs. 530 - 547, Washington, 1927.
- 12.-Rubio, E.F. en Angelelli, V. Reconocimiento geológico del territorio de Misiones en busca de bauxita. Tirada del autor, Bs. As., 1937.
- 13.-Sherman, G. D. The genesis and morphology of the alumina-rich laterite clays. Hawaii. Agricultural Experiment Station, Technical Paper Nº 230, Washington (sin fecha de impresión).



- 14.-Teruggi, M. E. Los basaltos tholeiiticos de Misiones. Fac. Cien. Nat. y Mus., Univ. Nac. de La Plata, T. XVIII, Geol. N° 70, La Plata, 1955.
- 15.-Toit, A. L. du A geological comparison of South América with South Africa. Carnegie Institution, Publ. N° 381, Washington 1927.

Lámina II



Grava y arena del ~~rio Paraná~~ <sup>altura de la ciudad de</sup> ~~la altura de la ciudad de~~ <sup>(M. 7 y 8)</sup> Corrientes, x 3 1/2. Contiene cuarzo (granos más transparentes), calcedonia (grano del ángulo superior izquierdo y el de mayor tamaño en la parte inferior entre otros), una <sup>de cuarzo</sup> geoda muy redondeada en la parte central y cettitas que se ven como formas alargadas y arqueadas.