

ISSN 0325 - 2809	Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, n° 11,p.: 101-124	1980
---------------------	---------------------------------------------------	------

**SEDIMENTOLOGIA DE LAS ARENAS DEL CAUCE DEL
RIO PARAGUAY (*)**
II. Composición mineralógica

Hetty Bertoldi de Pomar
Instituto Nacional de Limnología
José Maciá 1933 - 3016 Santo Tomé. S.Fe.
Argentina

R E S U M E N

En el presente trabajo se da a conocer la composición mineralógica de las arenas del cauce del río Paraguay, analizadas en 14 puntos seleccionados a lo largo de sus tramos superior y medio, en coincidencia con el estudio de los caracteres texturales y contenido micropaleontológico.

Las conclusiones logradas señalan que estos materiales están constituidos por una asociación estable de minerales de origen netamente metamórfico de alto grado, en evidente vinculación con el macizo brasileño. Sin embargo, en su gran mayoría, los clastos respectivos corresponden a sedimentos reelaborados.

SUMMARY

Bottom sands sedimentology of Paraguay river channel. II. Mineralogical composition.

This work deals with the mineralogical composition of the Paraguay river bed sands. Fourteen samples selected along its high and middle section were studied. Results indicate these bottom sands are constituted by mineral of metamorphic source and their assemblage is characteristic for both sections of the river. Furthermore, the mineralogical selection and the morphological features of the clasts indicate that these sands reworked.

The textural features of these samples have been already published.

(*) Presentado en la Reunión de Comunicaciones y Trabajos Científicos de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, el 26/noviembre/1976.

INTRODUCCION

En el presente trabajo se dan a conocer los resultados del estudio mineralógico de las arenas del cauce del río Paraguay, realizado como parte de una investigación que abarcó, además, su composición granométrica y micropaleontológica. De este modo se ha logrado caracterizar, según tres aspectos fundamentales, los materiales de arrastre de esa importante vía fluvial del gran sistema hidrográfico de la Cuenca del Plata en sus tramos medio y superior.

Antecedentes

No se conocen antecedentes de otros estudios mineralógicos practicados en este río, por lo que se considera que el nuestro constituye el primer aporte de tal naturaleza.

En una contribución anterior² se citan los antecedentes obtenidos acerca de aspectos geomorfológicos y geolitológicos generales de la cuenca, así como de los caracteres hidrogeográficos de la red fluvial.

Entorno geolitológico

En cuanto a la estructura geológica superficial de su área de emplazamiento, es de señalar que este curso fluvial de llanura, al igual que la mayoría de sus tributarios de la ribera derecha, ha cavado su cauce en la cubierta de sedimentos continentales cenozoicos que caracteriza la gran unidad pampeano-chaqueña y el Pantanal. Sin embargo, en algunos puntos atraviesa afloramientos de rocas antiguas diversas, relacionadas con el escudo precámbrico brasileño, sobre el cual descansa el gran complejo estructural de la Cuenca del Paraná⁷.

De tal modo, el marco geolitológico del río, en el punto de extracción de cada muestra, es algo variado. Las respectivas características se sintetizan en el Cuadro 1, con la simbología empleada por la O.E.A.⁷ (Fig. 1).

MATERIAL Y METODOS

Las muestras estudiadas corresponden a las empleadas en el estudio de los caracteres texturales².

Las muestras extraídas se estudiaron microscópicamente, en lupa estereográfica y microscopio petrográfico, previos tratamientos de adecuación para ese fin².

Por tratarse, en general, de arenas clasificadas como finas o muy finas², los estudios cuantitativos se hicieron sólo en las fracciones granométricas correspondientes al grado ϕ 4. Sustenta esta decisión el hecho de que la fracción seleccionada contiene el mayor espectro de especies minerales que constituyen la asociación respectiva en el sedimento.

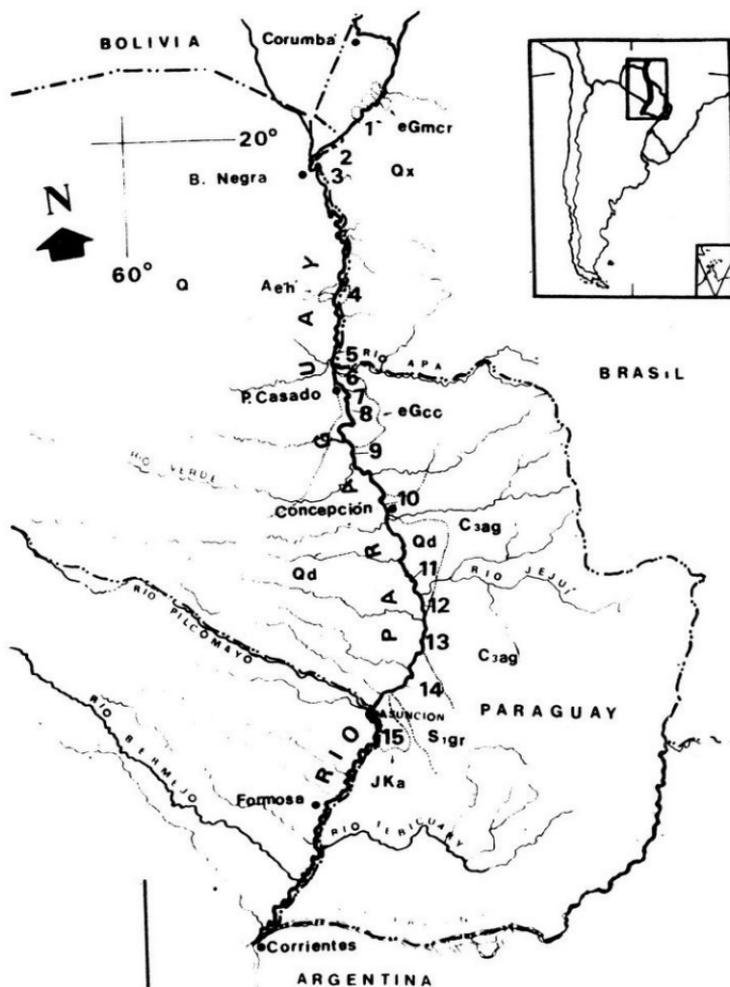


figura 1: Ubicación geográfica y configuración geológica (según O.E.A.7) de las estaciones de muestreo en el cauce del río Paraguay. *Ae'h*: Precámbrico; rocas eruptivas alcalinas; *C3ag*: Carbonífero superior; sedimentos glaciales, glaciofluviales, glaciolacustres y postglaciales: "red beds" de arenisca, tillita, lutita; *eGcc*: Eocámbrico; calcáreo; *eGmcr*: Eocámbrico; calcáreo, pizarra, filita, cuarcita; *JKa*: Jurásico superior-Cretácico inferior; arenisca eólica continental; *Sigr*: Silúrico inferior; conglomerado y arenisca sacaroide continental; arenisca arcillosa y lutita caolínica marina; *Q*: Cuartario indiviso; sedimentos continentales; *Qd*: Cuartario; depósitos deltaicos; *Qx*: Cuartario; depósito del Pantanal.

Por tanto, cada una de las fracciones granométricas arena muy fina, obtenidas para evaluar la distribución granométrica en la misma muestra, se procesó de la siguiente manera:

1º) *Clasificación mineralógica:*

Aplicando el criterio de evaluar componentes livianos por un lado y pesados por el otro, se procedió a efectuar la separación densimétrica, mediante centrifugados en doble tubo, con bromoformo de P.e. 2,89 y a 1.200 r.p.m. durante 5 minutos¹.

Obtenidas las fracciones *liviana* y *pesada*, se prosiguió con el reconocimiento y cuantificación de especies minerales presentes, como sigue:

2º) *Estudio microscópico:*

A— *Fracción liviana:* Estudio cualicuantitativo mediante observaciones ortoscópicas y conoscópicas con luz transmitida, por inmersión en eugenol, de n: 1.540 (o de los líquidos adecuados de la serie Cargille); identificación, descripción y recuento de cada especie.

B— *Fracción pesada:* Estudio cualicuantitativo, por inmersión en alfa-monobromonaftalina, de n: 1,620 (o de los líquidos adecuados de la serie Cargille), de los
a) *minerales transparentes:* mediante observaciones ortoscópicas y conoscópicas con luz transmitida; identificación, descripción y recuento de cada especie;

b) *minerales opacos:* mediante observaciones con luz incidente y uso de lápiz magnético, identificación de especies, descripción y recuento global de minerales opacos.

Por último, se realizaron observaciones ortoscópicas cualitativas en la fracción limo grueso, con fines comparativos.

3º) *Elaboración de los datos analíticos:*

De los valores obtenidos por recuento numérico se calcularon:

a) los porcentajes de frecuencia relativa, en cada fracción densimétrica.

b) el índice de madurez en la fracción liviana, según la relación Q/F: cuarzo + ftanitas/feldespatos⁸.

c) el índice de madurez en la fracción pesada, ZTR, según la relación circón + turmalina + rutilo/minerales transparentes no micáceos⁴.

d) relación minerales opacos/minerales transparentes.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la investigación mineralógica se reúnen en los Cuadros 2 y 3. En la Fig. 2 se reproduce el análisis comparativo de la distribución de especies a través del recorrido investigado en este río.

Con algunas excepciones en el tramo superior, el contenido en minerales pesados, rico en especies, es mínimo e inferior al 1 %. La fracción liviana, absolutamente predominante es, en cambio, pobre en especies.

Se detallan a continuación las observaciones más importantes logradas en cada muestra en particular.

Muestra N° 1; Km. 1.335. Paso Piura.

1) *Minerales livianos:*

El 100 % de los clastos está constituido por granos irregulares subredondeados de *cuarzo*. Este mineral constituye granos monocristalinos, en algunos casos con inclusiones. Según los casos, se observaron: a) aciculares muy finas, orientadas en todo sentido, al parecer, de *sillimanita*; b) cristales idiomorfos, prismático-bipiramidales de *circón*; c) prismático-cortas de *apatita*, de color castaño verdoso y contornos seudo hexagonales y e) de contorno ovalado, incoloras a amarillentas e índice de refracción algo superior al de *cuarzo*, de un mineral no determinado.

Índice de madurez: Qz/ Fd: ∞

2) *Minerales pesados:*

El mayor porcentaje corresponde a minerales opacos amagnéticos, acompañados por muy pocos opacos magnéticos, y minerales transparentes coloreados.

Entre los minerales *opacos amagnéticos* se identificaron: *pirita*, de tónico color amarillo latón, parcialmente alterada a limonita en muchos casos; *calcopirita* color amarillo de bronce con zonas iriscentes, *chromita* negra, sin brillo metálico, excepto en algunos puntos que muestran color rojo con brillo metálico vivo (¿hematita?); *limonita* color amarillo naranja, mate y de estructura terrosa.

Los minerales *opacos magnéticos* se identificaron como *pirrotina*, de color amarillo bronce, más oscuro que la *calcopirita* y parcialmente alterada a limonita.

Los minerales transparentes se identificaron como *turmalina*, *estauroлита* y *hornblenda*.

La *turmalina* constituye clastos subesféricos muy redondeados, de color castaño claro y pleocroísmo marcado hasta verde oscuro.

Cuadro I. Distribución y marco geolitológico (según O.E.A. 7) de las muestras estudiadas mineralógicamente en el cauce del río Paraguay superior y medio.

No	UBICACION		MARCO GEOLITOLÓGICO	
	Km	Localidad	R. Derecha	R. Izquierda
1	1335	Paso Piura	Qx: Cuartario. Depósitos del Pantanal	eGmc: Eocámbrico; calcáreo, pizarra, filita, cuarcita.
2	1285	Puerto Brush	Q: Cuartario indiviso; sedimentos, continentales	Qx: Depósitos Pantanal
3	1249	Puerto Bahía Negra	Q: Cuartario indiviso; sedimentos continentales	Qx: Depósitos Pantanal
4	1028	Puerto Cerrito	Ae h: Precámbrico, eruptivas alcalinas	
5	936	Paso Sastre	Q: Cuartario indiviso, sedimentos continentales	Qx: Depósitos Pantanal
6	924	Paso Apa	Q: Cuartario indiviso, sedimentos continentales.	Qx: Depósitos Pantanal
7	898	Puerto Casado	eGcc: Eocámbrico, calcáreo	
8	845	Paso Max	eGcc: Eocámbrico, calcáreo	
9	754	Paso Alegre	Qd: Cuartario, depósitos deltaicos	eGcc: Eocámbrico, calcáreo Qd: Cuartario, depósitos deltaicos
10	711	Paso Itá Curubí	Qd: Cuartario, depósitos deltaicos	C3ag: Carbonífero superior, sedimentos glaciares, glaciofluviales, glaciolacustres y postglaciales ("red-beds" de arenisca, lutita, lutita).
11	588	Puerto Antequera	Qd: Cuartario, depósitos deltaicos	
12	570	Des. Río Jejuí	Qd: Cuartario, depósitos deltaicos	
13	448	Des. R. Mandovirá	Qd: Cuartario, depósitos deltaicos	Sigr: Silúrico inferior, conglomerado y arenisca sacaroide continental, arenisca arcillosa y lutita caolínica, marino. JKa: Jurásico superior-Cretácico inferior, arenisca eólica continental
14	366	Paso Medin	Qd: Cuartario, depósitos deltaicos	

Cuadro 2. Composición mineralógica de las arenas del cauce del río Paraguay, ordenadas según índices de persistencia decreciente⁸. Expresada como porcentajes relativos en número de granos, determinados en la fracción arena muy fina (grado granométrico phi 4).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
MUESTRA N°														
MITRALES														
LIVIANOS (% en peso)	99,85	97,45	99,95	97,60	99,75	99,50	99,90	99,85	99,70	99,80	99,85	99,90	99,95	99,90
Cuarzo	100,00	99,60	94,30	99,10	97,10	98,25	94,95	92,80	96,40	97,20	97,25	100,00	99,70	87,50
Calciedmia (ftanita)	-	0,40	-	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,15
Microclino	-	0,20	0,40	0,45	1,20	1,15	4,25	4,55	1,40	0,60	2,60	-	0,30	1,75
Plagioclasa	-	-	0,15	0,45	1,00	0,60	0,80	0,25	2,20	1,60	0,15	-	-	6,60
Silicobolitos	-	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No identificados	-	-	0,15	-	-	-	-	2,40	-	-	-	-	-	-
PESADOS (% en peso)	0,15	2,55	0,05	2,40	0,25	0,50	0,10	0,15	0,30	0,20	0,15	0,10	0,05	1,10
Opacos magnéticos	83,35	72,60	53,60	69,80	80,10	70,70	86,90	85,95	87,35	82,00	88,00	91,55	81,25	86,85
Muscovita	-	-	22,80	-	0,80	-	-	-	-	-	0,60	-	-	-
Butilo	-	-	3,20	-	-	1,30	-	-	-	-	0,20	-	-	0,55
Circón	-	8,05	4,80	5,25	0,80	3,85	-	1,15	1,00	5,00	3,00	1,50	3,15	9,85
Turmalina	10,40	11,95	6,00	11,85	5,00	6,10	4,10	4,70	0,55	5,00	1,40	1,00	3,15	0,65
Granate	-	-	0,60	-	-	0,60	2,45	1,15	0,55	0,65	0,20	-	3,10	-
Biotita	-	0,30	7,40	-	-	-	2,45	-	0,55	-	0,80	-	3,10	-
Magnetita	3,15	3,55	-	1,30	5,00	-	0,85	-	0,55	1,65	2,60	3,95	-	1,00
Estaurolita	2,05	2,25	-	3,90	0,80	1,30	-	3,55	-	0,35	0,20	1,50	-	-
Clamita	-	0,65	-	-	2,50	0,65	0,85	2,35	1,60	0,35	0,20	-	-	-
Epidoto	-	-	0,80	6,60	5,00	13,55	1,60	-	6,85	3,00	4,40	-	3,15	0,55
Hornblenda	1,05	-	0,40	-	-	1,95	-	-	1,00	2,00	1,20	0,30	3,10	-
No identificados	-	0,65	0,40	-	-	-	0,80	1,15	-	0,20	-	-	-	0,55
N° Especies pesadas	5	7	9	6	8	9	7	6	9	9	12	6	7	6
% pesados opacos	86,50	76,15	53,60	71,10	85,10	70,70	87,75	85,95	87,90	83,65	90,40	93,50	81,25	87,85
Total especies identificadas	6	10	13	9	12	12	11	11	12	12	15	7	9	10

Cuadro 3: *Indices mineralógicos en los sedimentos de fondo del cauce del río Paraguay.*
 L/P: Relación entre minerales livianos y pesados; Qz/Fd: Índice de madurez según Hubert (1962); O/T: relación entre minerales opacos y transparentes, en la fracción pesada.

MUESTRA Nº	L/P	FRACCION LIVIANA Qz/Fd	FRACCION PESADA O/T	ZTR
1	665,65	00	6,40	70,25
2	38,20	498,00	3,20	87,35
3	1999,00	171,00	1,20	58,25
4	40,65	110,00	2,45	61,95
5	399,00	44,50	5,70	41,15
6	199,00	56,15	2,40	38,40
7	999,00	18,80	7,15	45,55
8	665,65	19,35	6,10	49,80
9	332,35	26,75	7,25	13,40
10	499,00	44,00	5,10	61,15
11	665,65	35,00	9,65	57,50
12	999,00	00	21,20	55,55
13	1999,00	332,35	4,35	40,25
14	89,90	41,55	7,25	90,95

La *estauroлита* forma granos subangulosos, de color amarillo naranja con pleocroísmo marcado desde claro hasta oscuro.

La *hornblenda* se presenta en granos alargados de color verde botella típico, con pleocroísmo notable, sin indicios de alteración.

Relación Opacos/transparentes: 6,40

Índice de madurez ZTR: 70,25

Muestra Nº 2: Puerto Brush

1) *Minerales livianos:*

La mayor parte de esta fracción está constituida por *cuarzo* en clastos de forma irregular, desde subangulosos hasta subredondeados. En general no contienen inclusiones, aunque algunos granos contienen cristales aciculares de *sillimanita* distribuidos sin orientación fija, o bien otro tipo de inclusiones de contorno redondeado, incoloras, de un mineral anisótropo que no extingue. Se observaron también algunos granos policristalinos de estructura sacaroide.

Índice de madurez Qz/Fd: 498

Además, un reducido número de granos corresponde a *microclino* inalterado y a silicobolitos, reconocidos como espículas de espongiarios de agua dulce (*espongolitos*).

2) *Minerales pesados:*

En esta fracción predominan los *minerales opacos amagnéticos*, de los cuales se reconocieron *pirita*, muy escasa *hematita* y *limonita*, con predominancia de esta última.

Los minerales opacos magnéticos son muy escasos, y muestran superficies limonitizadas, impidiendo la identificación del mineral original.

Entre los minerales transparentes predomina la *turmalina*, en general en granos subesféricos muy redondeados, con características de color y pleocroísmo variadas, como sigue: a) amarillo rosáceo muy pálido hasta verde castaño oscuro a muy oscuro; b) verde amarillento hasta verde azulado, con inclusiones aciculares negras, c) de coloración irregularmente distribuida, en partes verde, en partes azul.

El *circón* se presenta generalmente en forma de fragmentos muy redondeados, rara vez como cristales prismático-bipiramidales idiomorfos. Su coloración varía desde incoloro hasta amarillo verdoso pálido.

Se identificaron, además, muy escasos granos de *estauroлита* amarillo naranja muy redondeada, *cianita* de contornos cuadrangulares y tonalidad azulada típica, y *biotita* de color castaño rojizo.

Relación Opacos/transparentes: 3,20

Índice de madurez ZTR: 87,35

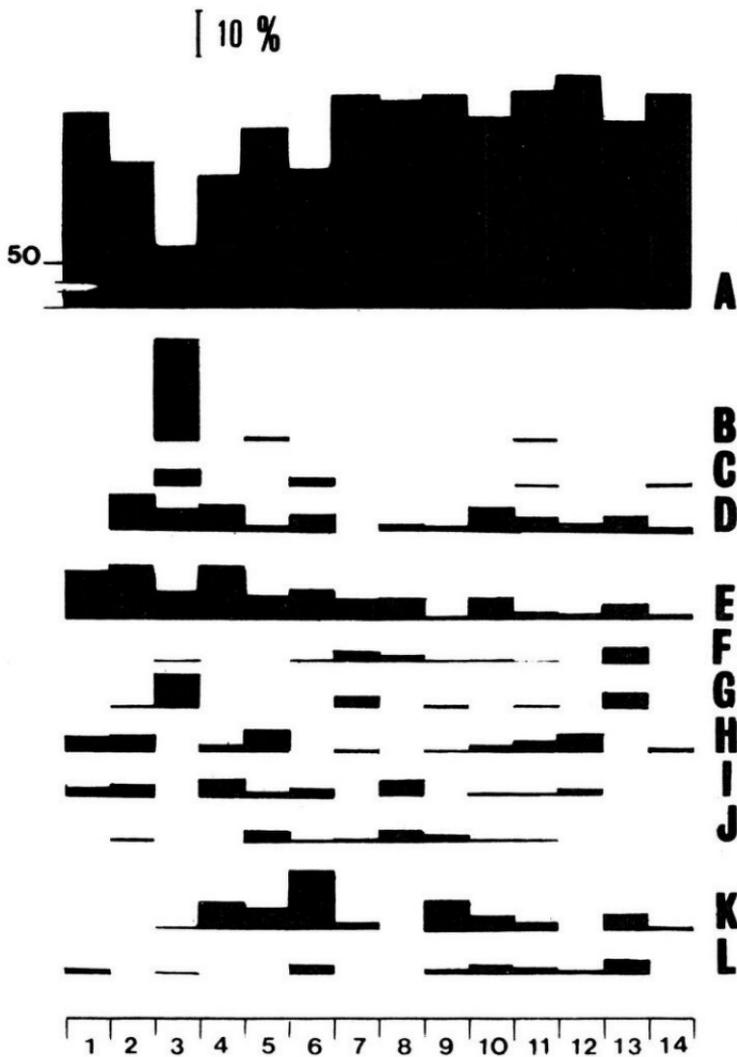


figura 2: Composición mineralógica de la fracción pesada en arenas del cauce del río Paraguay. Distribución de frecuencias relativas de A: minerales opacos amagnéticos; B: muscovita; C: rutilo; D: circón; E: turmalina; F: granate; G: biotita; H: magnetita; I: estauroлита; J: cianita; K: epidoto; L: Hornblenda.

3) *Fracción limos:*

Se reconocieron los mismos minerales que en la fracción arena, con excepción de *turmalina* y la aparición de *rutilo* color rojo intenso. Los granos de *circón* corresponden más frecuentemente a cristales idiomorfos de hábito característico.

Muestra Nº 3: Puerto Bahía Negra

1) *Minerales livianos:*

Los granos de *cuarzo* muestran similares características que en los casos anteriores, con igual grado de desgaste. Se observaron algunos granos policristalinos y otros de *calcedonia*.

Hay escasos *microlinos* y *plagioclasas ácidas*, sin indicios de alteración.

Participa de esta fracción un importante contenido en esponjolitos muy deteriorados, correspondientes a óxidas lisas, pocas arqueadas y con canalículo axial muy ancho, a veces con deformaciones.

Índice de madurez Qz/Fd: 171

2) *Minerales pesados:*

El material aparece casi totalmente agrumado y limonitizado. Desagregada la muestra con tratamiento ácido se identificaron los siguientes componentes: con predominio de minerales *opacos amagnéticos*, aparecen *micas*, *turmalina*, *circón*, *rutilo*, *epidoto*, *granate* y *hornblenda*, por orden de frecuencia decreciente.

Los minerales *opacos amagnéticos* están constituídos principalmente por *limonita*, con escasa *pirita*.

Se advierte la ausencia de minerales magnéticos.

Llama la atención, en cambio, el importante contenido en *micas*. De éstas, predomina la *muscovita*, en laminillas de contorno irregular, le acompaña la *biotita*, que aparece con evidencias de alteración, manifiesta en las variaciones de color, desde castaño anaranjado a castaño verdoso pálido (¿cloritización?), en diferentes o en una misma lámina.

La *turmalina* se presenta en granos muy redondeados de dos variedades: a) de color castaño rosáceo pleocroica hasta verde oscuro, a veces casi negro, con inclusiones sólidas incoloras, y b) de coloración irregular en tonos de verde y azul, constituyendo granos más redondeados que los de la variedad anterior.

El *rutilo* constituye fragmentos algo redondeados, mostrando escasas caras cristalográficas prismáticas, con estrías diagonales, coloreadas de castaño amarillento pleocroico hasta ámbar.

El *circón* se presenta con frecuencia coloreado de amarillo, en fragmentos o cristales muy desgastados.

El *epidoto* aparece en clastos subangulosos de color amarillo verde pálido, con característico aspecto vítreo.

Algunos clastos son de *granate* rosado casi incoloro, anfractuosos, poco desgastados.

Por último, se hallaron muy escasos granos alargados de *hornblenda* común, de color y pleocroísmo característicos, sin indicios de alteración ni inclusiones.

Relación Opacos/transparentes: 1,20

Índice de madurez ZTR: 58,25

3) *Fracción limos:*

Los minerales reconocidos corresponden a las mismas especies identificadas en la fracción arena y, además, frecuentes cristales de un mineral reconocido como *apatita*.

Muestra Nº 4: Puerto Cerrito

1) *Minerales livianos:*

Los granos de *cuarzo* muestran variados grados de esfericidad y redondez, desde irregulares hasta subesféricos y desde subangulosos hasta redondeados. Exhibe propiedades similares a la muestra anterior y es el componente casi exclusivo.

Le acompañan muy escasamente *microlino* y *plagioclasas ácidas* inalteradas

Índice de madurez Qz/Fd: 110

2) *Minerales pesados:*

Los *minerales opacos*, absolutamente predominantes, son amagnéticos casi en su totalidad; de ellos, la única especie reconocida es la *limonita*, de aspecto terroso.

Los escasos minerales magnéticos son de *magnetita*.

Otros minerales presentes son solamente *turmalina*, *epidoto*, *circón* y *estaurolita*.

Las variedades azul, verde, castaño y negro, de *turmalina* constituyen fragmentos muy redondeados.

El *epidoto* es de color verde amarillento pálido y sus clastos son angulosos, de aspecto vítreo, como en la muestra anterior.

El *circón* aparece muy redondeado y con coloración amarillenta.

La *estauroлита* aparece, en cambio, poco redondeada, en granos de contorno irregular y color amarillo naranja con pleocrismo marcado.

Relación Opacos/transparentes: 2,45

Índice de madurez ZTR; 61,95

3) *Fracción limos:*

Se identificaron los mismo minerales que en la fracción más gruesa, con una frecuencia apreciablemente mayor de *circón*, muy redondeado, desde incoloro hasta amarillento.

Además, se registraron pequeños cristales alargados de *rutilo*, de color castaño amarillento.

Muestra Nº 5: Paso Sastre

1) *Minerales livianos:*

El *cuarzo*, como siempre predominante, constituye clastos desde subangulosos hasta subredondeados, raramente redondeados. Algunos granos son policristalinos y, en general, muestran similares características que en las muestras anteriores, pocas veces con inclusiones de *rutilo*.

Los *microclinos* aparecen algo enturbiados, no así las *plagioclasas ácidas* presentes.
Índice de madurez Qz/Fd: 44,50

2) *Minerales pesados:*

La escasa fracción de minerales pesados está constituida, como en los anteriores casos, principalmente por granos subredondeados de minerales *opacos amagnéticos*, en especial *limonita*.

Los restantes minerales identificados son:

Magnetita, en clastos algo redondeados.

Turmalina, en granos subsféricos muy redondeados de colores castaño y verde.

Epidoto, con las mismas características que en muestras anteriores, constituyendo granos subangulosos.

Cianita, en granos con fracturas de clivaje, angulosos o pocos redondeados, sin inclusiones ni alteración.

Circón, sumamente escaso, en fragmentos redondeados.

Estauroлита, muy escasa y de similares propiedades a las anteriormente halladas.

Muscovita, también de presencia casi ocasional, sin alterar.
Relación Opacos/transparentes: 5,70
Índice de madurez: 41,15

3) *Fracción limos:*

La composición mineral de esta fracción es similar a la de arena, con mayor número de especies, ya que aquí se identificaron, además, *rutilo*, *biotita* decolorada y pequeños prismas, al aparecer de *apatita*.

Muestra N° 6: Paso Apa

1) *Minerales livianos:*

Los granos de *cuarzo*, en todos los casos monocristalino, son redondeados a muy redondeados. En algunos casos contienen inclusiones sólidas, de tres tipos: aciculares de *rutilo*, prismático-cortas de un mineral de color castaño no pleocroico y algo más refringente que el *cuarzo* y prismático-cortas de un mineral incoloro también algo más refringente que el *cuarzo* que las contiene.

Son escasos los granos de *microclino* y de *plagioclasas ácidas*, sin evidencias de alteración.

Índice de madurez Qz/Fd: 56,10

2) *Minerales pesados:*

Si bien son cuantitativamente escasos, resultan, como en los otros casos cualitativamente variados.

Acompañando a los *minerales opacos*, predominantes, se hallaron, por orden decreciente, *epidoto*, *turmalina*, *circón*, *hornblenda*, *rutilo*, *estaurolita*, *cianita* y *granate*.

Los minerales opacos son en su totalidad *amagnéticos*, tratándose principalmente de *limonita* y *pirita* en gran parte limonitizada, constituyendo clastos subredondeados.

El *epidoto* se presenta con una frecuencia inusual en estos materiales en estudio, como fragmentos subangulosos de cristales prismáticos de color amarillo-verdoso típico.

La *turmalina* conforma granos muy redondeados, sin inclusiones, en los colores verde y castaño rosáceo.

El *circón*, incoloro o, a veces, coloreado de amarillo, constituye sólo fragmentos muy redondeados; no se hallaron cristales idiomorfos.

Los granos de *rutilo* son prismático-alargados, con extremos quebrados, de color rojo oscuro casi negro y con estrías verticales.

La *estaurolita* constituye clastos de contornos irregulares, generalmente sub-angulosos.

La *cianita* presenta iguales características que la muestra anterior, si bien es más escasa.

La *hornblenda*, sin inclusiones ni alteraciones, resulta de fragmentos de formas prismáticas alargadas, con extremos aserrados, del tipo de los provocados por disoluciones intraestratales³.

Por último, el *granate* es el mineral menos frecuente, en forma de granos anfractuados de color rosáceo muy pálido.

Relación Opacos/transparentes: 2,40

Índice de madurez ZTR: 38,40

3) *Fracción limos:*

A las especies reconocidas en las fracciones más gruesas, aquí se agrega la presencia de escasas laminillas de *biotita* inalterada. Además, parecen aumentar su frecuencia los *feldespatos*, tanto *microclino* como *plagioclasas ácidas*, la *hornblenda* y el *circón*.

Muestra Nº 7: Puerto Casado

1) *Minerales livianos:*

El *cuarzo*, en granos morfológicamente subesféricos desde subangulosos hasta redondeados, es, por lo general, monocristalino. Los granos de mayores diámetros tienen tendencia a aumentar la esfericidad y la redondez, y entre ellos se observaron algunos de la variedad ahumada y otros policristalinos. En general contiene pocas inclusiones, si bien se observaron algunas de variada naturaleza: a) cristales idiomorfos de *circón*; b) cristales aciculares de *rutilo*; c) subesféricas de un mineral castaño y verdoso no pleocroico, poco refringente y d) redondeadas de un mineral opaco, al parecer amagnético.

Los *feldespatos* no muestran indicios de alteración, y de ellos predominan los granos de *microclino*, con macla enrejada característica. Las *plagioclasas* corresponden a términos sódicos *albita* - *oligoclasa*.
Índice de madurez Qz/Fd: 18,80

2) *Minerales pesados:*

Los minerales *opacos amagnéticos*, predominantes, incluyen *hematita*, *pirita* y *limonita*. Ocasionalmente aparece *magnetita*.

Los minerales transparentes corresponden a varias especies, de las cuales predomina la *turmalina*. Este mineral se presenta generalmente en granos muy desgastados, al parecer de dos variedades: a) de color rosado amarillento pleocroico hasta castaño oscuro casi negro, con inclusiones sólidas y líquidas, ordenadas subparalelamente; b) de coloración desapareja desde verde botella hasta verde amarillento, sin inclusiones.

Se hallaron, además, muy escaso *epidoto*, circunstancialmente *cianita* en fragmentos de clivaje, *granate* anfractuoso (*¿almandino?*) y *biotita* desferrizada.

Relación Opacos/transparentes: 7,15

Índice de madurez ZTR; 45,55

3) *Fracción limos:*

Se contrataron casi todas las especies halladas en las arenas, con excepción de *cianita*. Se hallaron, además *hornblenda* y un mineral identificado como *titanita*.

Por otra parte, las *plagioclasas* parecen ser más frecuentes que el *microclino*, inversamente a lo observado en las arenas.

Muestra N° 8: Paso Max

1) *Minerales livianos:*

Como en los casos anteriores, el *cuarzo* se presenta desde subanguloso hasta subredondeado, generalmente con pocas inclusiones o sin ellas. Algunos granos son policristalinos.

Entre los feldspatos, predomina el *microclino* sobre las *plagioclasas sódicas*, generalmente todos sin alteración.

Índice de madurez Qz/Fd: 19

2) *Minerales pesados:*

Están representados, como en los casos anteriores, por un grupo predominante de *minerales opacos*, entre los cuales se identificaron *pirita*, *limonita* y *pirrotina*.

Los minerales transparentes que les acompañan son, por orden de predominancia, *turmalina*, *estauroлита*, *cianita*, *circón* y *granate*.

La *turmalina* constituye clastos redondeados, únicamente de la variedad verde oscuro, con pleocroísmo poco marcado.

Estauroлита, *circón*, y *cianita* muestran similares características a las descritas en las muestras anteriores.

El *granate*, de color rosáceo (*¿almandino?*) muestra una textura superficial muy peculiar: por lo general exhibe superficies con figuras de corrosión abundantes, de forma rectangular y orientación paralela.

Relación Opacos/transparentes: 16,10

Índice de madurez ZTR: 49,80

3) *Fracción limos:*

En esta fracción no se observan *turmalina*, *cianita*, ni *granate*. En cambio, aparece *hornblenda*, que no se detectó entre los granos más grandes.

El *circón* es más frecuente en forma de cristales idiomorfos y de fragmentos muy redondeados, algunos con estructura zonal.

Muestra N° 9: Paso Itá Curubí

1) *Minerales livianos:*

El *cuarzo*, con las mismas propiedades que en las muestras anteriores, constituye granos monominerales desde subangulosos a subredondeados.

Los *feldespatos*, por su parte, si bien están escasamente representados por las mismas especies *microclino* y *plagioclasa sódica*, muestran la particularidad de que las últimas son más frecuentes que los primeros, contrariamente a lo determinado en todas las muestras anteriores.

Índice de madurez Qz/Fd: 26,75

2) *Minerales pesados:*

Como siempre, los minerales *opacos amagnéticos* constituyen el mayor porcentaje de la fracción. En este caso se reconocieron *pirita*, *pirrotina* y *limonita*. Escasos granos son de *magnetita*.

Las especies minerales transparentes son variadas, correspondiendo a *turmalina*, *circón*, *epidoto*, *hornblenda*, *granate* y *estauroлита*, por orden de frecuencia relativa decreciente.

La *turmalina* aparece en granos notablemente esféricos a subsféricos muy redondeados, de color castaño, castaño rosáceo y verde oscuro, con inclusiones de *circón*, otras sólidas opacas y en algunos casos líquidas.

El *circón* aparece como cristales idiomorfos completos o fragmentados, en ambos casos redondeados y, por lo general incoloros.

Los otros minerales muestran caracteres ópticos similares a los de las muestras anteriores, con buen grado de desgaste en la mayoría de los casos.

Relación Opacos/transparentes: 7,25

Índice de madurez ZTR: 13,40

3) *Fracción limos:*

Se hallaron principalmente *cuarzo*, a veces sorprendentemente muy redondeado, *microclino*, *turmalina*, cristales idiomorfos de *circón* y *hornblenda*, mineral que no había sido detectado en las arenas.

Muestra Nº 10: Paso Alegre

1) *Minerales livianos:*

El *cuarzo* predomina en forma de granos desde subangulosos a bien redondeados, con predominio de subredondeados. Corresponde a tipos monocristalinos con algunas inclusiones prismáticas de *circón* o aciculares de *rutilo*.

Entre los *feldespatos*, las *plagioclasas sódicas* son más abundantes que los *microclinos*. Aquellas aparecen con frecuencia en granos angulosos, enturbiados por principios de alteración, lo que no ocurre con los segundos.

Índice de madurez Qz/Fd: 44,00

2) *Minerales pesados:*

Las especies halladas corresponden a las mismas de la muestra anterior, con similares características.

Los minerales *opacos amagnéticos*, constituidos principalmente por *pirita* y *limonita*, están acompañados ocasionalmente por *magnetita*.

El *epidoto* es el más frecuente de los minerales transparentes, al que acompañan *ciánita*, *circón*, *hornblenda*, *turmalina*, *granate* y *biotita*, que no apareció en la muestra anterior, en laminillas algo decoloradas, sin halos pleocroicos.

Relación Opacos/transparentes: 5,10

Índice de madurez ZTR: 61,15

3) *Fracción limos:*

Los *feldespatos*, tanto *microclinos* como *plagioclasas sódicas*, parecen ser más frecuentes que en las arenas.

Los minerales pesados más frecuentes son *opacos magnéticos* y *amagnéticos*, *circón* incoloro y coloreado de amarillo pálido, *turmalina* verde y *biotita* desferizada.

Muestra Nº 11; Puerto Antequera

1) *Minerales livianos:*

El mineral predominante es, como siempre, el *cuarzo*, en clastos muy desgastados, desde subredondeados hasta muy redondeados, en general sin inclusiones. Se observó la presencia de un grano con crecimiento secundario.

Le acompañan *microclino*, bastante frecuente y sin indicios de alteración, y muy escasas *plagioclasas sódicas*, bien conservadas.
Índice de madurez Qz/Fd: 35.

2) *Minerales pesados:*

Como en los otros casos, se advierte un notable grado de redondeamiento en casi todos los minerales presentes, excepto en los opacos amagnéticos, que tienden a ser subredondeados.

La asociación mineral es rica, si bien la representatividad de cada especie es muy limitada y en la mayoría de los casos inferior a 1%. En general responden a las mismas características que las observadas en el conjunto de muestras en estudio, con algunos detalles llamativos, que se mencionan a continuación.

Entre los granos de *turmalina*, siempre muy redondeados, se hallaron algunos con estructura zonal e inclusiones sólidas incoloras, prismático-alargadas, dispuestas no paralelamente a las bandas de crecimiento. Corresponden a una variedad muy pleocroica, en tonos desde castaño rosáceo a verde muy oscuro.

En los granos de *circón* también se advirtieron casos de crecimiento secundario, alrededor de un núcleo más oscuro y muy redondeado.

Las escasas láminas de *biotita* contienen algunas inclusiones incoloras, sin halos pelocroicos.

Los *granates* son de color rosáceo, y sus clastos muestran anfractuosidades muy desgastadas.

Entre los anfíboles, representados por *hornblenda* verde común, se dan casos de extremos aserrados, interpretados como resultado de disolución postdeposicional³.
Relación Opacos/transparentes: 9,65
Índice de madurez ZTR: 57,50

3) *Fracción limos:*

Se hallaron los mismos minerales de las fracciones gruesas, con predominio de *cuarzo*, *opacos amagnéticos*, *feldspatos* y *circón*.

Muestra N° 12: Desembocadura del río Jejuí

1) *Minerales livianos:*

La totalidad de los minerales livianos está representada por granos redondeados a muy redondeados de *cuarzo*, generalmente monocristalinos, sin inclusiones o con escasos cristales aciculares al parecer de rutilo.
Índice de madurez Qz/Fd:

2) *Minerales pesados:*

Como en el caso anterior, los minerales pesados son escasos, tanto como la variedad de especies contenidas.

Los minerales *opacos amagnéticos* son absolutamente predominantes, casi todos los granos de *pirita*, sin indicios de alteración y frecuentemente con caras cristalográficas bien definidas.

Los minerales transparentes que les acompañan son escasos granos de *circón*, *Turmalina*, *estauroлита* y *hornblenda*, muy desgastados.

Se advierte también la presencia de *magnetita*.

Relación Opacos/transparentes: 9,65

Índice de madurez ZTR: 55,55

3) *Fracción limos:*

Siendo ésta una fracción casi ausente de la muestra total, se observaron las mismas especies que en las fracciones gruesas, en proporciones aparentemente similares. Vale decir, que la predominancia absoluta es de *cuarzo*. Además se identificaron algunos granos de *feldspatos potásicos* y de *plagioclasas sódicas*, que no se habían detectado anteriormente, acompañando a los conocidos de *circón*, *estauroлита* y *pirita*.

Muestra N° 13: Desembocadura río Mandouirá

1) *Minerales livianos:*

El *cuarzo* muestra una predominancia casi absoluta, en granos redondeados a muy redondeados, en muchos casos con inclusiones. Estas son: aciculares de sillimanita, o prismáticas de *circón* y de *turmalina*.

El único mineral que le acompaña circunstancialmente es *microclino*, con maclas características y sin evidencias de alteración.

Índice de madurez Qz/Fd: 41,55

2) *Minerales pesados:*

Si bien siguen siendo predominantes, se advierte una notable disminución en el contenido de minerales *opacos amagnéticos*, en favor de las especies transparentes. De aquéllos, las especies reconocidas son *pirita* y *limonita* solamente. No se registró la presencia de *magnetita*.

Los minerales transparentes hallados, por orden de abundancia, son *turmalina*, *circón*, *epidoto*, *hornblenda*, *granate* y otros no determinados. Todos muestran redondeamiento variado, pero evidenciando en todos los casos un buen grado de desgaste.

La *turmalina* corresponde a las variedades verdes, el *circón* es generalmente incoloro y en algunos casos amarillento, el *epidoto* tiene las mismas características señaladas en los casos anteriores, la *homblanda* común es de color verde botella característico y no muestra indicios de alteración o disolución; por último, el *granate*, en granos anfractuados, es de color rojo.

Relación Opacos/transparentes: 4,35

Índice de madurez ZTR: 19,95

3) *Fracción limos:*

Es cualitativamente más rica, ya que se reconocieron además, algunos minerales no detectados en la fracción más gruesa. Ellos son: *plagioclasa*, *rutilo* y *biotita* desferrizada. No se hallaron, en cambio, clastos de *granate*.

Muestra N° 14: Paso Medin

1) *Minerales livianos:*

El *cuarzo* se presenta en forma de granos desde subangulosos entre los de menores diámetros hasta muy redondeados entre los mayores, que pocas veces alcanzan diámetro medio superiores a 1 mm. Si bien en su mayoría son granos monominerales, no faltan los de carácter policristalino. También se advierten algunos casos aislados de crecimiento secundario. En general se trata de la variedad hialina incolora, aunque algunos casos corresponden a variedades ahumadas; en ambos casos pueden contener inclusiones de *rutilo*, o de un mineral con características de *anfíbol*. También se observaron algunos casos de superficies marcadas con estrías subparalelas.

Es de destacar la frecuencia relativa elevada de *calcedonia (ftanita)*, en granos de contorno subsférico irregular, subredondeados.

Los feldspatos están representados por *microclino*, con muy buenas maclas enrejadas, y *plagioclasas sódicas*, con maclas menos definidas.

Índice de madurez Qz/Fd: 41,55

2) *Minerales pesados:*

Los *minerales opacos*, predominantes en este caso como en todos los demás investigados, sólo están representado por granos subredondeados de *pirita* y *limonita* (amagnéticos) y por *magnetita* en cantidades subordinadas.

El grupo de minerales transparentes comprende *circón*, *turmalina*, *rutilo*, *epidoto* y un *anfíbol*, por orden de predominancia.

El *circón* constituye granos de dos características: muy redondeados, incoloros. y cristales idiomorfos, frecuentemente con estructura zonal e inclusiones opacas, pequeñas.

La *turmalina*, en granos muy redondeados, corresponde a una variedad castaño rosácea, pleocroica hasta verde oscuro, sin inclusiones.

Los restantes minerales tienen similares características que las descritas para las mismas especies en muestras anteriores. El *anfíbol*, por su parte, parece corresponder a una homblenda, de color poco marcado. En general, todas muestran evidencias de desgaste por transporte prolongado.

Relación Opacos /transparentes: 7,25

Índice de madurez ZTR: 90,95

3) *Fracción limos:*

Se identificaron los mismos minerales hallados en las fracciones más gruesas y, además, algunos granos de *granate*.

Se advierte un importante incremento de *circón* y *rutilo*. Por último es de notar que, si bien hay un grado de redondeamiento menos marcado que en las otras fracciones, no aparecen cristales idiomorfos de ningún mineral y difícilmente pueden reconocerse aristas cristalográficas definidas.

DISCUSION

Las determinaciones cuantitativas, reunidas en los Cuadros 2 y 3, juntamente con las observaciones descritas, permitieron elaborar las siguientes consideraciones acerca de los sedimentos de fondo del recorrido estudiado del río Paraguay superior y medio.

En primer término la concentración de minerales pesados es muy limitada, siempre menor a 0,50 %, con sólo dos excepciones señaladas por las muestras 2 y 4, donde supera el 2%, expresada en peso.

Mineralógicamente, estas arenas están constituidas por clastos monominerales, con un número de especies que oscilan entre 6 y 16, agrupando los minerales opacos amagnéticos en una sola denominación.

Analizando discriminadamente las fracciones liviana y pesada se advierte, como era de esperar, que esta última contiene el mayor número de especies indicadoras, si bien su frecuencia relativa es, como se dijo, muy baja.

La fracción liviana, compuesta esencialmente por *cuarzo*, contiene variables pero escasas cantidades de *feldespatos*, con predominio de los potásicos sobre los calcosódicos, y esporádicas apariciones de *ftanita* (*Calcedonia*) que sólo alcanzan concentración importante en la muestra número 14 tomada en el último punto del tramo medio.

En la fracción pesada, la predominancia de los minerales opacos amagnéticos se mantiene a través de todo el recorrido estudiado, con una frecuencia relativa mayor en el tramo considerado como Paraguay medio. Les acompaña una asociación estable de minerales transparentes, constituida por especies de origen metamórfico^{5,6}, de las cuales *circón*, *turmalina* y *epidoto* alcanzan las mayores concentraciones. A su vez, *turmalina* es el único mineral detectado en todos los casos, y *muscovita* el más esporádico (sólo tres muestras la contienen, a pesar de que en la Estación 3, Bahía Negra, alcanzó una concentración varias veces superior a la de los demás minerales transparentes, en cualquiera de las muestras analizadas).

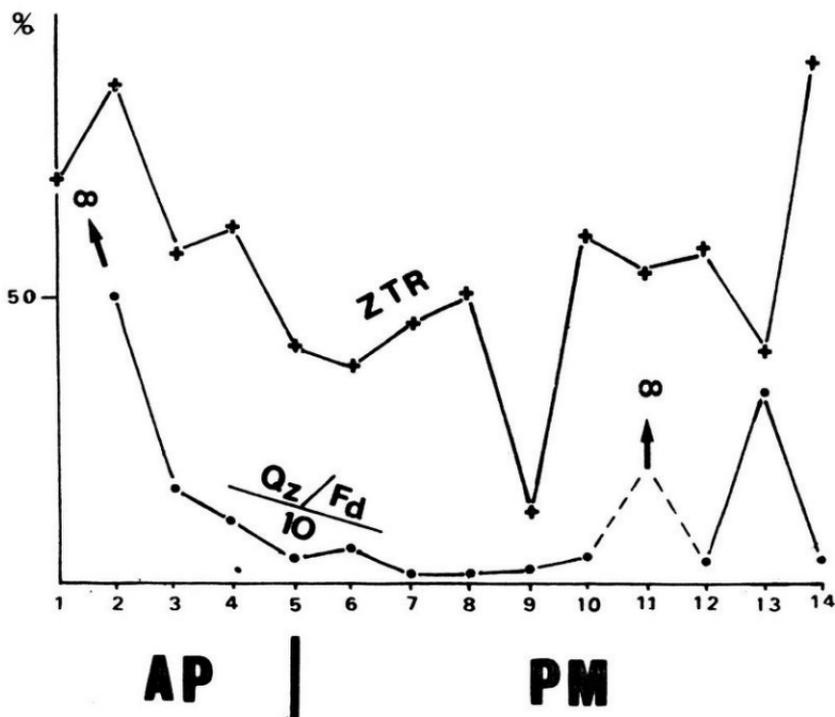


figura 3: Variaciones de los índices de madurez mineralógica de los sedimentos del cauce del río Paraguay, a lo largo del recorrido de los tramos estudiados: ZTR: índice de Hubert (4); Qz/Fd : índice de Pettijohn (8) reducido a la décima parte, para adaptar el gráfico a una misma escala vertical; 1-14: numeración de las muestras; AP: Alto Paraguay, sector del Pantanal; PM: Paraguay medio.

Las restantes especies no estuvieron siempre presentes en los recuentos practicados, lo cual no implicaría una ausencia absoluta, debido a la escasa representatividad que alcanza en la fracción cuantitativamente estudiada; en muchos casos, se advirtió su presencia en los limos gruesos, en los cuales la composición mineralógica sólo fue evaluada cualitativamente, con fines comparativos.

El desgaste de los clastos, sumado a la ausencia de cristales idiomorfos entre los minerales de mayor estabilidad física, constituyen indicios de intensa degradación mecánica.

El análisis de los índices de madurez (Fig. 3) en las fracciones liviana y pesada, sugiere una clasificación mineralógica selectiva mayor en el tramo correspondiente al alto Paraguay, donde el río traspone las últimas manifestaciones del Pantanal. En el tramo que le sigue, con afloramientos de rocas calcáreas eocámbricas, se advierte una disminución sensible en los respectivos valores, mientras que vuelven a aumentar más adelante, cuando el río atraviesa los depósitos cuaternarios de la llanura chaqueño-pampeana, alcanzando los más altos valores en el último punto del tramo estudiado. Sin embargo, no puede dejar de advertirse una disminución notable del índice ZTR en la muestra N° 13, tomada en un punto en que el río está flanqueado a su izquierda por afloramientos de sedimentos consolidados de edad silúrica inferior⁷, si bien el índice Qz/fD resulta, contrariamente, más elevado.

La geología de la región muestra que el complejo rocoso en las nacientes de los tributarios de la margen izquierda está constituido por rocas metamórficas antiguas del escudo brasileño. Por su parte, los tributarios de la margen derecha recorren una gran planicie en la que el río Paraguay ha diseñado su curso actual, transportando y reelaborando sedimentos cuaternarios.

CONCLUSIONES

Se concluye que los sedimentos del lecho del río Paraguay, en sus tramos superior y medio, corresponden a materiales reelaborados, de composición ortocuarcítica, con minerales de origen predominantemente metamórfico de alto grado. Estos han dado lugar a una paragénesis más o menos constante para todo el recorrido, siendo variables las concentraciones relativas de las especies representadas, aparentemente en relación con las estructuras geológicas que el río va atravesando.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BERTOLDI de POMAR, H. 1976. Métodos de preparación de sedimentos clásticos para su estudio microscópico. I. Tratamientos previos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 7: 1-56.
- 2.- BERTOLDI de POMAR, H. 1979. Sedimentología de las arenas del cauce del río Paraguay. I. Caracteres Texturales. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 10: 1-12.
- 3.- EDELMAN, C.H. y DOEGLAS, D.J. 1931. Relikstrukturen detritischer Pyroxene and Amphibole. *Min. Petr. Mitt.*, 42: 482-490.
- 4.- HUBERT, J.F. 1962. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblage with the gross composition and texture of sandstones. *Journ. Sed. Petr.*, 32 (2): 440-450.
- 5.- KRININE, H. 1946. The tourmaline group in sediments. *Journ. Geol.*, 54 (2): 65-87.
- 6.- MILNER, H. 1962. Sedimentary Petrography (4th Ed.). *Macmillan*, N. York, 1358 p.
- 7.- O.E.A. 1971. Cuenca del río de La Plata. Estudio para su planificación y desarrollo. II. Inventario de datos hidrológicos y climatológicos. *O.E.A.*, Washington, 272 p.
- 8.- PETTIHOHN, F.J. 1963. Rocas sedimentarias. 2a. Ed., *Eudeba*, Buenos Aires, 731 p.