

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/281035514>

Aquatic Chemistry Studies in Paraguay River (in Spanish) Mirna Delgado, F Flores, F Cáceres D y JF Facetti Masulli. Rev. Soc. Científ. Paraguay. (Third period) Vol. 18 ; 79-96 (201...

Article · June 2013

READS

31

1 author:



[Juan Francisco Facetti-Masulli](#)

Universidad Nacional de Asunción

107 PUBLICATIONS 57 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Estudios Hidroquímicos en el Río Paraguay

Mirna Delgado, F Flores, F Cáceres D y JF Facetti Masulli*
Hydroconsult SRL Asunción Paraguay

Resumen: los resultados obtenidos en campañas realizadas en el Río Paraguay visando evaluar los efectos aguas abajo de la descarga urbana/emisarios en el litoral de Asunción así como en otras ciudades a lo largo del río son analizados. Las campañas se ejecutaron en 1994, 2000 y en 2013 esta última relacionada con estudios geoquímicos y de elementos contaminantes en los sedimentos de fondo en la bahía de Asunción. El análisis expone los efectos perjudiciales de las descargas sobre la calidad del agua aunque también muestran la capacidad de recuperación del río, en particular en procesos de oxidación; por otra parte señalan que la bahía se presenta como sumidero de compuestos amoniacales y fosforados con ambiente que deprime los mecanismos de oxidación.

Palabras clave: Río Paraguay, bahía de Asunción; nutrientes, penetración de radiación.

Abstract: The results of field campaigns in the Rio Paraguay aiming at evaluating the effects downstream of the outfall discharge of emissaries in Asuncion as well as in other cities along the river is discussed. Campaigns were carried out in three periods: 1994, 2000 and in 2013, the latter performed in the Bay of Asunción and is related to its geochemistry and elemental contaminants. These studies show the deleterious effects of discharges on water quality; although the resilience of the river also. Moreover, the bay occurs as a sink of ammonia and phosphorus compounds in a reducing ambience of oxidation mechanisms.

Key words: Paraguay River; Bay of Asunción, nutrients concentration, light penetration.

1.-Introducción:

El río Paraguay discurre de norte a sur a lo largo de la margen occidental de la antigua Gondwana y enlaza 2 regiones eco-geológicas [1] absolutamente diferentes: el Paraguay Occidental o Chaco Boreal en la margen derecha y el Paraguay Oriental a la izquierda.

Su alimentación superior arranca en el Pantanal aproximadamente a 15°S y 55 - 60° W con un curso de unos 2850Km hasta su descarga en el río Paraná, del cual el Paraguay es el afluente principal. Desde la boca del río Apa hasta su desembocadura tiene una extensión de alrededor de 890Km y una descarga promedio de aproximadamente 2000m³/seg. Aguas arriba (Paraguay superior), la

*jfracama@rieder.net.py

descarga es del orden de $1500\text{m}^3/\text{seg}$ [2]. De acuerdo a su geo-morfología [3] se consideran 3 secciones: el Paraguay superior desde su origen hasta el *riprap* existe en el río frente a la ciudad de Vallemi; Paraguay medio hasta Itapirú 50Km al sur de la Bahía de Asunción y Paraguay inferior hasta su descarga en el río Paraná.

Aparte de aquellos concernientes a su hidrología existen algunos estudios referentes a la calidad del agua a lo largo de su curso, generalmente relacionados al suministro de agua potable en centros poblacionales [4-7] habida cuenta de la existencia/funcionamiento de varios emisarios cloacales sobre el río Paraguay provenientes de ciudades del litoral así como puertos tales como Concepción, Antequera, Rosario, Asunción y su bahía, Villa Oliva, Pilar etc. Los contaminantes metálicos se analizan en las referencias [5 y7].

En este trabajo se presentan y cotejan los resultados obtenidos en campañas realizadas en los años 1994 visando evaluar los efectos aguas abajo de la descarga del emisario Bella Vista en Asunción; en el 2000 referentes a los servicios de agua potable en las ciudades de Concepción, Asunción, Villa Oliva, Pilar y en 2013 en relación a estudios geoquímicos y de contaminantes en los sedimentos de fondo en la bahía de Asunción [8].

2.- Metodología

Los estudios fueron realizados, tal fuera indicado mas arriba, en los años 1994, 2000, 2013 con campañas de análisis y mediciones in situ , colecta de muestras y de análisis hidro-químico y bacteriológico en laboratorio.

Tanto las determinaciones in situ como los análisis laboratoriales fueron realizados de acuerdo a métodos establecidos [9] y cuyos detalles fueron indicados en trabajos anteriores [10].

En las campañas de 1994, se establecieron en la zona ribereña de Asunción siete estaciones de colecta, una de ellas agua arriba del emisario que definiría una suerte de línea de base. El listado y ubicación es como sigue: P2: 75m aguas arriba, al norte. P1: 0,0m del emisario Bella Vista; P3: 50m al sur de la desembocadura del A° Mburicaó; P4: a 200m sur de P1; P5: a 500m del emisario; P6: 1000m del emisario – Sur.

En las del año 2000 las tareas se desarrollaron a partir [11] de la ciudad de Concepción en una estación *Lo* aguas arriba de la boca de captación de ESSAP ~

S 23° 24,125' W 57° 27,284'; más abajo del emisario, tres sitios de muestreo *L1 L2 L3* frente al puerto de Concepción aproximadamente a 10, 20 y 30 m del ribera izquierda, criterio mantenido para las restantes estaciones. La siguiente serie se establece en torno a Asunción con un total de 9 estaciones ubicadas en correspondencia a los diversos emisarios*; se designan como *M, N, O, O', P Q* etc, con los subíndices 1,2 3. La serie siguiente frente a Villa Oliva (*To, T1*, S 26° 00,46' W 57° 51,185' ; S 26° 00,680' W 57° 51,410') y Pilar (*Uo, U1* S 26° 50,625' W 58° 19,107' ; S 26° 51,680' W 58° 19,023'). Últimamente (2013) fueron estudiadas muestras provenientes de cuatro estaciones en la Bahía y de la toma de Essap en Viñas cue.

3.-Resultados y discusión

Los resultados de análisis in situ correspondientes a las campañas de 1994 se presentan en la Tabla 1a.

Tabla 1a. Resultados de análisis “in situ” (campañas 1994)

Estación	pH unid		OD (mg/L)		Transp (m)		Conduct. (umhos/cm)	
	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS	Prom	DS
P2	6,5	0	6,53	0,21	0,217	0,035	140	10
P1	6	0	5,08	0,48	0,188	0,035	256,7	47
P3	6	0	5,58	0,45	0,20	0	220	50
P4	6,5	0	5,98	0,46	0,25	0	155	5
P5	6,4	0,08	7,3	0,33	0,25	0	145	5
P6	6,47	0,05	6,87	0,68	0,25	0	145	5
P7	6,6	0,1	6,38	0,25	0,25	0		

El comportamiento a lo largo del río, trecho de las estaciones de colecta, se visualiza en la **fig. 1a** que registra el efecto adverso de la descarga del emisario sobre la concentración de OD, ligero aumento de la concentración de protones, y aumento sensible de la conductividad. En la estación P7 se percibe la restitución de valores del río, como puede verse en dicha figura.

*Coordenadas: S 25° 13,845' W 57° 34,695' ; S 25° 14,607' W 57° 35,529' ; S 25° 14,757' W 57° 36,018' ; S 25° 15,278' W 57° 38,869' ; S 25° 16,719' W 57° 39,738' ; S 25° 13,845' W 57° 34,695' ; S 25° 16,430' W 57° 39,120' ; S 25° 16,607' W 57° 39,566' para *M, N, O, P, Q, R, S*, Asunción

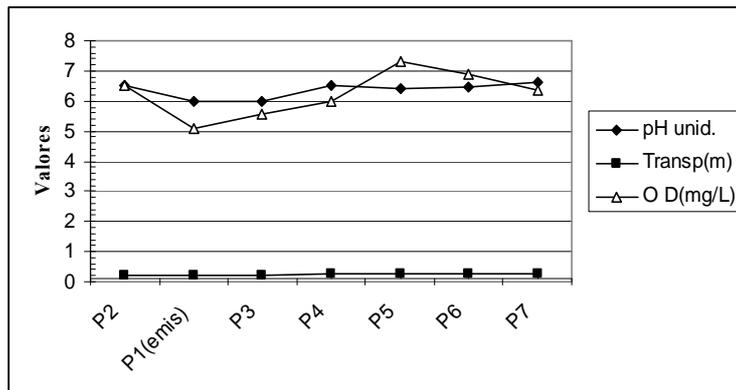


Fig 1a Conc. de Oxígeno Disuelto, pH y Transparencia; distancias no a escala

Los resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos y de los nutrientes N & P, aparecen en las tablas 1b & 1c .

Tabla 1b Análisis de Parámetros Fisicoquímicos. Campañas de 1994

	Alcalinidad		Dureza		Cloruros	
	C1/94	C2/94	C1/94	C2/94	C1/94	C2/94
P2	46,7±1,7	37,5±1,5	30,75±0,75	30±0,0	26,5±0,5	25,0±0,80
P1	41,3±5	46±2,2	42,25±0,75	35±0,0	34±0	39,3±7,3
P3	45,5±1,5	68,3±2,5	32,5±0,5	41,5±0,5	26,5±1	39,7±3,7
P4	42,5±0,5	40,5±0,5	31,25±0,25	30,5±0,5	27,5±0,5	24,3±0,94
P5	43,5±0,5	37±2,2	31,75±0,25	31,5±0,5	26±0,0	22,67±1,25
P6	47,7±1,7	40±2,21	32,25±0,25	31,25±0,25	24,5±0,5	23,67±1,25

Su comportamiento en valores promedios en el trecho en estudio se ve en las **figuras 1b & 1c.**

Tabla 1c Nutrientes

	N.NH ₃		Po-PO ₄		P-PO ₄	
	C1/94	C2/94	C1/94	C2/94	C1/94	C2/94
P2	52,5±2,5	99,7±2	81,7±2,4	90±0	113,4±6,2	150±10
P1	102,5±2,5	110,6±2,5	115±4	112,5±2,5	166,7±12,5	190±0
P3	215±15	150,3±4,1	154,3±10	120± 10	166,7±12,5	227,5±2,5
P4	101±5,3	125,7±1,7	85±0,0	97,5± 2,5	163,3±16	200±10
P5	99,3±7,4	125,7±2,5	95±4,1	102,5±2,5	131,7±6,2	155±5
P6	75,3±1,2	86,7±5,5	88,3±2,4	90±0	160± 9,6	157,5±12,5

Existe un claro efecto de la descarga del emisario en P1. Se percibe frente al emisario una disminución de la capacidad de neutralizar acidez alóctona que se recupera en P3 aguas abajo cercanas al Mburicao.

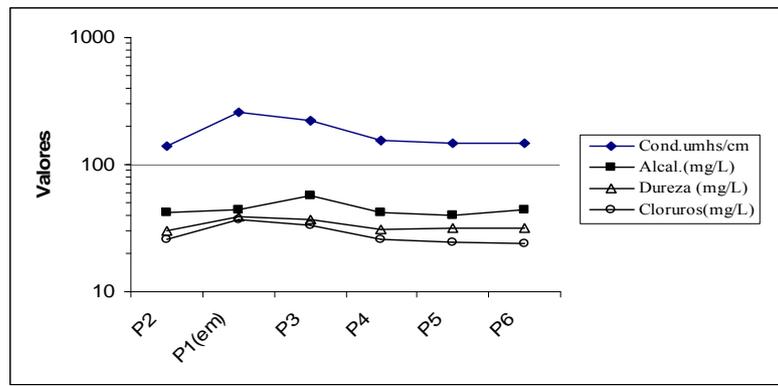


Fig 1b. Variación de la conc. de parámetros físico químicos en el trecho; distancias no a escala

Sensible aumento de la conductividad y de la salinidad respecto a la conc. de Cl^{-1} y de Ca^{+2} y Mg^{+2} . Los compuestos amoniacales se incrementan notablemente a corta distancia, en el sitio Mburicao, P3, que se constituye en un *topo- indicador* importante. Las altas temperaturas reinantes en los momentos de colecta favore-

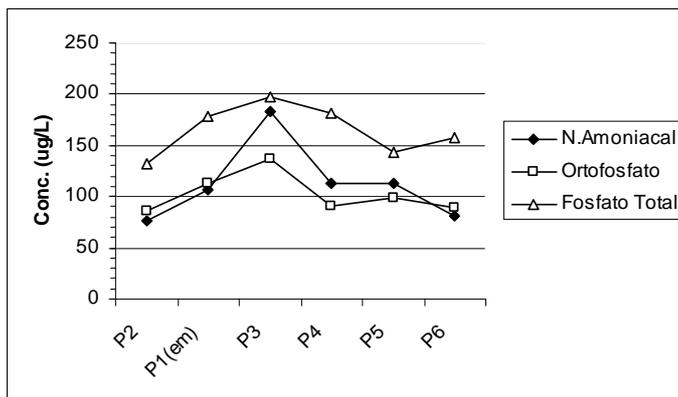


Fig 1c Efecto “sumidero” de NH_3 y PO_4 en torno al emisario y al Mburicao; distancias no a escala.

-cen la formación de NH_3 a partir de materia orgánica en descomposición a más de la incorporación de P y diversos contaminantes debido a la descarga del A° Mburicao.

Las **tablas 2a & 2b**, indican los valores promedios de los parámetros analizados en las campañas de 2000. **La 2a** se refiere a los tenores registrados en Concepción, V.Oliva, Pilar; tenores similares en ciertos parámetros de incorporación alóctona como P y N, con tenores muy incrementados en la ribera

Tabla 2a campañas del año 2000

Parámetros	L0 (Concep)	L (Concep)	T(V. Oliva)	U (Pilar)
Turbidez	42,80±10,28	77,53±22,12	70,67±6,11	63,47±7,77
Color	75,0±29	91,7±56,37	75,00±0	75,00±0
pH	7,1±0,05	7,0±0,057	7,43±0,05	7,10±1,087
Conductividad	71,0±12,30	86,0±15	197,0±1	220,67±1,154
Alcalinidad (mg/L)	23,42±1,5	23,58±1,53	25,06±0,17	24,96±4,35
Fosfato (mg/L)	0,058±0,006	0,110±0,009	0,06±0,006	0,10±0,004
N-Amon.(mg/L)	0,024±0,001	0,2±0,13	0,02±4,24	0,01±0
Cloruros(mg/L)	7,63±1,1	9,5±1,65	38,73±0,161	40,86±0,27
DQO(mg/L)	8,0±0,5	9,3±1,15	9,52±0,057	16,41±4,95
DBO(mg/L)	4,8±1,2	4,1±1,3	3,33±0,75	3,67±0,30

asuncena (**tabla 2b**)y que por dilución y a más de alguna precipitación, fueron acercando sus concentraciones a los valores habituales.

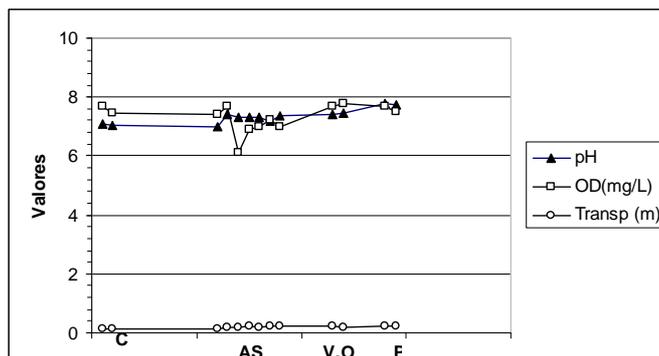


Fig 2 a Variaciones de OD y pH ;C Concepción; AS Asunción; VO Oliva; P Pilar. Distancias no a escala.

El oxígeno disuelto, otro importante indicador de la salubridad hídrica sufre depresiones en las proximidades de las descargas pero se estabiliza hacia Oliva. Parámetros geoquímicos como Ca, Mg, Cl, conductividad/salinidad, mostraron

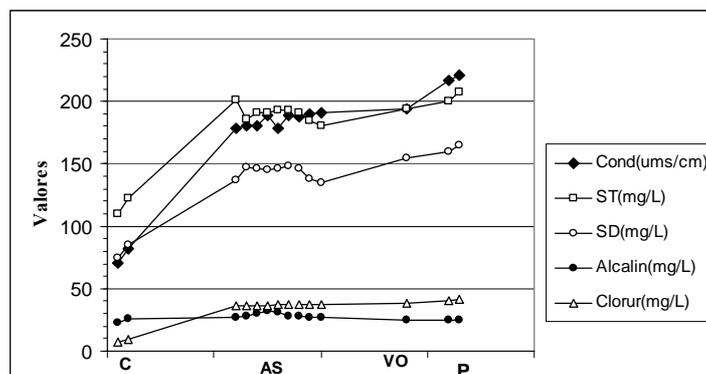


Fig 2b variaciones de Conductiv.,alcalinidad, cloruros, sólidos totale y Disueltos Distancias no a escala ;Concepción,Asunción, V. Oliva y Pilar.

un paulatino aumento a lo largo del río, índice de su incorporación a la masa

hídrica por intemperismo químico. La alcalinidad varía con incrementos y depresiones según fuera la carga recibida, en especial en las zonas de descarga (Fig 2a,2b,2c).

Tabla2b. Campañas del 2000. Concentración de parámetros seleccionados
Asunción Norte[#] † Asunción Sur

Parámetros	M	N	O	P	Q	R	S
Turbidez (NTU)	70,13 ±3,23	68,27 ±3,23	71,47 ±4,8	58,67 ±5,08	60,53 ±4,54	59,20 ±5,60	61,60 ±2,0
Color	75,00 ±0	87,50 ±0	83,33 ±7,21	79,17 ±7,21	79,17 ±7,21	75,1 ±0,0	75,00 ±0
pH	7,07 ±0,11	6,87 ±0,15	7,10 ±0,3	7,30 ±0,17	7,10 ±0,1	7,13 ±0,06	7,37 ±0,057
Conductividad (umhos/cm)	178,0 ±2	178,33 ±5,03	177,0 ±11,79	189,0 ±03,60	185,00 ±4,58	189,67 ±8,74	184,33 ±0,57
Alcalinidad (mg/L)	26,78 ±0,68	28,25 ±0,30	30,07 ±3,46	27,99 ±0,15	27,66 ±0,26	27,21 ±0,40	26,95 ±1,050
Fosfato (Pmg/L)	0,10 ±0,026	0,10± 0,004	0,15 ±0,05	0,10 ±0,01	0,10 ±0,004	0,09 ±0,00	009 ±0,018
N-Amoniacal (mg/L)	0,02 ±0,005	0,03± 0,005	0,39 ±0,049	0,13 ±0,02	0,08 ±0,044	0,41 ±0,52	0,09 ±0,065
Cloruros (mg/L)	35,89 ±0	36,37± 0,48	36,39 ±1,38	37,59 ±0,44	36,85 ±0,83	37,17 ±1,21	37,01 ±1,20
DQO (mg/L)	10,14 ±2,03	14,20± 5,36	16,43 ±6,86	10,14 ±0	8,79 ±1,17	18,25 ±12,34	12,17 ±5,36
DBO (mg/L)	4,86 ±0,4	4,39± 0,30	7,37 ±3,88	5,04 ±0	4,63 ±0,60	6,03 ±2,77	4,02 ±0,69

[#] No se incluyen registros en O' y P' que correspondieron a mediciones "in situ" y N.NH3. Ellos obran en el repositorio de Hydroconsult.

Los compuestos de nitrógeno y fósforo muestran una fuerte presencia en el correspondiente trecho de Asunción (Fig 2c).

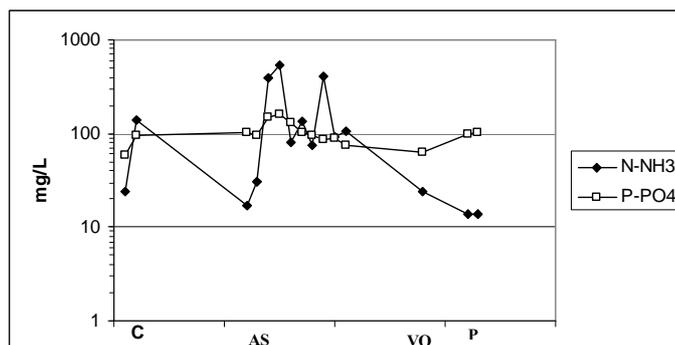


Fig. 2c. N& P: fuerte aumento en litoral asunceno

Discusión general

En las campañas de 1994, estaciones designadas con la letra P, los muestreos se realizaron en jornadas de intenso calor (28-29°C), el punto de colecta P2 ubicado a 75m al norte del emisario puede considerarse como “río normal”, es decir sin la influencia de la descarga de aquel; éste se designa como P1 y que en los gráficos aparece como punto central de referencia. En las de 2000, el punto Lo aguas arriba de Concepción se consideran río “normal” y que adquiere otros tenores “*a posteriori*” de la ciudad y discurre sin grandes presiones antrópicas hasta Asunción donde en los puntos M y N se adquieren nuevos registros con poco cambio en las propiedades hidroquímicas. El primer emisario de descarga sustancial, es el de Bella Vista ; a corta distancia del mismo (50m) frente a la desembocadura del A° Mburicao se ubica una tercera estación, P3; el Mburicao, que aunque de poco caudal, arrastra efluentes de varias industrias de carnes ubicadas en la zona. Las demás estaciones se escogieron (1994) para detectar la “recuperación” del río. En las de 2000, las estaciones O, O' reciben los aportes directos del emisario Bella Vista y del Mburicao con aumentos sustanciales del N.amoniaco y del Ptotal.

El pH varió poco, aunque fue consistentemente más bajo en P1, es decir en el emisario punto clave del estudio de 1994; lo mismo puede decirse de la transparencia. A partir de $K = C \cdot D^{-1}$ utilizando el valor de $C = 1.6$ [12] se obtiene para el coeficiente de atenuación/dispersión K valores que van desde $8,5 \text{ m}^{-1}$ en P1 a $6,4 \text{ m}^{-1}$ más al sur, área de Asunción.

La conductividad también aumenta; Bella Vista-Mburicao fue alta, aunque después se recupera por los efectos de dilución y eventual precipitación.

El tenor de OD también sufre depresión, pero sus valores se recuperan ya alrededor de 500m aguas abajo. Así mismo, y como es de esperar, su tenor está en relación con los vientos: en la campaña 1 se registraron vientos de 10-12 nudos N.E (siguiendo la dirección del río) los valores medidos son más altos que en otras con vientos de menor intensidad.

Se evidencian los efectos de las descargas urbanas en Concepción con un cierto aumento de las concentraciones de sustancias amoniacales y fosfatadas; estas últimas alcanzan niveles de riesgo respecto de fenómenos de eutrofización; en el tramo hasta Asunción se mantiene su concentración pero aumenta sensiblemente debido a las descargas urbanas/emisarios: Después de Asunción el río aproximadamente mantiene/recupera sus concentraciones hasta Villa Oliva con aumento perceptible en Pilar. Con relación al $N.NH_3$ después del efecto de descarga, disminuye notablemente por fenómenos de oxidación; en las zona de la Capital, en el emisario Bella Vista/Mburicao primero y en el emisario Varadero después se verifican picos notables de este tipo de sustancias con cargas noveles en torno a la descarga emisarios/urbana. Nótese los cambios que se producen en el litoral de Asunción

Penetración de la radiación: La transmisión de la radiación en el cuerpo de agua es de fundamental importancia en las reacciones fotoquímicas que se verifican en él. En el estudio se verificó que la transparencia disminuye hacia la ribera y aumenta hacia la “correntada” con valores relativamente bajos y está en relación con los S_s.

Las mediciones de 2000 señalan que la radiación es atenuada hacia la ribera. El coeficiente de atenuación es la suma de los de absorción y de dispersión. La distribución de partículas ocurre según su tamaño las de menor tamaño son las más numerosas pero las grandes tienen gran eficiencia para la dispersión o *scattering* de la luz; su sección eficaz de dispersión es alta, muchas veces mayor que la geométrica y la relación σ_s/σ_{geom} es mayor que 1; valores típicos para partículas inorgánicas en aguas naturales están alrededor de 1,17; para tamaños mayores que 2 μm es de aproximadamente 3,2 [13]. De esta manera el valor de la *Radiación Disponible Fotosintéticamente* (RDF) rápidamente disminuye hacia la costa y en la zona de Asunción mucho influyen las descargas. Los promedios de

los coeficientes de atenuación/absorción son como sigue para valores promedios aproximados de transparencia .

	$D_{s(Pr) m}$	Máx.	Mín.	$K_{pro.(m^{-1})}$	Máx.	Mín.
Concepción	0,175	0,2	0,14	9,1	11,7	8,0
Asunción N	0,18	0,25	0,15	8,9	10,7	6,4
Asunción S	0,217	0,25	0,18	7,4	8,9	6,4
Villa Oliva	0,18	0,22	0,15	8,9	10,7	7,3
Pilar	0,29	0,23	0,2	7,3	8,0	6,9

Nutrientes: *Serie del fósforo:* Los fosfatos totales incluyen a todas las formas de fósforo en sus distintas especies presentes en el agua y su conocimiento ilustra la situación general del nutriente en ella. En esta clase de estudios se apunta a relacionarlas con el desarrollo del fitoplancton y en general a los productores primarios; están ligados en ciertos casos a los fenómenos de eutroficación: tenores del orden de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ o mayores pueden impactar sensiblemente en la vida acuática. Tanto en Concepción como en Asunción y en Pilar los tenores registrados se hallan en ese orden y en algunos casos sensiblemente superiores.

Respecto de la *serie del nitrógeno*, tanto el nitrógeno amoniacal como los nitritos son considerados como las formas mas dinámicas del nitrógeno en los cuerpos de agua. Si el agua tiene apreciable cantidad de oxígeno disuelto, debido a su potencial de oxidación, los nitritos se oxidan fácilmente a nitratos. En disolución acuosa, el NH_3 se comporta según: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ siendo la forma no disociada la tóxica; en el caso presente, aún con los valores inusualmente altos registrados próximos a las descargas, la concentración del compuesto solvatado no disociado, resulta baja para eventuales efectos tóxicos [14]; este proceso depende del pH y de la temperatura. Nótese la disminución importante desde Concepción hasta Asunción, de los amoniacales que sufren procesos de oxidación; este efecto es un *indicador* importante de la dinámica físico-química del curso de agua: el elevado caudal y sus consecuencias sustanciales de dilución, los cambios en los coeficientes de absorción de radiación, la alta concentración del OD, tienen un rol director. Esto se confirma con el comportamiento en la ribera de Asunción bastante similar.

Bahía de Asunción:

Los resultados en muestras de agua se indican en la **tabla 3a**.

A medida que la colecta de muestras se desplaza en el interior de la bahía, los resultados señalan que va aumentando la concentración de buena parte de las sustancias analizadas. De esta manera el cuerpo hídrico va acumulando sales,

Tabla 3a Resultados de parámetros físico-químicos

Parámetros	BAHIA				R.Paraguay
	Punto 1 Entrada a la bahía	Punto 2 Frente Aduana	Punto 3 Frente Chacarita	Punto 4 Prxmo cabecera	Toma Essap
pH	7,4± 0,1	7,1 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,6± 0,1
Conductividad	204 ± 2	366 ± 2	410 ± 3	479 ± 3	130,8± 3
Oxígeno Disuelto(mg/L)	4,5 ± 0,2	4,0 ± 0,2	4,3 ± 0,2	3,2 ± 0,2	7,0 ± 0,1
Alcalinidad(mg/LCaCO ₃)	30,0 ± 0,4	35,7±0,4	37,0±0,4	40,7±0,6	34,25±0,6
Dureza total (mg/lCaCO ₃)	24 ± 0,4	32±0,5	38±0,6	44±0,6	38,25±0,4
Calcio(mg/LCa ⁺²)	8,42 ± 0,2	10,8±0,2	12,4±0,4	14,8±0,4	11,92 ± 0,2
Magnesio(mg/LMg ⁺²)	0,72±0,02	1,2±0,02	1,68±0,02	1,68	2,23
Cloruros(mg/LCl ⁻)	37,15±0,8	40,5±1,2	45,6±1,6	45,4±1,4	NA
Sulfato (mg/LSO ₄ ⁻²)	12,5 ± 0,5	12,5±0,5	12,5 ± 0,5	13,7±0,6	9,53±0,5
Amoniaco (mg/L NNH ₃)	0,10±0,00	0,18±0,0	0,15±0,07	0,23±0,1	0,080±0,00
Nitratos (mg/L NNO ₃)	0,10 ± 0,0	0,12±0,0	0,8±0,1	0,3±0,1	NA
Ortofosfato(ug/LPO ₄ ⁻³)	50 ± 2,5	80±4,8	80±4	80±5	NA
Fosfato total(ug/L PO ₄ ⁻³)	200 ± 10	295±18	295±15	345±20	100±4,8
DQO (mg/L O ₂)	10,9 ± 0,3	10,0±0,3	10,14±0,3	11,6±0,3	NA
Sol.totales (mg/L)	182 ± 10	264±18	289±15	304±18	NA
Sol.disueltos (mg/L)	151 ± 7	226±14	252±14	268±16	NA

nutrientes, materia orgánica; al *inicio en BI*, los tenores de estas sustancias no están muy alejados de lo valores normales de cloruros, sulfatos, compuestos amoniacales, fosfatos etc que tiene el Río Paraguay aunque el contenido de OD

ya disminuye sensiblemente. Las **fig 3 a y 3b**. ilustran apropiadamente esta dinámica. Debe señalarse que en la Bahía descargan tres emisarios de ESSAP.

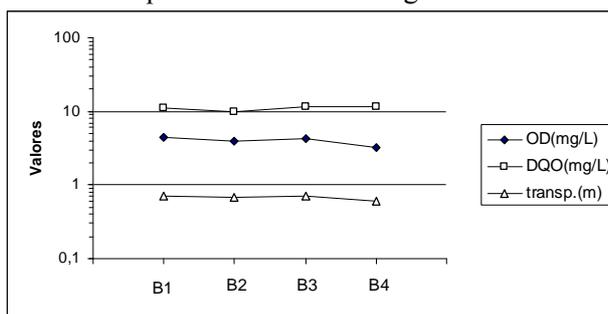


Fig 3a Variaciones de valores de parámetros seleccionados a partir de la boca de la Bahía

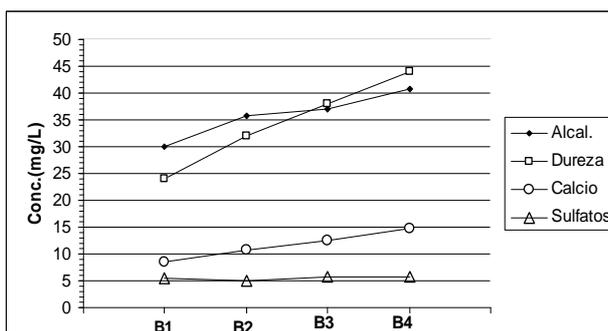


Fig 3a Variaciones de valores de parámetros seleccionados a partir de la boca de la Bahía

El contenido de fosfatos está por encima del valor máximo recomendado de 100 $\mu\text{g/L}$; cuando se trata de o-fosfato soluble ie asimilable por los productores primarios en forma directa, el máximo recomendado es de 10 $\mu\text{g/L}$. Debe recordarse que se considera al fósforo como elemento limitante [15] aunque se ha visto que en ciertos casos el elemento limitante es el Fe^{+3} por la formación de FePO_4 insoluble [16] y cuya especiación en el estado sólido se pudo hacer mediante la técnica de Mossbauer [16]. Cuando la concentración de OD es alta, generalmente todo el Fe está presente como férrico. Este no es acá el caso ya que las concentraciones de OD halladas en la Bahía van desde 4,5ppm en la boca, a valores tan bajos como 3,2 ppm hacia la cabecera; únicamente organismos tolerantes proliferan en estas

condiciones, siempre y cuando no estén presentes sustancias tóxicas que empeoren la situación. Así mismo el contenido de N-amoniacal es relativamente alto aunque del mismo orden que sus tenores en el río Paraguay.

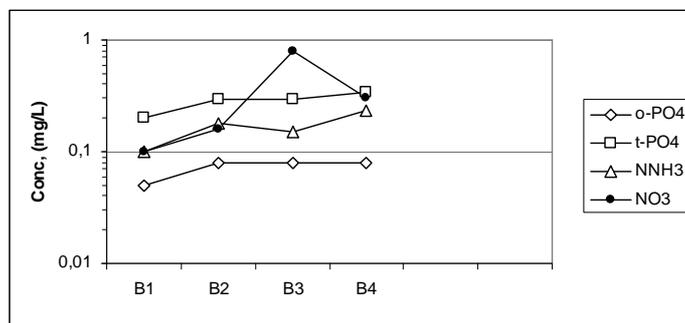


Fig 3c. Aumento de conc. de nutrientes; B3 comportamiento peculiar.

Sedimentos de Fondo y en suspensión:

Las muestras de sedimentos de fondo fueron empleadas para estudios geoquímicos y de contaminantes metálicos [8]. Con relación a esto último,

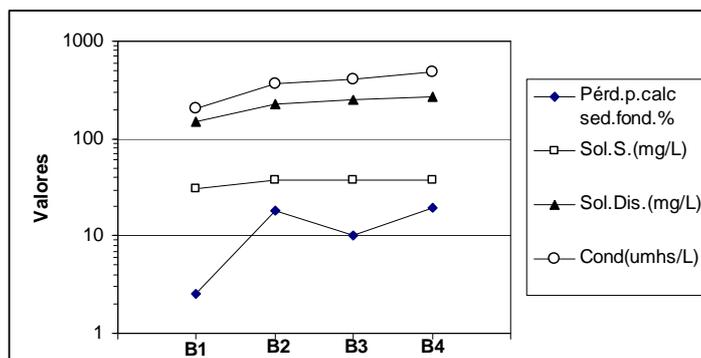


Fig3d Valores de parámetros selectos; conduct. S.D y SS con patrones similares. Los SF aumentan hacia adentro; B3 se orienta a B1

fueron investigados entre otros varios, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb.

Los sedimentos se colectaron en los mismos sitios de la colecta de agua con transparencias de 0,70m, 0,68m, 0,7m y 0,6m, de B1 a B4. Los resultados del análisis textural (que se debe al Prof. P.Alonso) así como las pérdidas por calcinación a 450 y 600°C después de desecadas, son como sigue:

	Arena fina %	Arcilla %	Limo %	Clase textural	Pérdida p. calc. %	
					450° C	600° C
B1	50 a 52	28 a 32	16 a 22	Franco arcillo arenoso	0,15	0,33
B2	50 a 52	35 a 38	10 a 15	Arcillo arenoso	2,8	3,35
B3	52 a 55	35 a 40	5 a 13	Franco arcillo arenoso a arcillo arenoso	1,0	1,13
B4	58 a 60	25 a 30	10 a 17	Franco arcillo arenoso	1,94	2,43

Las concentraciones de los elementos metálicos analizados en general fueron más elevadas que las registradas en los estudios [5] y en [7] con valores notablemente bajos. El riesgo potencial se evaluó tomando como referencia los valores estandar de la costra superior y los resultados de Clarke. El riesgo potencial no parece ser elevado.

Respecto de los elementos incompatibles un resultado geoquímico importante señala que B1 y B3 tienen similares arcnogramas referidos al manto primordial del tipo de las rocas blandas del sustrato [17] mientras que en B2 y B4 los arcnogramas, similares entre sí pero diferentes a los anteriores, tienen impronta de los sedimentos en suspensión del Río Paraguay.

Los resultados permiten estimar así mismo algunos *aspectos hidrodinámicos*:

El nivel de agua en la bahía está regulado por los pulsos del río Paraguay, inundando el área en otoño-invierno, y retrocediendo sus aguas durante la primavera-verano.

Durante la época de estiaje, se acrecienta el proceso de sedimentación de los sólidos suspendidos (aumenta la transparencia) y la disposición de las formas de los fondos. Los aportes de los distintos componentes de los sedimentos, fundamentalmente provienen de las aguas del río Paraguay que ingresan en la bahía. Así mismo, son complementados con los aportes provenientes de las descargas de residuos cloacales provenientes de la ciudad que evacuan directa

mente en la bahía y de los desechos provenientes de frigoríficos, graserías, empresas constructoras y camiones recolectores de basura. Otro factor a tomar en cuenta, es el aporte de materiales superficiales y del sustrato, provenientes de las rocas blandas [17] y suelos erosivos de la ribera, que son arrastrados hacia el cauce de la bahía por los caudales provenientes de las precipitaciones suscitadas en la cuenca o por intemperismo químico.

En la época de crecidas, la corriente del río Paraguay, inunda la cuenca de la Bahía y dependiendo de la magnitud de la crecida, aporta con materiales de arrastre, sedimentos y materiales en suspensión, del mismo modo que origina un movimiento de las masas de agua, alterando las formas de los fondos. Cuando empieza el descenso de los niveles en la bahía, el excedente de agua superficial recircula y es evacuado hacia la salida, hasta el nivel máximo de retención que tiene la bahía. En este proceso de descenso del agua, los materiales que fueron depositados en el borde externo quedan como bancos de arena depositados formando las playas. Así mismo, los sedimentos que quedan dentro de la bahía comienzan a decantar y forman parte del lecho de fondo y permanecen en forma estable hasta tanto otro evento hidrodinámico altere dichas condiciones.

Debe señalarse que además la acción antrópica influye directamente en la alteración de la formación de las capas de sedimentos y remoción de los materiales, como son el dragado del lecho de fondo navegable dentro de la Bahía y la extracción de material (refulado) para su utilización en la construcción de la franja costera, alterando sustancialmente las formas y contenidos de los fondos.

Al ingresar el agua en la bahía transporta material de arrastre que es depositado en el lecho y con el refluo y el descenso de niveles se produce un efecto contrario que es la remoción de las capas superficiales erosionables modificando la estructura de las riberas.

El sistema es de dinamismo permanente, es decir la corriente de agua ingresa y se mezcla con el agua retenida existente, produciéndose una circulación de la masa de agua, para luego iniciarse el refluo inmediato retornando el caudal excedente al curso principal del río. Ese efecto se produce hasta que el agua en descenso alcanza el nivel máximo de retención que tiene la cuenca de la bahía y no recibe mayor aporte de agua del cauce principal. Bajo estas condiciones se produce un intercambio de energía, sirviendo el agua retenida existente como un “colchón” amortiguador para disipar la energía proveniente de la corriente, de esta forma protege los efectos agresivos y erosivos que pueden suscitarse en las riberas y en

las rocas blandas del sustrato por el efecto que las crecidas tiene sobre las napas acuíferas y el posterior intemperismo químico. Se puede considerar en estado estacionario, cuando las aguas de la bahía se encuentran en sus niveles mínimos, con exiguo intercambio de masa y energía, generando cierta estabilidad en los fondos y la formación de capas de sedimento. Sin embargo cuando hay aporte de agua de la corriente y ascenso de los niveles se produce un intercambio dinámico de materia y energía, que pueden alterar sustancialmente la masa de agua, el lecho de fondo y las riberas.

Referencias

- [1] **González Erico E, Alonso P**, Cambios d Uso del suelo y Formaciones vegetales. Rev. Soc. Cient. Paraguay, 18, 191-208 (2012).
- [2] **Desarrollo Regional Integrado del Chaco Paraguayo**.-Gobierno del Paraguay y Secretaría General de la OEA (1983)
- [3] **De Salvo O.**, (1997) Geología Región Occidental del Paraguay en: Diagnóstico Ambiental Informe de Hydroconsult al Ministerio de Obras Públicas. Asunción. (1997).
- [4] **Facetti Masulli, J.F.; Lozano, F.; Almada, G.** Efectos químicos y bacteriológicos de las descargas del emisario Bellavista en el R Paraguay.- Hydroconsult .-Informe a Corposana- Paraguay (1994).
- [5] **Facetti (Jr.) J.F.; Van Grieken R.** Heavy Metals in sediments from the Paraguay River: a preliminary assessment. *The Science of the Total Environment*, 209, 79-86(1998).
- [6] **Facetti Masulli, J.F.; Lozano, F.; Urbietta, A.; Delgado M.** Estudios de calidad de agua: hidroquímico sumario y bacteriológicos en el R Paraguay. Informe Hydroconsult a ESSAP.(2000).
- [7] **Relatorio de Impacto Ambiental** Informe de Abt inc a la Municipalidad de Asunción . Proyecto Franja Costera(2004).
- [8] **Facetti Masulli, J.F, Flores F, Kump P.**, Geochemical studies and elemental contaminants in the Bay of Asunción J Chem Chem Engin. Accepted for publication (2013).
- [9] **Standard Methods** for the examination of Water and Wastewater. Eaton A, Clesceri L, Greenberg A eds. United Bond Press.Washington DC (1995).
- [10] **Facetti Masulli. J F, Lozano F., Schade F.(+), Urbietta A., Dávalos A.** Estudios Hídricos en el Lago Ypacarai (I).Rev. Soc. Cient. Paraguay. Tercera Época, Año X, nº 18, 85, (2005).
- [11] **DIGM:** Carta Nacionales y de Asunción Carta & Planimetría .Fotografías aéreas ,1984, 5370 II, (1985).
- [12] **Facetti Masulli. J. F., Kump P., Díaz Z. V. de.:** [Selected trace and minor elements in sediments of Itaipú dam. Czechoslovak J. of Physics. 53, 209. \(2003\).](#)
- [13] **Kirk J T.,** Light and photosintesis in aquatic ecosystem. Cambridge university press-Cambridge (1986)

- [14] **Hutchison G.S.** A treatise of Limnology. Vol II Chemistry of Lakes. J. Wiley & Sons. N.Y., (1967).
- [15] **Allen H., Kramer J.R.** Nutrients in Natural Waters. J. Wiley & Sons. N.Y. (1972)
- [16] **Vvelazquez R, Alviso R, Facetti Masulli, J F** Sediments of Ypacarai Lake . J Radioanal & Nucl Chem *161*, 233-238 (1992)
- [17] **Facetti Masulli. J. F., Kump P.; Bosio J.J.** Selected trace and minor elements in Asunción soft rocks. *Czechoslovak J. of Physics*, **2006**, *56*, 257-264.