# ARTÍCULO ORIGINAL / ORIGINAL ARTICLE

# Nitrógeno, fósforo y sedimentos en el Arroyo Itay I

# I Nitrogen, phosphorus and seston in the Itay Brook

Fernando Lozano<sup>1</sup>, Alicia Dávalos<sup>1</sup>, Mirna Delgado<sup>1</sup>, Juan F Facetti Masulli<sup>1</sup> Hydroconsult SRL. Asunción, Paraguay.

Autor de correspondencia: Hydroconsult@click.com.py

DOI: https://doi.org/10.32480/rscp.2018-23-1.67-82

Recibido: 20/12/17. Aceptado: 27/03/18.

Resumen: El Itay, arroyo urbano de bajo caudal de extensa cuenca en el Gran Asunción desemboca en el San Francisco, brazo del río Paraguay; en su curso incorpora importantes cantidades de sedimentos, y es colector de abundantes desechos de diverso tipo: municipales, domiciliarios, industriales, lecheros etc. El trabajo estudia el comportamiento de dos nutrientes fundamentales nitrógeno y fósforo asociados a los registros del seston y a los de las demandas química y bioquímica de oxígeno en sus aguas.

Palabras clave: Itay, arroyo urbano, nutrientes NyP, seston, cianobacterias, bacterioplantófagos.

**Abstract:** The Itay, urban low-flow stream of large basin in the Great Asunción, flows into the San Francisco, a branch of the Paraguay River; in its course it incorporates significant amounts of sediments and abundant waste of various types: municipal, residential, industrial, dairy etc. The work studies the behavior of two main nutrients, nitrogen and phosphorus associated with the records of the seston and to chemical and biochemical demands of oxygen in its waters

**Keywords**: Itay stream, urban brooks, N and P nutrients, cianobacterias, bacterioplancton phages.

## 1. INTRODUCCIÓN

El arroyo Itay define la cuenca hidrográfica más extensa del Gran Asunción, con un área de alrededor de 129km2 y un perímetro de casi 60km (1). Geomorfológicamente, el cauce se inserta en una planicie de notable control estructural; la edad de este material sedimentario aún no está bien establecida (2) y ha sido considerada como pertenecientes al triasico superior (3), terciario (4, 5), Cretáceo (6); los suelos aún no han sido estudiados en su totalidad pero *sensu latu* pueden ser considerados como acrisol haplico (7) franco arenoso en superficie (40cm), sueltos y friables; franco arcilloso de mediana consistencia en profundidad, susceptibles a la erosión.

Su cauce principal, de 20,68 km, discurre en dirección norte con numerosos afluentes en la margen derecha y sin ningún tributario en la izquierda. Es del tipo de segundo orden de Horton (8). En Asunción tiene una de sus nacientes en el barrio Luis Alberto de Herrera; otra, detrás de la estación de servicio, ubicada en Mcal López y Mme Lynch. El cauce total presenta una longitud de unos 59Km.

En su recorrido, toca, además de Asunción otras ciudades tales como Fernando de la Mora, Luque, Mariano Roque Alonso, para desembocar en el Riacho San Francisco que es un brazo del Río Paraguay en el distrito de Limpio. Uno de los tributarios más importantes es el Abay que nace en Luque y refuerza las aguas del Itay en el sitio denominado Loma Pyta.

A lo largo de su curso, además de la incorporación de sedimentos resultantes de procesos erosivos el arroyo es colector de diversos tipos de desechos que van desde los residuos domésticos pasando por los industriales tales como desechos de frigoríficos, curtiembres, fábrica de pigmentos, fábricas de prendas de vestir etc. En consecuencia, va incorporando contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, tóxicos algunos, de riesgo potencial otros. Todos estos factores afectan en mayor o menor grado a la biota acuática.

Así mismo la claridad del agua se ve comprometida y la concentración de radiación fotosintética disponible (RFD) también disminuida.

La vegetación original boscosa sufrió fuertes alteraciones principalmente por la presión antropogénica. La vegetación de tipo marginal ha sido destruida y se ha transformado en pequeñas islas de bosques del tipo de los de las zonas densamente pobladas.

En este trabajo, ampliación de otro anterior (9), son examinadas ciertas características de la dinámica de los nutrientes, del ambiente fotónico submerso así como del riesgo por la incorporación de sedimentos y contaminantes en el cuerpo hídrico.

### 2. METODOLOGÍA

#### Colecta de muestras

Las muestras fueron colectadas en superficie, y los sedimentos con draga tipo Eckmann. Fueron preservadas de acuerdo a lo estipulado en los Standard Methods for Examination of Water and Waste Water, 22 Edition.

#### Frecuencia

Fueron realizadas en un periodo de 6 campañas mensuales de colecta de muestras para análisis laboratoriales. Los análisis in situ se ejecutaron 6 veces por mes en el periodo.

#### Estaciones de colecta

Fueron estudiadas muestras de agua y sedimentos provenientes de cinco estaciones en el Aº Itay y una el Aº Abay: M3-M4-M5-M6 –M7- M8, así designadas para mantener la secuencia del trabajo mencionado<sup>1</sup>\*. La estación M3 se ubicó en un sitio en que el Itay se desplaza en canales en una zona totalmente urbanizada muy poblada y próximo a una industria frigorífica; las demás estaciones corresponden al curso de un arroyo normal; M8

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Las coordenadas de las mismas son como sigue:**M3** S: 25 17 44"9 y W 57° 32` 36"9; **M4** S 25 16 29".5 y W 57 32 31".3; **M5** S: 25 17 44"9 y W 57° 32 36".9; **M6** S: 25° 15 33".7 W 57° 32 06"; **M7** S 25° 12 51".5 W 57° 30 46".9; **M8** S 25° 9 01".4 Y W 57° 31 21".3.

se sitúa en la desembocadura del Itay en un brazo del río Paraguay conocido como riacho San Francisco. M5 corresponde al Aº Abay. Debe señalarse que posterior al desarrollo de estos estudios la empresa propietaria mudó su planta frigorífica en cuya cercanía se había escogido M3.

Ello requirió el desarrollo de nuevos estudios que serán objeto de una próxima presentación.

#### **Procedimientos**

Tanto la colecta de muestras de agua, mediciones y análisis in situ, análisis en laboratorio e investigaciones microbiológicas (plancton & bacteriología) fueron realizados por métodos establecidos (10, 12). El estudio de los sedimentos se tratará en la 2º parte.

In situ fueron determinados Temperatura, pH, transparencia y oxígeno disuelto (OD), conductividad.

En laboratorio se determinó: sólidos en suspensión (seston), turbidez, fósforo total; N-amoniacal, N de Kjeldahl, N-nitrato; demanda bioquímica de oxigeno (DBO), demanda química de oxigeno (DQO), fitoplancton, bacteriología, así como otros parámetros fisicos, quimícos y biológicos que no son tratados acá.

#### 3.- RESULTADOS

#### In situ:

**Temperatura:** Los parámetros investigados *in situ* señalaron que la temperatura del agua varió entre 20 y 29°C en acuerdo a las estaciones (otoño e invierno); sabido es su efecto en el cambio de densidad de la columna de agua, en la disolución de sales, así como de su importancia en el desarrollo de la vida acuática.

**pH**: de gran significado para los cuasi equilibrios y estados estacionarios físico-químicos.

En cada punto se observó una notable variación del pH (de hasta 1.8 unidades en M3) a lo largo de las campañas. Sin embargo, los valores registrados se encuentran en el rango considerado como valor imperativo según normas internacionales, de 6 a 9 unidades. El punto cuyo pH fue el más alto registrado en la mayor parte de los muestreos fue M3 cuyo máximo fue 8.4 y el promedio global fue 7.51 unidades.

La variación de este parámetro se debería a la naturaleza de los efluentes descargados en el área de estudio, a la descomposición de la materia orgánica, a la temperatura que favorece las reacciones químicas, así como también el efecto de dilución provocado por las aguas de escorrentías provenientes de las lluvias.

**Transparencia:** o claridad está relacionada con su clima fotónico. Fue baja en todos los casos. Se manifestó muy dependiente de las lluvias y del arrastre de sedimentos. Además de las características "filtrantes" *per se* del agua para la radiación, la presencia de materia en suspensión así como sustancias en disolución, por absorción, dispersión etc atenúan la radiación y afectan la claridad/transparencia de aquella (13, 14).

Dado que el arroyo es somero desde M3 a M6 (25-80cm), la claridad bajo condiciones

aceptables debería ser total o casi total; sin embargo el promedio de las seis campaña por estación fue  $Ds \sim 0.13m$  con máximo de 0,17m en M8 y mínimo de 0,09m en M3. El promedio global es  $Ds=0.135\pm0.03m$ . Por consiguiente los coeficientes de atenuación  ${\bf k}$  altos (  $k_{prom}=C$   $D_s^{-1}=12.6m^{-1}$ ) es decir, muy limitada la penetración de luz y por consiguiente la concentración de fotones de la radiación fotosintética disponible (RFD).

**O.D.**: la concentración del oxígeno en disolución en todos los puntos de muestreo fue muy baja. En los puntos medios de la cuenca, M3 aM6, el valor promedio de OD fue muy bajo indicando gran consumo del mismo por parte de la materia orgánica (MO). Tanto en M3 como en M4, en la mayor parte de los muestreos no fue detectado (anoxia) o fueron registrados valores muy bajo (hipoxia). En M3 el valor promedio fue de 0,31mg L<sup>-1</sup> (la mediana un registro de 0 mgL<sup>-1</sup>); el valor máximo fue de 3,6 mg L<sup>-1</sup>.

Tabla 1: Amplitud de valores de parámetros seleccionados

Estación	N orgá	inico			N amo	niacal			N de n	itratos			
	Máx	Mín	Medio	σ	Máx	Mín	Medio	σ	Máx	Mín	Medio	σ	
M3	86,4	3,2	34,69	35,51	44,59	2,85	20,24	14,4	30,4	0,064	13,6	10,4	
M4	16,0	2,4	8,8	4,3	24,4	2,46	11,21	7,71	27,3	0,128	7,24	9,45	
M5	12,0	2,1	7,0	4,3	14,7	0,73	8,36	4,49	23,9	0,064	7,39	7,87	
M6	18,8	1,8	8,6	6,4	19,11	4,88	10,88	4,88	11,7	0,16	4,1	3,79	
M7	14	1,2	5,5	4,2	17,08	5,23	10,61	4,48	14,3	0,007	4,67	4,49	
M8	33,6	0,9	12,6	10,2	18,13	5,72	11,27	4,26	15,9	0,013	5,44	5,59	
		BOD				COD				Fosforo total			
	Máx	Mín	Medio	σ	Máx	Mín	Medio	σ	Máx	Mín	Medio	σ	
М3	236	6,94	133,5	88,9	268	24,8	141,5	106,5	6,95	0,58	3,38	1,97	
M4	13	7,1	17,9	11,4	22	11	16,13	4,17	2,0	0,28	1,04	0,58	
M5	18	5,2	15,4	10	34	11,3	22,7	8,0	2,1	0,53	0,93	0,54	
M6	25	7,0	15	7,33	31,9	10,6	21,2	6,48	2,75	0,63	1,11	0,83	
M7	18,6	3,9	9,3	4,77	39,2	15,5	21,88	8,42	1,75	0,5	0,98	0,63	
M8	21,65	5,5	10,8	5,2	28,0	16,3	22,6	3,32	1,59	0,58	0,89	0,46	

En M8 el nivel de oxígeno disuelto se recupera, registrándose valores de hasta 4.9mg/L. con un promedio 1,9 mg L<sup>-1</sup>. Este aumento se debe probablemente a las aguas del Paraguay en su brazo Riacho San Francisco, que contiene niveles comparativamente altos en OD, que penetra en el estuario formado por el arroyo Itay en su desembocadura con el mencionado riacho.

**Sólidos en suspensión**: los sólidos en suspensión (SS) analizados corresponden al Seston (tripton+MO). Se registraron de ellos valores muy altos. En el punto M3 el máximo fue de 3.816mg/L, siendo el promedio general igual a 432,6mg/L y el mínimo de 40mg/L. El promedio menor, 140,2 mgL<sup>-1</sup>., fue registrado en M7 con mínimos y máximos de 8 y 845mg/L respectivamente.

Los picos ocurren luego de los episodios de lluvia, en donde el arrastre de sólidos de la superficie es mayor a causa de la escorrentía o raudales. En períodos de sequía la variación está sujeta aparentemente al régimen de descargas de efluentes industriales/domésticos en la cuenca.

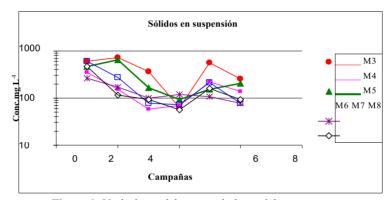


Figura 1: Variaciones del seston a lo largo del curso.

En la (figura1) se ve la variación de este parámetro de muy elevado efecto en las aguas de este arroyo. Por ejemplo, el análisis de regresión de los respectivos promedios señala la fuerte correlación negativa con la transparencia: r = -0.90.

**Turbidez** ( T): La turbidez T (promedio por punto en las seis campañas) registrada en todos los puntos de muestreo se encuentra entre 72,8±74 (M4) y 271± 134NTU (M3) (nótese la enorme dispersión de los tenores). Los valores máximos y mínimos determinados fueron 1090 y 2,4 NTU en M3 y M4 respectivamente.

La (figura 2) presenta su variación a lo largo de las campañas, con tendencia similar a la de los SS (figura 1).

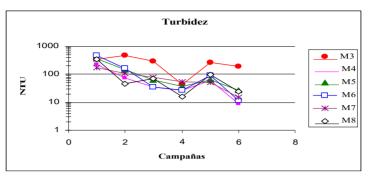


Figura 2: Valores promedios de Turbidez en las estaciones.

Es interesante señalar la fuerte correlación existente entre la concentración del seston y la turbidez a lo largo de las 6 campañas. En efecto en el punto M3, entre  $\mathcal{T}y$  SS, el factor de correlación r = 0.93; en M4, r = 0.88; en M5 r = 0.66; en M6 r = 0.99; en M7 r = 0.96; en M8 r = 0.99. El menor valor del factor r se da en M5 es decir, en el A° Abay. Así mismo el coeficiente global incluyendo al Abay es r = 0.90.

Se concluye que la turbidez Tdepende esencialmente de los sedimentos en suspensión SS y en mucho menor grado tal vez del *gilvin*.

#### **Nutrientes**

Los nutrientes de interés específico en este trabajo son el fósforo y el nitrógeno.

**Fósforo** El fósforo, al igual que el nitrógeno, es esencial para la vida de todo organismo acuático. Está íntimamente relacionado con la energía almacenada y liberada del biosistema. El elemento en los cuerpos de agua se presenta como ortofosfato, polifosfatos y fosfatos orgánicos. El conjunto de estas formas químicas se conoce como fosfato total y se determina como tal.

La **tabla 1** presenta la amplitud de los valores de P-total registrados.

El elemento se incorpora al agua, proveniente de minerales y suelos, drenaje de agricultura y descargas domésticas e industriales, y de la liberación y degradación de materia orgánica. En el agua, la dinámica del fósforo está asociada a los procesos de sedimentación, adsorción y solubilización, consumo de fósforo contenido en la biomasa y procesos naturales de transferencia.

Es generalmente de origen alóctono En estudios anteriores (15, 17) en cuerpos de agua superficiales del Paraguay los compuestos de fósforo y los de nitrógeno se mostraron como eminentemente de ese origen. Constituyen un índice importante de la contaminación exógena.

La (figura 3) señala el comportamiento del parámetro a lo largo del estudio,

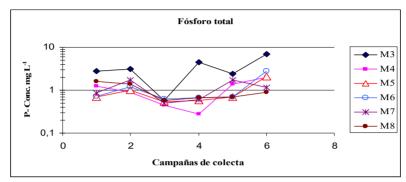


Figura 3: Variación de la concentración promedio de fósforo a lo largo del estudio.

El fósforo soluble, es aprovechado directamente por el fitoplancton. Pero además, todas las formas de fósforo representan una fuente potencial de nutrientes como resultado de la biodegradación e hidrólisis. También el contenido en la materia suspendida o sedimentos de las muestras, mantiene un intercambio dinámico con las fracciones del medio acuoso. Afecta a la biomasa y la productividad de la comunidad fitoplanctónica. En las concentraciones presentes debería impactar sensiblemente a dicha comunidad puesto que están muy por encima de los índices críticos *eutróficos*, estimados en 50 μg/L para ofosfatos y 100μg/L para P total.

Señalemos que etimológicamente *eutroficar (del griego)* significa incrementar/mejorar el contenido de nutrientes en un cuerpo hídrico lo que puede producir la explosión demográfica con todas las consecuencias conocidas.

**Nitrógeno:** La presencia de nitrógeno fue investigada en las formas de nitrógeno orgánico, amoniacal y de nitrato. La amplitud de los tenores obtenidos, los promedios y su desviación se registran en la **tabla 1.** Los compuestos orgánicos nitrogenados incluyen una gran variedad productos de descomposición, desde proteínas hasta sustancias más simples como amino ácidos, urea, alkilaminas etc. Por mecanismos de hidrólisis, y enzimáticos, generan compuestos amónicos; éstos por oxidación dan nitritos, cuyo potencial de oxidoreducción permite una fácil oxidación a nitratos. Se incorporan a un cuerpo de agua por los efluentes, arrastre por escorrentía superficial, descomposición de materia orgánica etc.

Debe recordarse que, salvo en días de lluvia o inmediatamente posteriores a ellas, el curso en M3 es de muy escaso caudal, por lo que el material que se incorpora sólo por los efluentes (sin dilución) determina la muy elevada concentración de este parámetro. Después de M3 el curso se enriquece con pequeños afluentes, siendo en M4, el típico de un arroyo y por efecto de dilución la concentración disminuye. En el tramo de M7 a M8, de nuevo aumenta.

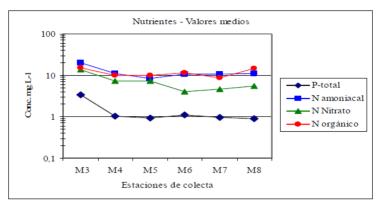
Con relación a los compuestos amoniacales, debe señalarse que en disolución acuosa, el NH<sub>3</sub> se comporta según: NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O = NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + OH<sup>-</sup> siendo la forma no disociada la tóxica (NH<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O) (18) que en el caso presente, dado el alto valor registrado del parámetro, la concentración de la forma no disociada es de alto riesgo para la biota (19). Así a pH=7, para el valor de 26,1 mg/L en amoniaco acuoso que es el promediado de la tabla 1 resulta una concentración de  $\sim 22$ mg/L del compuesto no disociado, extremadamente alta y tóxica.

Productos finales de la oxidación de los amoniacales, los nitratos a concentraciones elevadas son de riesgo para la salud (metahemoglobinemia); en general las legislaciones establecen como máximo para el agua potable una concentración de 10mg L-1. La tabla 1 señala que los valores máximos registrados en todos los casos sobrepasan ese límite superior. La gran mayoría de los nitratos inorgánicos son muy solubles en agua.

Concluyendo, el curso está muy contaminado por compuestos de este elemento con aportes importantes de las formas orgánica, amoniacal y de nitratos.

La concentración total de nitrógeno es significativa en consideración del aspecto trófico del cuerpo de agua. El nitrógeno es normalmente utilizado por el fitoplancton (algunas veces nitrógeno atmosférico) en la síntesis de la biomasa. Es oxidado por bacterias y otros heterótrofos e incorporado a la biomasa o en otros casos, son transformados sus compuestos.

Desde el punto de vista de su etimología y las consecuencias fisicoquímicas del sensible aumento de la presencia de nutrientes en un cuerpo hídrico, se puede concluir que tanto el Itay como el Abay están altamente eutroficados.



**Figura 4:** Variaciones de valores promedios de fósforo y nitrógeno a lo largo de la colecta

En la (figura 4) están graficados los valores promedios de los registros a lo largo de las colectas tanto de fósforo como de nitrógeno que señala tanto el flujo de los nutrientes como los procesos de precipitación, muy marcado entre M3 y M4. A partir de M4 los promedios se mantienen relativamente estacionarios los valores, es decir, compensados el *input* y el *output* del medio hídrico aunque en concentraciones elevadas.

# Nitrógeno, Fósforo y el Fitoplancton

La *ratio* N/P tiene un papel importante en el desarrollo del fitoplancton (20) y se estima que constituye un control biogeoquímico significativo (21, 22), junto con otros (23). En general, el efecto limitante de P se espera cuando la ratio N: P de la fuente de nutrientes es sustancialmente mayor que la media atómica de la relación de N a P en células de fitoplancton, es decir de 15: 1 (24) Una relación menor que 15: 1 sugiere al N como limitante. El suministro eficaz de nutrientes para el fitoplancton incluye tanto los insumos alóctoros como los autóctoros

En el presente trabajo, las razones de valores medios de nitrógeno total/fosfato total varió entre 8,8 (M4 y M7), a 44,5 en M3 y 16.6 en M8, confirmando la contaminación orgánica en general en todo el cuerpo y en particular en estas 2 últimas estaciones.

Conforme a datos de 17 lagos las cianobacterias tienden a ser escasas cuando la ratio es mayor que 29/1 en peso (25); en este trabajo cuando la ratio fue de 44/1 no se registraron cianofitas. La ratio N/P puede sufrir variaciones en las concentraciones donde el intercambio sedimento-agua (23) tiene un rol ya que aquellos pueden retener fósforo de manera más eficiente que nitrógeno (24); así. los insumos de nitrógeno al medio líquido pueden ser más notorios.

**Demanda Química de oxígeno:** La DQO determina la cantidad de oxigeno equivalente a la porción de materia orgánica e iones en estado reducido, presentes en la muestra, susceptibles de oxidación con un fuerte oxidante químico.

La amplitud y promedios de valores registrados en las muestras aparecen en la **tabla 2.** Los compuestos orgánicos naturales en general son degradables mediante procesos bioquímicos, con excepción de las sustancias húmicas entre otras. Las sustancias húmicas disueltas comprenden ~ del 50 al 80% del carbono orgánico disuelto (DOC) y se las considera refractarias a la degradación bacteriana, pero son afectados por foto-oxidación. Debe señalarse que estos procesos han sido poco estudiados en ambientes cálidos altamente húmicos.

Oxidantes como KMnO<sub>4</sub> y K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> se utilizan para oxidar las sustancias orgánicas naturales incluyendo las húmicas, así como buena parte de las sintéticas.

Tabla 2: Amplitud	de tenores	de la Demanda	Química de	Oxígeno.

	DQO								
	М3	M7	M8						
Promedio	141,53	38,68	22,7	21,3	21,8	22,7			
DS	116,7	29,5	8,9	7,0	9,2	3,7			
Max	268	78,6	34,0	32,0	39,2	28,0			
Min	24,8	11,2	11,3	11,0	15,6	18,3			

Es un índice importante de la calidad ecológica de las aguas.

Sus valores son parámetros importantes y rápidos para estudios de corrientes fluviales, desechos industriales etc.

**Demanda bioquímica de oxígeno:** la DBO junto con la concentración de oxígeno disuelto, es muy utilizada como indicador de la salubridad de las aguas naturales, en este caso, por la carga orgánica degradable que significa. La BOD se corresponde con el tenor del OD utilizado por microorganismos en la oxidación bioquímica de la m.o. Con el tenor de BOD5 se estima que se completa ~60-70% de la oxidación de la MO presente.

La amplitud de los tenores, así como los valores medios aparecen en la tabla 3.

Tabla 3: Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg L-1)

Thomas Diogrammen are origino (ing i )										
DBO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )										
Valores	М3	M4	M5	M6	M7	M8				
Promedio	133,46	17,93	15,4	15,0	9,3	11,89				
DS	88,98	11,36	10,09	7,34	4,77	5,11				
Máximo	236	35,5	36,0	25,0	18,6	21,7				
Minimo	6,94	7,1	5,2	7,0	3,9	5,5				

El efecto de la MO bio-deagradable en el agua se centra en la de-oxigenación que es indicada por la DBO. En ese sentido la disminución de la concentración del OD en M3, aguas abajo de la descarga es notablemente alta (133±89 mgO<sub>2</sub> consumidos.); más abajo el consumo del OD disminuye sensiblemente, pero el tenor de BOD sigue siendo alto; la dispersión relativa ronda del 50 al 66%. En M5, Aº Abay, el tenor de BOD es similar. M7 y M8 presentan prácticamente el mismo valor. Poderoso indicador de que, en todo el curso, la descarga de poluentes es alta.

#### Aspectos del Fitoplancton

En las campañas del monitoreo fueron realizados colecta y recuento del fito y zooplancton. En este trabajo son mencionados someramente los resultados del recuento del fitoplancton tal como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4: Densidad y distribución de los grandes grupos de las algas

	М 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Densidad de						
org/L	243.917	125.170	233.649	464.167	547.144	1.730.479
Cianofitas %	0	7,66	4,41	11,53	17,9	30,36
Campañas	-	III	Ι	I II	I	V
Género						
predominante	-	Oscillatoria	Oscillatoria	Oscillatoria	Oscillatoria	Microcystis
Cloroficeas %	38,2	5,68	27,25	36,2	3,56	21,3
Campañas	I II III IV V VI	I IV	I III V VI	I III	I II III IV V	I III IV V VI
Género						
predominante	Schroederia	Coelastrum /	Crucigenia	Ulotrix	Chlorococum	Ulotrix
		Oocysts				Chlorococum
Diatomaceas	61,8	84,9	68,33	52,26	79,04	48,33
%						
G .		I II III IV V	I II III IV V	I II III IV V	I II III IV V	I II III IV V
Campañas	I II III IV V VI	VI	VI	VI	VI	VI
Género		C 1 4 11				
predominante	Coscinodiscus	Cyclotella spp	Cyclotella	Cyclotella	Nitzschia spp	Cyclotella
	Cosmarium	Navicula	Melosira	Sirirella	Cyclotella	Melosira

En las muestras colectadas fueron identificados géneros de los grandes grupos Cianófitas, Cloroficeas y Diatomáceas tal como se observa en la Tabla 4 que presenta la densidad total de los organismos registrados, la distribución porcentual de los grandes grupos así como en cada cual, los géneros predominantes. La estructura del fitoplancton estuvo dominada por las diatomáceas; ellas fueron prevalentes en todos los casos.

La densidad de organismos fue baja en relación a la oferta de nutrientes del medio. De especial interés son las Cianófitas o Cianobacterias (integrantes del bacterioplancton) por sus conocidos dos aspectos distintivos (26) por un lado sus floraciones masivas con eventual producción de metabolitos bioactivos tóxicos y por otro la producción de biomasa de variopintos beneficios. Aquellas con heterocistos son organismos diazotróficos es decir, fijan  $N_2$  atmosférico; existen también algas diazotróficas no heterocísticas.

Así como las bacterias, ellas carecen de membranas en el cloroplasto, no tienen organelos. Se diferencian de aquellas por la *clorofila a* y el uso del agua como *donor* de electrones. (27). En las colectas, en M3, que fue el punto más contaminado, ellas no fueron registradas; en M8 fueron vistas Microcystis aeruginosa y Microcystis flos- aquae en la V campaña en importante cantidad. En M4 a M7 fueron registradas esporádicamente en los recuentos, especies del género Oscillatoria que son diazotróficas no heterocísticas. En general, en las cianobacterias no-heterocísticas la fijación de N se produce principalmente durante la fase oscura de un ciclo de alternancia de la luz y la oscuridad, (28), con lo que se efectúa una separación temporal entre la fijación de N<sub>2</sub> y la fotosíntesis oxigénica.

A pesar del ambiente eutrófico y de la gran oferta de fósforo (figura 3) al que son adictas, las cianobacterias tuvieron presencia relativa baja.

### Aspectos bacteriológicos

El estudio bacteriológico se centró en la determinación del número más probable NMP de coliformes y E. coli cuyos resultados aparecen en las tablas 5a y 5b.

Tabla 5a: Amplitud de los registros del NMP de Coliformes

	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Promedio	8.024.667	2.911.333	2.986.250	10.709.833	2.674.617	3.170.667
DS	7.975.412	5.868.192	5.834.153	7.481.749	5.959.294	5.769.482
Max	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000
Min	12.000	12000	5500	9000	1700	12.000

Los valores promedios hallados de los coliformes y E. coli son muy elevados; desde el punto de vista sanitario el agua estaba evidentemente muy contaminada por efluentes cloacales.

Tabla5b: Amplitud de los registros del NMP de E coli

	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Promedio	111.750	41.667	89.667	148.083	34.750	52.333
DS	106.312	71.267	117.390	93.243	73.905	68.466
Max	250.000	200.000	300.000	250.000	200.000	200.000
Min	2.000	2.000	2.000	3.500	500	2.000

Se debe estimar que en el medio estarían presentes en elevado número otras bacterias como por ejemplo otras bacterioplanctónicas además de los recuentos mencionados para las cianobacterias.

Conviene además recordar la segura presencia de virus, (caudovirales) bacteriófagos, cianófagos, E.coli fagos, pseudomonas fagos etc o simplemente fagos que se estima son 10 veces más abundantes que las bacterias: están considerados como las partículas/"entes" más abundantes y de mayor diversidad del planeta; infectan a la célula

y se replican con notables estrategias, la presión osmótica aumenta, comprometen la estructura de la pared del citoplasma hasta que ya no puede resistir ese aumento, y se produce el reventón de la célula y los virones van generando multi infecciones; se estima que aniquilan diariamente el 50 % de la bacterias reproducidas. En estudios recientes se menciona como muy probable en cursos de agua con ambiente eutrófico, una ratio virus/bacteria de 3,5 a 12 en verano húmedo a 11-35 en primavera en corrientes de agua subtropicales/tropicales (29,30).

## 4. DISCUSIÓN

En el curso del arroyo, la concentración del seston ejerció un rol preponderante: la limitación de la penetración de la luz y consecuentemente de la concentración de la RFA. Tales sedimentos entre otros factores tienen que ver con la morfología del curso ya que los aspectos morfológicos son determinantes en cuanto a la velocidad y conformación del lecho. El Itay presenta un perfil longitudinal promedio de 0,41% y por tramo de 1,18%; el perfil transversal vertiente izquierda es de 1.97% y vertiente derecha 1.24% (1).

La producción y transporte de sedimentos depende de la magnitud de las diferentes fuerzas, tanto activas como pasivas que operan en la cuenca. Ellas a su vez, de la fisiografía y del clima presente y pasado: naturaleza, cantidad e intensidad de la precipitación; orientación, inclinación y longitud de las pendientes; geología y suelos; uso de la tierra, condición y densidad de los canales.

Se ha sugerido que la erosión varía inversamente con la temperatura (31) y que la mayor erosión ocurre en los trópicos estacionalmente húmedos y disminuye paulatinamente hacia las regiones templadas y frías (32,33). Se acepta que ella tiende a un máximo con lluvias anuales de 250-350 mm; a precipitaciones superiores, la erosión disminuye debido a la existencia de mayor cobertura vegetal. Así mismo debe considerarse que en las áreas tropicales hay más actividad química lo cual contribuye al intemperismo y en consecuencia a los fenómenos erosivos.

En el Itay el factor condicionante de la deflagración de los procesos erosivos es la actividad antrópica que puede influir fuertemente en la erosión y transporte de sedimentos como ocurre en otros cursos de agua (34) o como en el lago Ypacarai y otros cuerpos hídrícos del Paraguay (35, 36).

Además de la muy elevada oferta de los nutrientes nitrógeno y fósforo debe mencionarse los altos tenores de la DQO hallados lo que señala la alta incorporación de MO y por consiguiente una buena oferta del carbono orgánico disuelto (DOC) en el medio hídrico. Las bacterias heterotróficas respiran el DOC de origen térreo generando CO<sub>2</sub> que es devuelto a la atmosfera (37). Respecto de los húmicos refractarios se debe añadir que la radiación solar puede tener un rol preponderante en la mineralización de la MO; su acción sobre los carbonos cromóferos origina moléculas menos complejas en el DOC de origen húmico (38) facilitando eventualmente su bio-degradación. Puede pensarse y puede estimarse la

acción combinada de la respiración bacteriana y la foto-oxidación.

#### 5. CONCLUSIÓN

A pesar de la gran oferta de de nutrientes no se registraron altos tenores del fitoplancton atribuible a la baja concentración de fotones RFD así como en alguna medida a la alta concentración de amoniaco acuoso tóxico así como a la acción de fagos bacterioplanctónicos que en cursos de agua eutróficos son muy abundantes.

Por otra parte el Itay está altamente contaminado.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. Fernández F, Rojas H, González D. Diagnóstico de las Cuencas Hidrográficas del área metropolitana de Asunción Tesis Ingeniería Geográfica- UNA 1993.
- Facetti Masulli JF, Kump P, Bosio JJ. Selected trace and minor elements in Asunción soft rocks

   Czech J. of Physics. 2006;56:257-264.
- 3. Harrington HJ. Geología del Paraguay Oriental. Fac. Cien. Ex. Fis. Mat., Cont. Cient., Serie E., Geología 1 Buenos Aires, Argentina .1950.
- UNDP Project. Mapa Geológico del Paraguay: Memoria Explicativa. UNDP Project PAR 83/005; 1986.
- Fúlfaro VJ. Geology of Eastern Paraguay. In Comin-Chiaramonti P, Gomes C, editores. Alkaline magmatism in Central-Eastern Paraguay. São Paulo: Editora São Paulo, Brasil; 1995. p. 17-29.
- 6. Bartel W. El desarrollo del semi-graben de Asunción. En Primer Congreso Paraguayo de Geotécnica. Asunción, Paraguay; 1997.
- Fassbender HW, Bornemisza E. Química de suelos con énfasis en suelos de América. Turrialba: IICA; 1994.
- 8. Horton RE. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. GSA Bulletin.1945;56(3):275-370.
- 9. Lozano F, Dávalos A, Delgado M, Facetti MJF. Estudios de Calidad de Aguas de la Cuenca del Itay. Informe final –Hydroconsult Corposana. (Inédito);1994.
- 10. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18a ed. Washington;1992.
- 11. Bourrely P. Les Algues d'eau douce. Paris: N. Boubée & Cie;1970.
- 12. Pennak RW. Fresh-water Invertebrates. New York: Wiley & Sons;1978.
- 13. Koenings JP, Edmundson JA. Secchi disk and photometer estimates of light regimes in Alaskan lakes. Limnol. Oceanogr. 1991;36:191-105.
- 14. Fitzpatrick J, Facetti MJF. Secchi Disc and Lago de la República, Eastern Paraguay. J of Earth Science and Eng. 2015;5:482-486.
- Flores F, Dávalos A, Delgado M, Facetti Masulli JF. Calidad de agua en los ríos Tapiracuai y Cuarepoti. Rev. Soc. Cient. Paraguay. 2016;21:193-206.
- Cáceres F, Parra V, Flores F, Facetti MJF. Estudios Hídricos en el Río AguarayRev. Soc. Cient. Paraguay. 2010;15:69-85.
- 17. Facetti MJF, Flores OF, Cáceres DF. Estudios Hidroquímicos en el Río Confuso. Rev. Soc. Cient. 2009;26:219-228.
- Hutchinson GE. A Tratise of Limnology Vol I Part I & II Physic and Chemistry of Lakes. New Lozano F, Dávalos A, Delgado M, Facetti Masulli JF. Nitrógeno, fósforo y sedimentos en el Arroyo Itay I

- York, J. Willey and Sons: 1967
- 19. Frias Espericueta MG, Paez Osuna F., Toxicidad de los Compuestos del Nitrógeno en Camarones. En Paez Ozuna F, editora. Camaronicultura y medio ambiente. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México: 2001. p. 224-242.
- 20. Schindler DW. Evolution of phosphorus limitation in lakes. Science. 1977; 195:260-262.
- 21. Horvath RW, Marino R, Cole JJ, Lane J. Nitrogen fixation in freshwater, estuarine and marine ecosystems. Rates and importance. Limnol. Oceanogr. 1988;33:669-687.
- 22. Smith VH. Nitrogen, phosphorus, and nitrogen fixation in lacustrine and estuarine ecosystems. Limnol. Oceanogr. 1990;35:1852-1859.
- 23. Wetzel R. Limnology. 2nd ed. Philadelphia: Saunders College Pu.; 1983.
- 24. Levine SN, Schindler DW. Modification of N:P ratio in lakes through in situ processes. Limnol. Oceanogr. 1992;37:917- 935.
- 25. Smith VH. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. Science. 1983;221:669-671.
- 26. Cobo F. Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas Continentales. Limnetica. 2015;34(1):247-268.
- 27. Kirk JTO. Light and photosintesis in aquatic ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press;1986.
- 28. Gallon JR, Ashem A, Chaplin A. Nitrogen fixation by Oscillatoria spp. under autotrophic and photoheterotrophic conditions. J. of General Microbiology. 1991;137: 31-39.
- 29. Oliveira H, Melo LDR, Santos SB, Nóbrega FL. Molecular Aspects and Comparative Genomics of Bacteriophage Endolysins. J of Virol. 2013:87(8):4558-4570.
- 30. Pollard PC, Ducklow H. Ultrahigh bacterial production in a eutrophic subtropical Australian river: Does viral lysis short-circuit the microbial loop? Limnology. Oceanography. 2011:56(1):1115-1129.
- 31. Corbel J. L'érosion terrestre, étude quantitative (Méthodes Techniques Résultats). Annales de Géographie. 1964;398:385-412.
- 32. Fournier F. Climat et Ërosion. París; Presses Universitaires de France; 1960.
- 33. Berón de la Puente F, Gil V, Zaperi P. Estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica de la cuenca alta del arroyo Napostá Grande. Buenos Aires: Universidad del Sur; 2017.
- 34. Fendrich R. Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná. Curitiba: Champagnat; 1998.
- 35. Delgado M, Lozano F, Facetti Masulli JF. Aspectos Limnologicos del Lago Ypacari. Estudios hidrícos III. Rev. Soc. Cient. Paraguay. 2014; 19:81-95.
- 36. Facetti-Masulli JF, Flores FD, Dávalos A. Estudios de calidad de agua en el Río Verde. Rev. Soc. Cient. Paraguay. 2012;17:60-83.
- 37. Del Giorgio P, Cole JJ. Bacterial growth efficiency in natural aquatic systems. Annual Review of Ecology and Systematics. 1998;29:1503-1541.
- 38. Farjalla V, Amado A, Suhett A, Santos Pereira F. DOC removal paradigms in highly humic aquatic ecosystems. Environmental Science and Pollution Research. 2009;16(5):531-538. doi: 10.1007/s11356-009-0165-x