

Acta Limnol. Brasil.	Vol. IV	225-237	1992
----------------------	---------	---------	------

EVOLUCION ANUAL DE ALGUNOS PARAMETROS FÍSICO - QUÍMICOS DEL ARROYO TOLEDO - CARRASCO (URUGUAY)

AROCENA, R. ; CHALAR, G. ; DE LEÓN, R. & PINTOS, W. *

Resumo - EVOLUÇÃO ANUAL DE ALGUNS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO RIACHO DE TOLEDO-CARRASCO (URUGUAY)

Foi estudada as variações estacionais na qualidade da água de um riacho altamente poluído com dejetos industriais, localizado próximo de Montevideo. Dados sobre a profundidade e precipitação foram utilizados para estimar a descarga de água. Com o intuito de observar variações durante o período de estudo, médias de todo o córrego foram calculadas para cada data de amostragem.

Mesmo apresentando uma precipitação altamente inconstante ao longo ano, as descargas são mais altas no verão, devido a influências da temperatura sobre a evapotranspiração. No entanto, cheias e secas podem ocorrer a qualquer momento, mascarando a periodicidade do regime hidrológico, assim como seus parâmetros dependentes. O total de sólidos suspensos estão correlacionados positivamente com a profundidade ($P < 0.05$), evidenciando sua origem superficial. Descargas contínuas diluem a concentração de sais dissolvidos proporcionando o decréscimo da condutividade elétrica e dos valores referentes a alcalinidade. Estes parâmetros e o pH se correlacionam positivamente ($p < 0.001$).

Oxigênio dissolvido e nutrientes não demonstraram variações sazonais, estando portanto, menos dependentes das descargas do que outros parâmetros. Os nutrientes apresentam correlações positivas enquanto que NH_4 e fósforo total se evidenciam negativamente correlacionados ao oxigênio dissolvido, indicando desta forma, relações diretas com a mineralização da matéria orgânica.

Abstract - ANNUAL EVOLUTION OF SOME PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS IN THE TOLEDO-CARRASCO STREAM (URUGUAY).

Water quality seasonality in a stream near Montevideo City, highly polluted with industrial organic wastes, was studied. Depth and precipitation data were used to estimate the water discharge. In order to observe variations during the study period, means for the whole stream were calculated for each sampling date.

Although precipitation is nearly constant year-round, discharge is higher in winter than in summer, due to the seasonal influence of temperature on evapotranspiration. Nevertheless, floods and droughts may occur at any time, hiding the seasonality of the hydrologic regime and

* Seccion Limnologia, Facultad de Humanidades y Ciencias.

its dependent parameters. Total suspended solids are positively correlated with discharge, indicating its surface origin. Increasing discharge dilutes dissolved salts, resulting in lower conductivity and alkalinity values. These parameters are positively correlated with each other and with pH ($p=0.001$). Dissolved oxygen and nutrients did not show seasonal variations and they are less dependent on discharge than the other parameters. Positive correlations were found among nutrients, furthermore NH_4 and total P were negatively correlated with dissolved oxygen, indicating their relationship to mineralization of organic matter.

Introduction

El arroyo Toledo-Carrasco conforma el límite oriental del departamento de Montevideo. Sus cursos superiores drenan zonas de agricultura intensiva y elevada erosión, mientras que los medios e inferiores reciben residuos domésticos e industriales orgánicos. El crecimiento no planificado de asentamientos urbanos y la implantación de industrias alimenticias en las afueras de la ciudad condujeron a la contaminación orgánica del curso. Sus aguas malolientes son

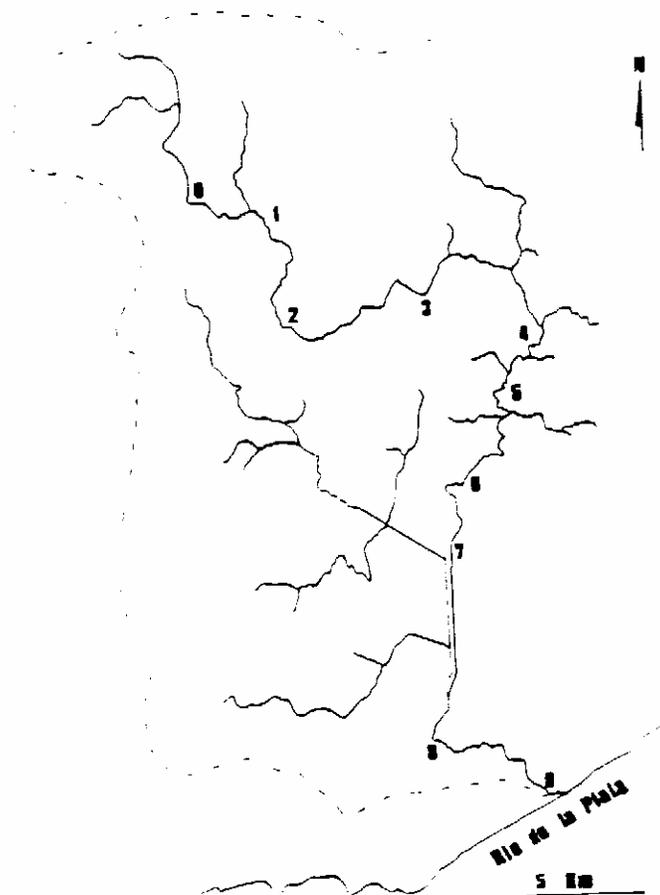


Figura 1 - Cuenca del arroyo Carrasco y ubicación de las estaciones de muestreo sobre el curso principal.

empleadas tanto para riego como para uso industrial y hasta recreativo, provocando problemas estéticos y sanitarios en los habitantes de la cuenca y en los bañistas de las playas vecinas a su desembocadura en el Río de la Plata.

Con el propósito de conocer las características limnológicas del arroyo, se están llevando a cabo estudios sobre diversos aspectos como los sedimentos, el bentos, y la calidad del agua. En un trabajo sobre las variaciones longitudinales de ésta (AROCENA *et al.* en prensa), los autores plantean, con base en muestreos estivales, la existencia de tres zonas a lo largo del arroyo, diferentes respecto a los procesos de descomposición y recuperación. En el presente trabajo nos proponemos determinar si existen variaciones estacionales en la calidad del agua, en qué consisten y a qué factores obedecen.

Material y metodos

El arroyo en estudio es un curso suburbano de ca. 40 km de largo, baja pendiente y poca profundidad. Su caudal en estiaje es de 3.6 m³ s⁻¹ y drena una cuenca de ca. 200 km². Las características del área de estudio fueron descritas por AROCENA Y PINTOS (1988) e Arocena *et al.* (en prensa).

Quince muestreos fueron realizados entre enero y diciembre de 1988 en nueve a diez sitios - según hubiera o no agua en las nacientes - a lo largo del arroyo (Fig. 1). Ante la imposibilidad de efectuar mediciones de caudal, y con el propósito de contar con una estimativa - aunque necesariamente gruesa - del mismo, se midió en cuatro estaciones la profundidad del agua en cada muestreo, y se obtuvieron de la Dirección Nacional de Meteorología, los datos de precipitación mensual en el área. La conductividad, temperatura, pH y oxígeno disuelto fueron medidos *in situ* con electrodos; mientras las muestras tomadas de superficie en botellas plásticas de 1l, se analizaron en el laboratorio para la determinación de la alcalinidad y de las concentraciones de nitrato, nitrito, amonio, fósforo total y sólidos suspendidos totales, todo según las metodologías estandar mencionadas en un trabajo anterior (AROCENA *et al.* en prensa).

Se promediaron los resultados de todo el arroyo para cada fecha de muestreo a fin de obtener la variación temporal del conjunto de estaciones, indicándose en las gráficas correspondientes el desvío estandar de tales promedios. Los parámetros estudiados fueron correlacionados entre sí luego de ser transformados a $\log(x + 1)$, excepto el pH.

Resultados

La Figura 2 muestra la evolución temporal del promedio de las 4 profundidades medidas, y de los datos de precipitación correspondientes. La profundidad promedio varió entre 14.5 y 35.7 cm, correspondiendo este último valor a una crecida el 24 de marzo. Otras crecidas ocurrieron el 20 de julio - 17 de agosto y el 28 de enero. Aunque no se evidencia una clara estacionalidad, la figura indicaría una tendencia descendente de julio a diciembre y otra ascendente de enero a julio, interrumpidas por las crecientes mencionadas. Los datos de precipitación mensual indican máximas de 31 y 18.4 cm coincidentes con las crecidas de marzo y enero respectivamente, aunque la crecida de julio-agosto no se corresponde con altas precipitaciones y ambos parámetros no tienen correlación positiva ($p > 0.1$).

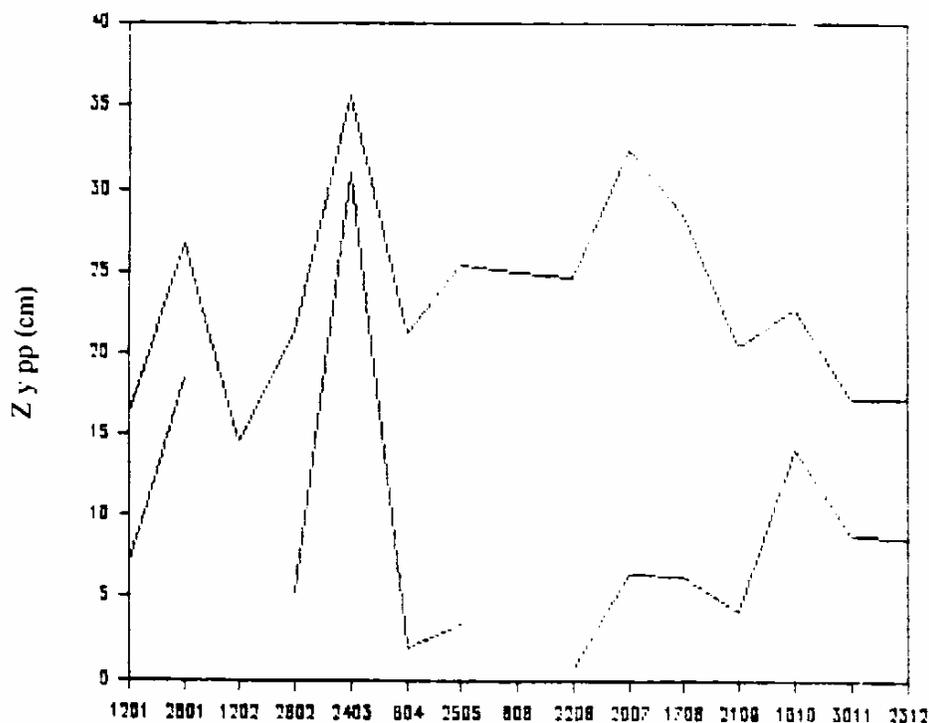


Figura 2 - Evolución de la profundidad media del agua (arriba) y de la precipitación (abajo) en el arroyo Toledo-Carrasco.

La Tabla I muestra los estadísticos fundamentales para todos los datos recolectados. Los coeficientes de correlación entre todos los parámetros debidamente transformados se muestran en la Tabla II. La temperatura varió entre 7.5°C en mayo y 31°C en enero, pero los promedios para todo el arroyo lo hicieron entre 9.4°C en julio y 26.2°C en enero. La figura 3 muestra el comportamiento estacional de este parámetro, con las menores temperaturas entre mayo y julio, y las mayores entre noviembre y febrero.

Las variaciones de los sólidos suspendidos totales (Fig. 4) coinciden con las de profundidad, y ambos parámetros se correlacionan positivamente ($p < 0.05$). Sus valores variaron ampliamente entre 7 y 213 mg/l, y los promedios para todo el arroyo lo hicieron entre 22 y 148 mg/l, pero sólo en marzo, mayo y agosto superaron el promedio general de 60 mg/l.

La conductividad es alta y muy variable (Fig. 5), especialmente en la última estación, que recibe periódicamente la intrusión de agua más salada del Río de la Plata, y registró el máximo de 8500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en noviembre, lo que produjo para ese muestreo un promedio máximo de todo el arroyo de 1800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Se registran descensos importantes en la conductividad coincidentes con los mayores caudales de marzo y agosto, especialmente si no se considera la última estación (Fig. 6).

La alcalinidad se comporta exactamente igual que la conductividad sin la última estación (Fig. 7), y ambos parámetros están directamente correlacionados ($p < 0.0001$, datos para todo

Tabla I.- Valores estadísticos de los parámetros estudiados en el arroyo Toledo-Carrasco

	TEMP (°C)	SOLIDO SUSPENSION (mg/l)	OXIGENO (mg/l)	DISUELTO (%)	pH	CONDUCTIVIDAD (µs/cm)
MAX	31,00	213,00	19,00	185,00	8,40	8500,00
MIN	7,50	7,00	0,00	0,00	6,20	225,00
MEDIA	17,04	59,75	4,59	46,10	7,18	1168,44
STD	6,05	45,56	3,27	32,19	0,40	886,92
N	144,00	144,00	144,00	144,00	139,00	144,00

	ALC.(meq/l)	NH4(µM)	NO3(µM)	NO2(µM)	PT(µM)
MAX	13,30	2599,50	707,14	105,00	164,50
MIN	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIA	6,07	272,10	84,79	4,45	27,36
STD	2,49	431,53	120,39	9,71	19,91
N	144,00	138,00	138,00	143,00	142,00

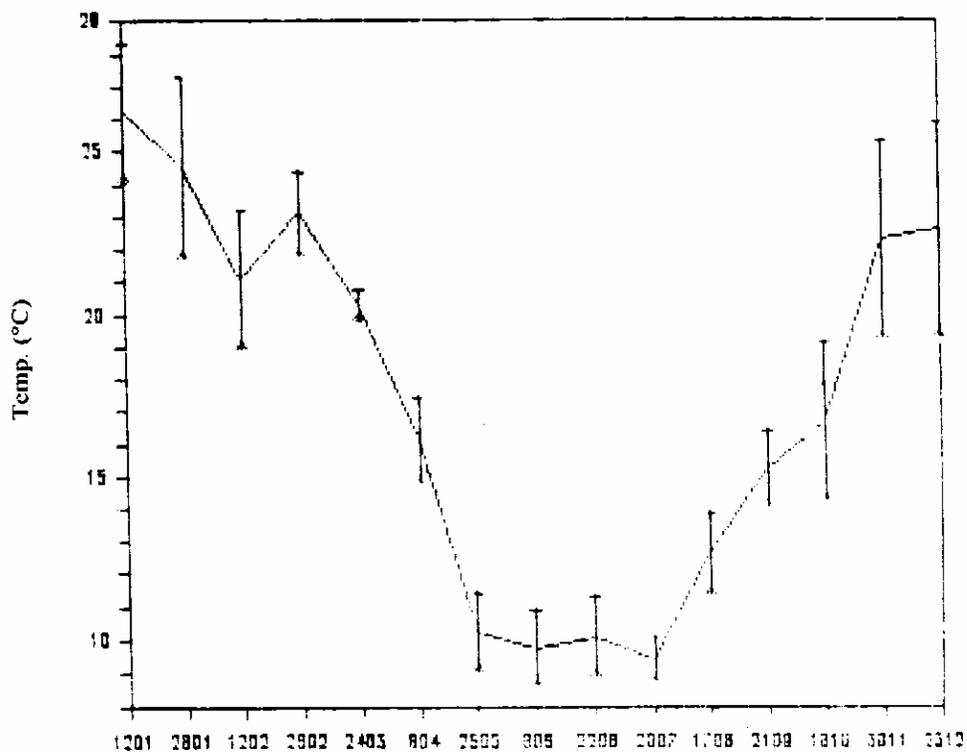


Figura 3 - Evolución de la temperatura promedio del agua en el arroyo Toledo-Carrasco.

Tabla II. - Coeficientes de correlación entre los parámetros estudiados en el Arroyo Toledo-Carrasco.

	pH	Temp.	SST	O.D.	K	Alcal.	NH4+	NO3-	NO2-	P tot.
pH	1,000									
Temp.	-0,167	1,000								
SST	-0,213'	-0,203'	1,000							
O.D.	0,500'''	-0,150	-0,056	1,000						
K	0,525'''	0,252'	-0,124	-0,002	1,000					
Alcal.	0,690'''	0,395'''	-0,353'''	0,176	0,764'''	1,000				
NH4+	0,178	-0,471'''	0,215'	-0,279''	0,526'''	0,386'''	1,000			
NO3-	0,014	-0,337'''	0,395'''	0,249'	-0,133	-0,053	0,097	1,000		
NO2-	-0,169	-0,192	0,048	-0,093	-0,274''	-0,053	0,028	0,544'''	1,000	
P tot.	-0,071	-0,207'	0,060	-0,303''	-0,029	0,033	0,396'''	0,184	0,207'	1,000

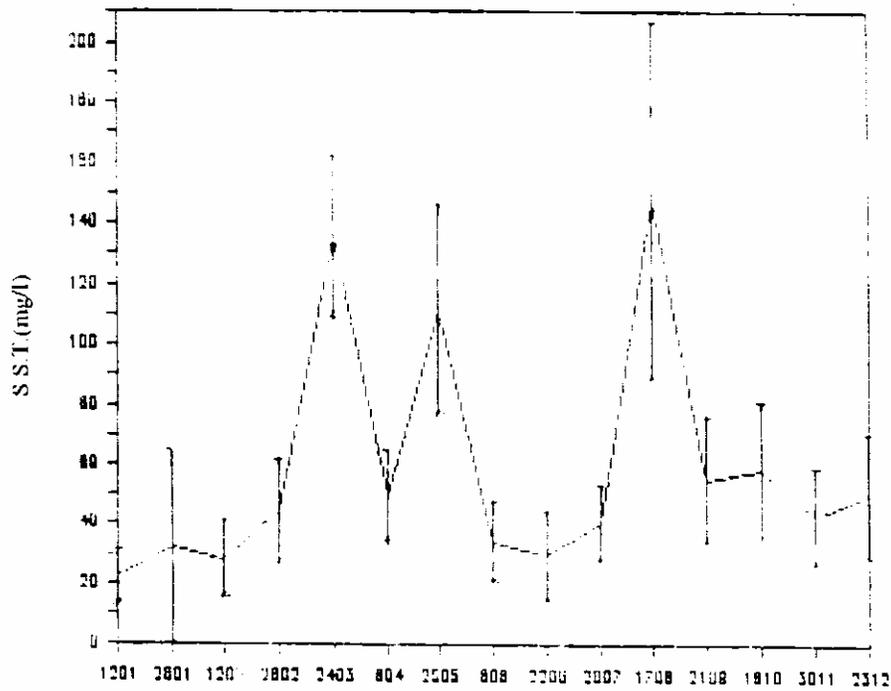


Figura 4 - Evolución de la concentración promedio de sólidos suspendidos totales en el arroyo Toledo-Carrasco.

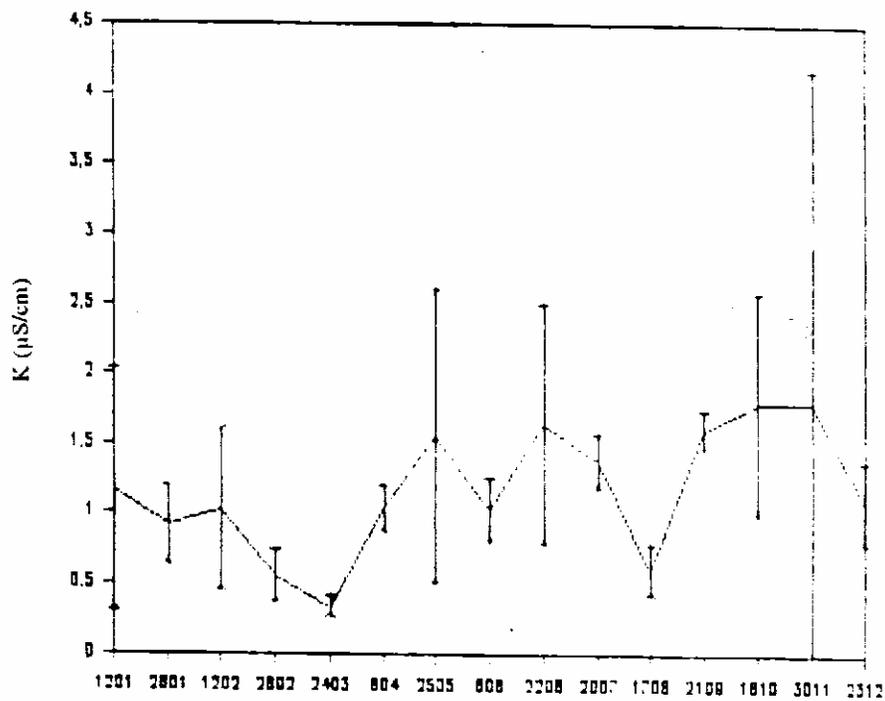


Figura 5 - Evolución de la conductividad promedio en el arroyo Toledo-Carrasco.

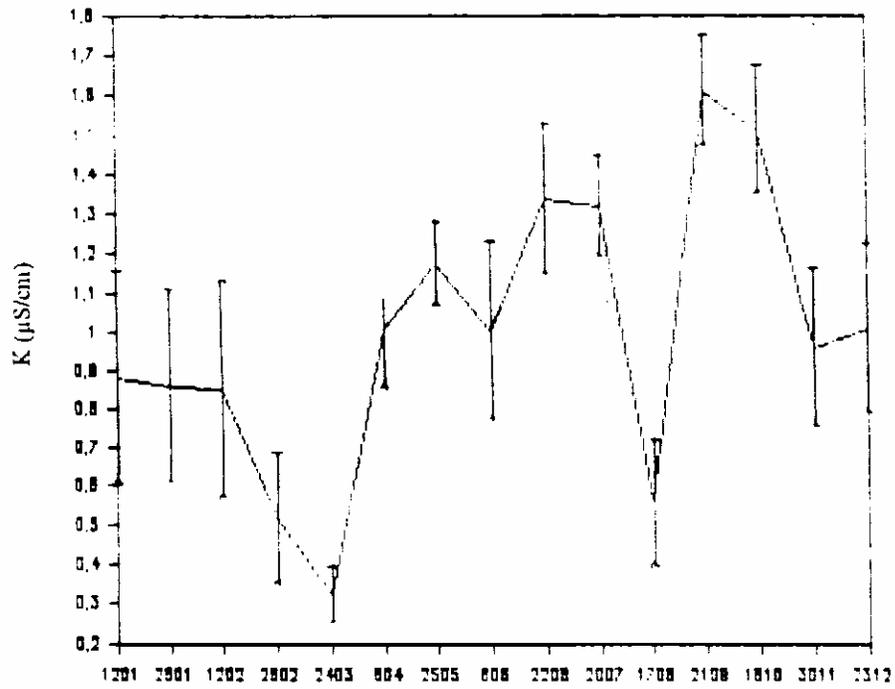


Figura 6 - Evolución de la conductividad en el arroyo Toledo-Carrasco, excluyendo la última estación afectada por el Río de la Plata.

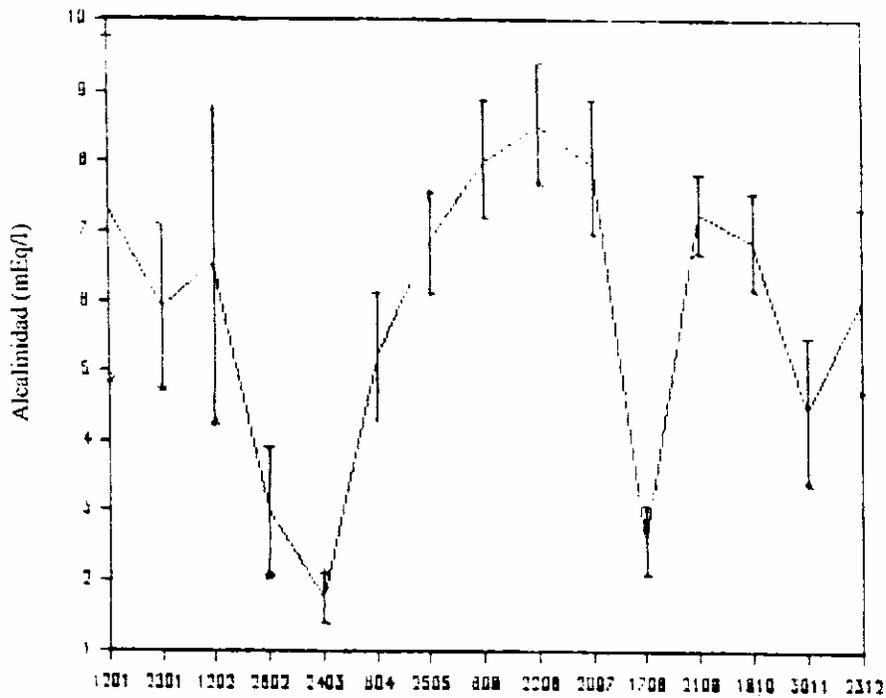


Figura 7 - Evolución de la alcalinidad en el arroyo Toledo-Carrasco.

el arroyo). La correlación es inversa en cambio con los sólidos y temperatura ($p < 0.001$). Los promedios para todo el arroyo variaron entre 1.7 y 8.5 meq/l en marzo y junio respectivamente, siendo el promedio general para todo el año de 6 ± 2.5 meq/l.

Se registraron valores de pH entre 6.2 y 8.4 con promedio general de 7.2 ± 0.4 . El rango de los promedios de todo el arroyo fue de 6.6 a 7.6. También aquí el comportamiento temporal (Fig. 8) es igual al de la conductividad y alcalinidad, con los que el pH se correlaciona positivamente ($p < 0.001$), igual que con el oxígeno disuelto ($p < 0.001$).

Los promedios de oxígeno disuelto variaron entre 1.8 y 9.0 mg/l en febrero y setiembre respectivamente, lo que representa un 21 y un 89% de saturación. Se registraron valores nulos en las dos últimas estaciones en varios muestreos, así como algunos porcentajes de sobresaturación en setiembre y octubre (Fig. 9).

De los compuestos inorgánicos del nitrógeno, el amonio fue el más abundante, con promedios entre 44 y 885 $\mu\text{M-N/l}$, seguido del nitrato (13.5-269 $\mu\text{M-N/l}$) y mucho menos nitrito (0.8 - 15.6 $\mu\text{M-N/l}$), todos ellos con grandes variaciones entre estaciones, como lo indican los elevados desvíos estándar. El amonio (Fig. 10) incrementa su concentración de marzo a julio (en más de diez veces), mientras que el nitrato aumenta de enero a mayo. Su máximo valor ocurrió en agosto (Fig. 11), único muestreo en que supera la concentración de amonio. Los promedios de fósforo total fluctuaron entre 12.3 y 46.5 $\mu\text{M-P/l}$, con picos en febrero, julio e noviembre (Fig. 12). Todos los nutrientes se correlacionan negativamente con la temperatura, especialmente el NH_4 y el NO_3 ($p < 0.001$), y en menor medida el NO_2 y el Pt ($p < 0.1$). El amonio además se correlaciona positivamente con la conductividad y la alcalinidad ($p < 0.001$) y negativamente con el oxígeno disuelto al igual que lo hace con éste el Pt ($p < 0.01$). Existe correlación positiva por un lado entre

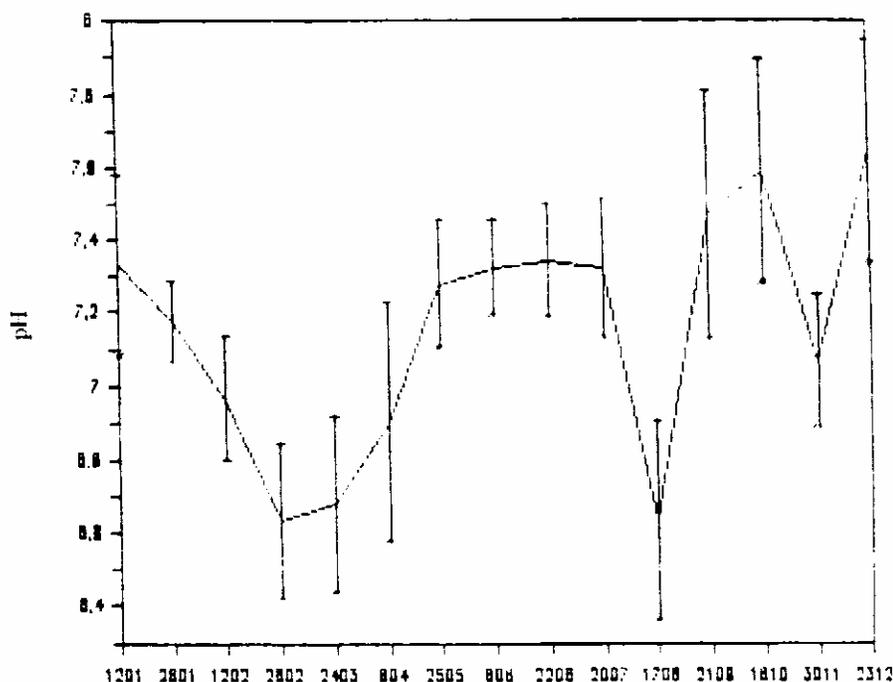


Figura 8 - Evolución del pH en el arroyo Toledo-Carrasco.

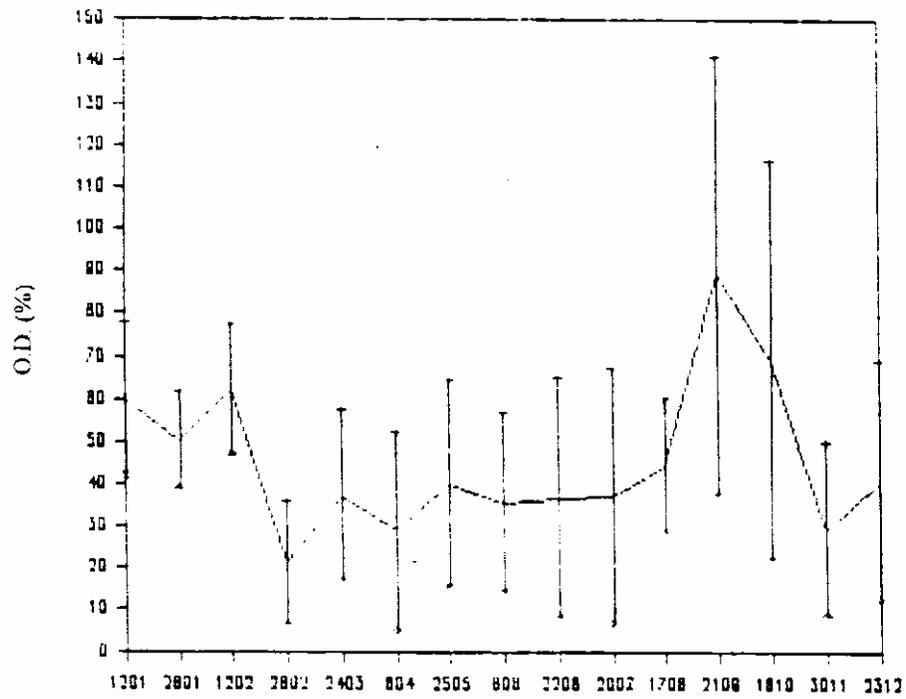


Figura 9 - Evolución del oxígeno disuelto en el arroyo Toledo-Carrasco.

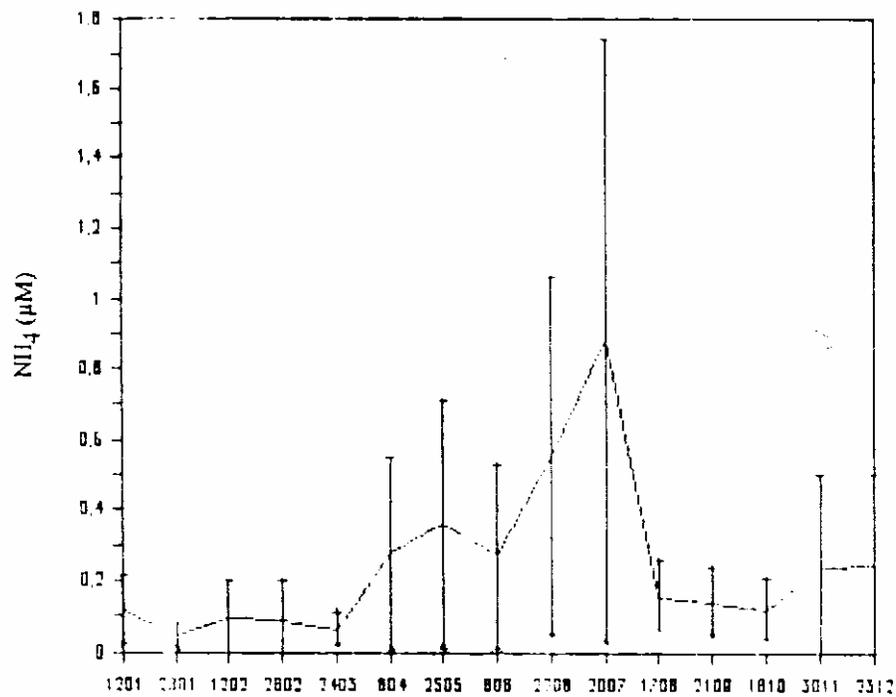


Figura 10 - Evolución del amonio en el arroyo Toledo-Carrasco.

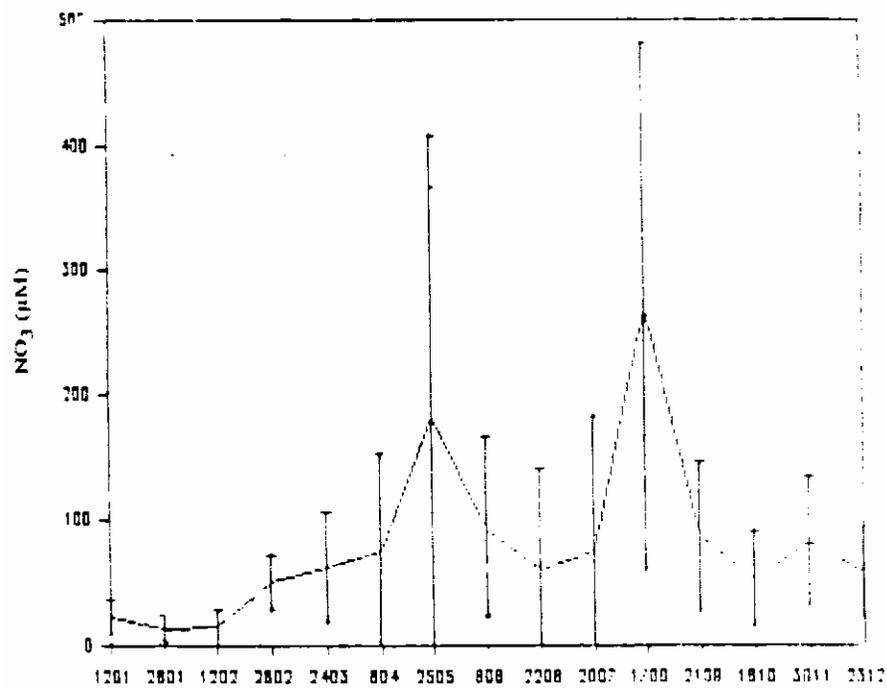


Figura 11 - Evolución del nitrato en el arroyo Toledo-Carrasco.

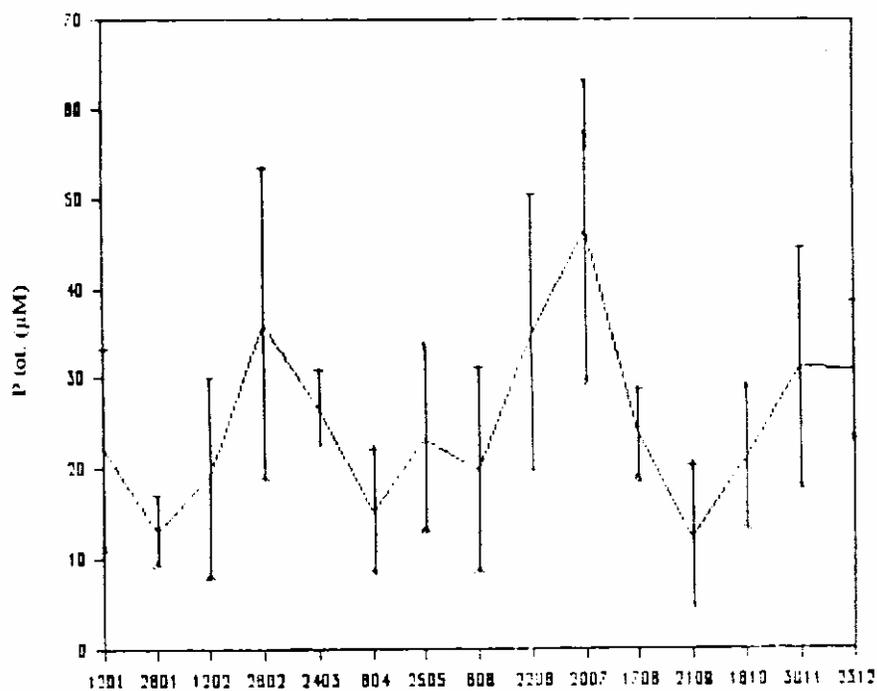


Figura 12 - Evolución del fósforo total en el arroyo Toledo-Carrasco.

NH₄ y Pt y por otro, entre NO₃ y NO₂ ($p < 0.001$), y en menor medida entre el Pt y el NO₃ y NO₂ ($p < 0.1$).

Discussion

La falta de correlación entre profundidad y precipitación reflejaría la no correspondencia de ambas curvas en invierno lo que puede deberse al efecto no considerado de la evapotranspiración en la disminución de la escorrentía y por tanto del caudal. Las bajas temperaturas de agosto y julio hacen suponer una menor evapotranspiración respecto de los meses de verano que explicaría esta falta de correspondencia. Aunque no se puede hablar de un comportamiento estacional de la profundidad, la tendencia descendente de julio e diciembre y ascendente de enero a julio parece corresponder inversamente con la temperatura y por lo tanto con la evapotranspiración, factor estacional que sería entonces más importante que la precipitación - no estacional - en la determinación del caudal.

La poca estacionalidad del caudal, hace que los parámetros que dependen de éste no presenten variaciones estacionales. Los SST parecen proceder del arrastre superficial, al aumentar en marzo y agosto, cuando los muestreos fueron precedidos en 2 y 3 días respectivamente por fuertes lluvias de 46 y 34mm diarios. El mayor caudal en estas fechas produjo una dilución de las sales disueltas y el consiguiente descenso de la conductividad. MCDIFFET *et al.* (1989) encontraron que durante los primeros estadios de un incremento de la descarga, el Ca y Mg disminuían, lo que sugiere su origen del agua subterránea. Próximo a la desembocadura, la conductividad - mayor que en el resto del arroyo -, no está regida por la dilución sino por aporte de agua más salada del Río de la Plata.

La alta correlación encontrada entre alcalinidad y conductividad es propia de aguas bicarbonatadas (MARGALEF 1983). La alcalinidad se correlaciona negativamente con los sólidos suspendidos debido al efecto contrapuesto del caudal sobre estos dos parámetros. Llama la atención que la conductividad no mantenga esa misma correlación negativa con los sólidos, lo que lleva a conjeturar que la dilución de solutos que acompaña en una crecida el arrastre de sólidos, se efectúa fundamentalmente sobre los bicarbonatos y no tanto sobre los otros iones. Estos si bien son en parte diluidos también sufrirían cierto arrastre desde tierra que compensa tal dilución.

El pH se correlaciona positivamente con la conductividad y la alcalinidad tal vez por la misma dilución del arroyo con agua pluvial, más ácida naturalmente, o por la proximidad de la ciudad. Su correlación positiva con el oxígeno señala a su vez la importancia de los procesos biológicos en el arroyo.

El oxígeno disuelto y los nutrientes tampoco varían estacionalmente, pero a diferencia de los otros parámetros parecen ser menos dependientes del caudal. El oxígeno presenta en invierno los mayores desvíos estandar debido al comportamiento diferente en esa época de dos tipos de estaciones de muestreo. Mientras que en algunas se mantiene un nivel relativamente alto de O.D., en otras disminuye. Estas últimas son las mismas señaladas por los autores en otro trabajo (AROCENA *et al.* en prensa) como las más contaminadas en verano. En primavera aumenta el contenido de oxígeno disuelto debido a la producción fotosintética. El porcentaje de saturación de oxígeno sigue exactamente el mismo patrón de variación temporal que la concentración de O.D., indicando que otros factores como la producción y descomposición son mucho más importantes que su solubilidad en función de la temperatura.

El predominio del NH_4^+ sobre el NO_3^- confirma la importancia de los procesos de contaminación. Estos están especialmente localizados o agravados en algunas estaciones coincidentes con la ubicación de fábricas de alimentos. Los altos desvíos del amonio en invierno se deben a que las dos últimas estaciones presentaron valores muy superiores al resto. Las mayores concentraciones de amonio se dan entre abril y julio, mes en el que el Pt es también más abundante. Ambos parámetros están negativamente correlacionados con la temperatura, lo que podría indicar una estacionalidad en los procesos de contaminación, consecuencia de la estacionalidad de los procesos industriales. Además la correlación positiva entre NH_4^+ y conductividad señala su dependencia de la dilución. PIETERSE Y VAN ZYL (1988) también encontraron positivamente correlacionados la carga de sólidos disueltos totales con la de amonio ($p < 0.01$), pero no dan una explicación para ello. El NO_3^- en cambio, presenta su máxima concentración durante la crecida de agosto. MCDIFFET *et al.* (1989) encontraron que el nitrato generalmente aumentaba su concentración al incrementar la descarga, lo que sugiere su origen superficial. Los nutrientes estudiados mantienen correlaciones positivas entre casi todos ellos indicando su relación con la mineralización de la materia orgánica, lo que es corroborado por la correlación negativa del NH_4^+ y Pt con el oxígeno.

Bibliografía

- AROCENA, R. & PINTOS, W. (1988). Antecedentes para un estudio limnológico del Arroyo Carrasco. *Serie Avances de Investigación*, Facultad de Humanidades y Ciencias, Montevideo. 26p.
- , PINTOS, W.; CHALAR, G.; DE LEON, R. (en prensa) Variaciones físicas y químicas en verano a lo largo del arroyo Toledo-Carrasco. *Rev. Asoc. Cien. Nat. Lit.* (en prensa).
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Barcelona, Omega.
- McDIFFET, W. F.; BEIDER, A. W.; DOMINICK, T. F.; McCREA, K. D. (1989). Nutrient concentration-stream discharge relationships during storm events in a first-order stream. *Hydrobiologia*. 179:97-102.
- PIETERSE, A. J. H. & van ZYL, J. M. (1988). Observations on the relation between phytoplankton diversity and environmental factors in the Vaal River at Balkfontein, South Africa. *Hydrobiologia*. 169:199-207.

Endereço dos autores

AROCENA, R.; CHALAR, G.; DE LEON, R.; PINTOS, W.
 SECCIÓN LIMNOLOGIA, FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS
 TRISTAN NARVAJA 1674, MONTEVIDEO 11200, URUGUAI.