



Palabras clave: ciclo hidrológico, calidad del agua, fitoplancton

Key Words: hydrologic cycle, water quality, phytoplankton

# Características físicas, químicas y fitoplancton de ríos y embalses de la alta cuenca del Río Juramento (Salta, Argentina)

María Mónica Salusso y Lilliana Beatriz Moraña

Consejo de Investigación, Universidad Nacional de Salta - Buenos Aires 177 - 4400 Salta (Argentina)

## RESUMEN

Se estudiaron los principales ríos y embalses de la Alta Cuenca del río Juramento (Salta, Argentina) durante el período comprendido entre octubre de 1997 y diciembre de 1998. Se analizaron las principales variables físicas, químicas y descriptores del fitoplancton (densidad, diversidad específica y estructura a nivel de clases) para comparar ambos tipos de ambientes en los dos períodos del ciclo hidrológico. El río Rosario presentó el mayor déficit de saturación de oxígeno de la cuenca (promedio de 70,92%) y la mayor carga orgánica ( $DBO_5$ , promedio de  $77 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ ) debido a recibir vertidos cloacales y de una curtiembre, y por su bajo caudal (media anual de  $9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). El promedio de PRS en los cursos lóticos ( $0,73 \text{ mg.l}^{-1}$ ) fue superior a la media mundial ( $0,023 \text{ mg.l}^{-1}$ ) al igual que el tenor de  $\text{NNO}_3$  ( $1,52 \text{ mg.l}^{-1}$ ) que estuvo por encima del promedio mundial ( $0,55 \text{ mg.l}^{-1}$ ). En comparación, los embalses tuvieron menor carga orgánica ( $DBO_5$ , de  $3,58 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ ) y nutrientes ( $\text{PRS}=0,17 \text{ mg.l}^{-1}$ ;  $\text{NNO}_3=0,60 \text{ mg.l}^{-1}$  y  $\text{PT}=0,50 \text{ mg.l}^{-1}$ ). La densidad algal fue mayor en los reservorios ( $3911 \text{ ind.ml}^{-1}$ ), pero la riqueza y diversidad específicas fueron superiores en los ríos. La biomasa y densidad algales durante el estiaje en los ríos dependieron en forma lineal positiva de la concentración de PRS y durante el período de crecidas de la carga orgánica. En los reservorios el mayor incremento de la densidad ( $5293 \text{ ind.ml}^{-1}$ ) se produjo durante las lluvias cuando incrementó la relación N/P (6,3) y se elevó la temperatura media del agua ( $26,35^\circ\text{C}$ ).

## ABSTRACT

*Physicochemical characteristics and phytoplankton in rivers and reservoirs of the Juramento Upper Basin (Salta, Argentina).*

*The main rivers and reservoirs of Juramento Upper Basin (Salta, Argentina) were studied during the period between October 1997 and December 1998. The main physicochemical parameters and phytoplankton descriptors (density, specific diversity and structure at class level) were analysed to compare both kinds of environment in the two periods of the hydrologic cycle. Rosario River presented the greatest deficit of oxygen saturation in the basin (average 70.92%) and the greatest organic charge ( $DBO_5$ , average  $77 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ ) because it receives sewage inputs and had low discharge (annual average  $9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). The SRP average concentration in the basin lotic courses ( $0.73 \text{ mg.l}^{-1}$ ) was higher than the world average ( $0.023 \text{ mg.l}^{-1}$ ) and  $\text{NNO}_3$  concentration ( $1.52 \text{ mg.l}^{-1}$ ) was also higher than the world average ( $0.55 \text{ mg.l}^{-1}$ ). In comparison, the reservoirs had less organic discharge ( $DBO_5$ , average  $3.58 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ ) and nutrients ( $\text{SRP}=0.17 \text{ mg.l}^{-1}$ ;  $\text{NNO}_3=0.60 \text{ mg.l}^{-1}$  and  $\text{PT}=0.50 \text{ mg.l}^{-1}$ ). The algal density and biomass in rivers during the low water level period were positively related with phosphate concentration and during the rain season with organic discharge. In reservoirs, the greatest density ( $5293 \text{ ind.ml}^{-1}$ ) was produced during the rains when the N/P ratio improved (6.3) and the water average temperature increased ( $26.35^\circ\text{C}$ ).*

0329-2177 / 00 / 31 (1 y 2): 29-44 \$ 2,00 © Asoc. Cienc. Nat. del Litoral



## INTRODUCCION

La Alta Cuenca del río Juramento es parte del Sistema del Salado y tiene la particularidad de drenar tres ambientes completamente diferentes: los valles calchaquíes (semiáridos), el valle intermontano central de Lerma (subhúmedo) y la región puneña (desértica) en la provincia de Salta, con una variación altitudinal desde los 6700 msnm en los Nevados de Chañi y Cachi hasta los 460 msnm en los límites de la cuenca (SRH, 1984). Es precisamente la Alta Cuenca del Juramento la que contribuye mayormente a la formación de caudales del río Salado, los cuales se utilizan para actividades de consumo, riego, agricultura, ganadería y recreación en las provincias de Salta, Tucumán, Catamarca, Santiago del Estero y norte de Santa Fe (CFI, 1962). La economía de la región se sustenta directa o indirectamente en el recurso hídrico proveniente de dicha cuenca (Comité de Cuenca, 1977). En particular el Valle de Lerma en Salta concentra el mayor asentamiento poblacional humano (95 hab.km<sup>2</sup>), con actividades agrícolas ligadas al monocultivo del tabaco con enormes insumos en agroquímicos. A partir de la construcción del Embalse Cabra Corral, uno de los más importantes de la Argentina se aseguró el riego de 74.000 ha en Salta y Santiago del Estero.

Los estudios limnológicos realizados en la cuenca son escasos y en general se focalizaron en determinados sectores, como el relevamiento preliminar de las condiciones ambientales del embalse Cabra Corral en los inicios de la década de 1980 (Sueldo *et al.*, 1987) o el análisis de la concentración de boro tanto en las aguas del embalse (Pasculli, 1997) como en sus tributarios (Musso de Dip *et al.*, 1993) o se refirieron a bioindicadores de polución (Ramírez *et al.*, 1993) y a la capacidad de autodepuración de los principales tributarios del embalse (ríos Arenales y Rosario) sometidos a acción antrópica (Salusso *et al.*, 1997).

En el noroeste argentino existen antecedentes de estudios limnológicos intensivos de los ambientes lénticos (Embalses El Cadillal y Río Hondo) (Tracanna *et al.*, 1991; Tracanna y Seeligman, 1993) y lóticos (Villagra de Gamundi *et al.*, 1993; Tracanna y de Marco, 1997) de la cuenca endorreica del río Salí-Dulce en las provincias de Tucumán y Santiago del Estero. El objetivo del presente trabajo es ampliar el conocimiento limnológico de la región noroeste de la República Argentina, y para tal fin se analizaron el fitoplancton y las principales variables físicas y químicas de los ríos y embalses de la Alta Cuenca del río Juramento, con el propósito de evaluar las

diferencias en la calidad del agua entre los períodos de lluvias y de sequías del ciclo hidrológico comprendido entre octubre de 1997 y diciembre de 1998 y comparar entre sí ambos tipos de ambientes (embalses y ríos).

## MATERIAL Y METODOS

El área de estudio (Fig.1) está situada en la región noroeste de la Argentina entre 24° 30' y 25° 38' LS y 65° 22' y 65° 37' LW. La fisiografía del área presenta una marcada asimetría ya que al occidente está enmarcada por elevaciones que superan los 4000 msnm con cumbres de hasta 6700 msnm mientras que en su límite oriental posee en general altitudes de 2000 metros. El valle de Lerma tiene un piso relativamente plano con una altura media de 1200 m. El clima se clasifica como subtropical serrano, con temperaturas medias anuales de 16-18°C. La mayor parte de la superficie de las cuencas que aportan al valle de Lerma presenta precipitaciones medias menores a 200 milímetros al año. Aunque en el vaso del valle, las precipitaciones son mayores a 500 mm, a altitudes entre 1100 y 1750 msnm (Baudino, 1996). La vegetación en las serranías del noroeste y oeste del valle de Lerma comprende especies del bosque subtropical serrano y en las laderas del flanco oriental del mismo, bosque chaqueño serrano con especies xerofíticas (Cabrera, 1971). El valle propiamente dicho está dedicado a la explotación agrícola-ganadera en forma intensiva.

La Cuenca Superior del río Juramento en su trayecto por la provincia de Salta abarca un área aproximada de 42.790 km<sup>2</sup> y comprende una serie de tributarios: el río Toro afluente del Rosario y el Arias-Arenales que desagüan por el norte en el embalse Cabra Corral y el río Guachipas que ingresa por el sur al mismo. Aguas abajo del reservorio, el caudal del río Juramento es regulado por las presas compensadoras de Peñas Blancas y Miraflores, y en el extremo sur de la provincia vierte sus aguas en la presa El Tunal, y también recibe aportes del río Medina antes de abandonar el territorio provincial para ingresar a la provincia de Santiago del Estero (Fig. 1).

El régimen hidrológico de los cursos lóticos es pluvial con dos períodos marcados: el estiaje (de abril a noviembre) y de aguas altas (crecidas) el resto del año, situación que condiciona la hidroquímica, la biomasa algal y la capacidad de autorecuperación del sistema (Salusso, 1998). Los caudales mínimos del estiaje se registran entre los meses de setiembre y noviembre. Las crecientes de los ríos principales: Arenales,

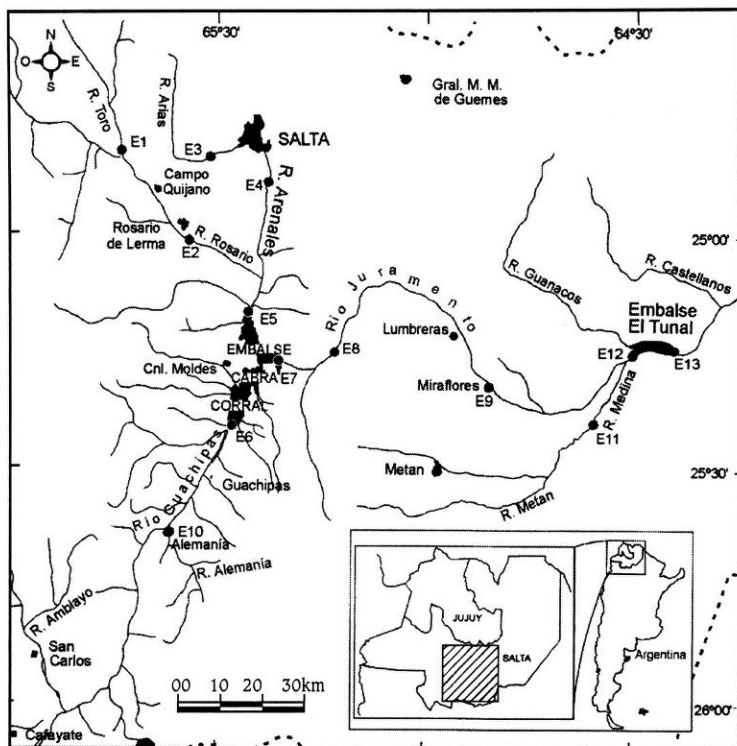


Figura 1

Ubicación de los sitios de muestreo en la Alta Cuenca del Río Juramento (Salta, Argentina).

- E1: Toro; E2: Rosario; E3: Arias; E4: Arenales-Sarmiento; E5: Cabra Corral en la entrada del Arenales; E6: Dique Cabra Corral en la entrada de Guachipas; E7: Cabra Corral en la Presa; E8: Peñas Blancas; E9: Miraflores; E10: Guachipas; E11: Medina; E12: Dique El Tunal en la entrada del Juramento; E13: El Tunal en la Presa.

Rosario y Guachipas se producen entre enero y marzo. Los valores de precipitación dependen principalmente del relieve ya que las lluvias estivales tienen un neto carácter orográfico (Bianchi, 1981). Los registros de precipitaciones y caudales

promedios que corresponden a los sitios estudiados se detallan en la figura 2.

El Embalse Cabra Corral cubre una superficie aproximada de 11.360 ha y tiene una capacidad promedio de 3130 hm<sup>3</sup>, siendo el influjo anual

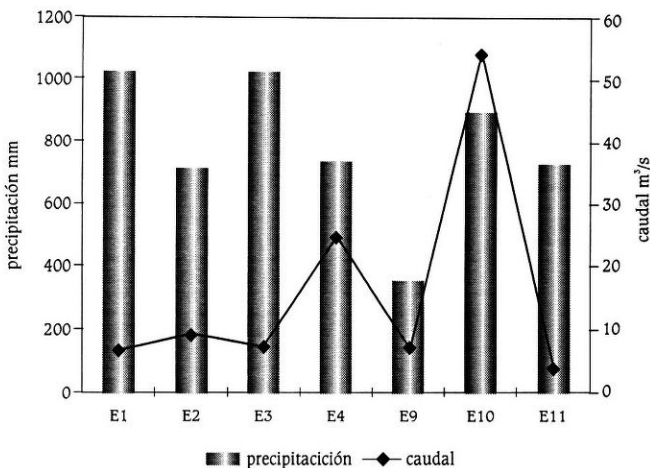


Figura 2

Promedios anuales de precipitaciones y caudales en los sitios de muestreo de la Alta Cuenca del Río Juramento. E1=Toro, E2= Rosario, E3= Arias, E4=Arenales, E9= Miraflores, E10= Guachipas, E11= Medina.

promedio de agua al embalse del orden de los 1246 hm<sup>3</sup>, e ingresa el 80% del mismo en el período comprendido entre diciembre y abril. Recibe los aportes de las cuencas de los ríos Arenales y Rosario cuya área de drenaje es de 7.400 km<sup>2</sup> y de la cuenca del río Guachipas que abarca una superficie de 26.135 km<sup>2</sup> (Pontussi, 1993). También recibe otros tributarios desde el oeste como los ríos Chicoana, Chufiapampa y Ampascachi. Las cuencas del Arenales y Rosario aportan el 82,7 % de los caudales del Juramento Superior en tanto que la contribución del resto de la cuenca es de apenas el 17,3% (CFI, 1962). La descarga media anual del embalse al río Juramento en forma regulada es de 992 hm<sup>3</sup>. El embalse El Tunal tiene una capacidad actual de 147 hm<sup>3</sup> a cota a nivel del vertedero (472msnm) y recibe las descargas de los ríos Juramento y Medina.

Los muestreos se efectuaron en octubre de 1997, y en febrero, mayo y diciembre de 1998 cubriendo ambas situaciones del ciclo hidrológico. Los meses de diciembre y febrero correspondieron al período de crecidas en tanto que los restantes (octubre y mayo) se

consideraron representativos del estiaje. Se analizaron un total de 13 sitios, con una muestra en cada uno de los siguientes ríos: Toro, Rosario, Guachipas y Medina y dos muestras en el río Arias-Arenales (antes y después de las máximas descargas vertidas en su trayecto por la ciudad de Salta). Se muestrearon 3 sitios de la Presa Cabra Corral (en la desembocadura al embalse del río Arias-Arenales y del río Guachipas y en la presa). El embalse El Tunal se muestreó en dos sitios: en el ingreso del río Juramento y en la presa. Las muestras se coleccionaron del agua superficial en los ríos y a la profundidad de lectura del disco de Secchi en los embalses.

Las estaciones de muestreo se simbolizaron como: E<sub>1</sub>= río Toro, E<sub>2</sub>= Rosario, E<sub>3</sub>=Arias, E<sub>4</sub>= Arenales, E<sub>5</sub>= Cabra Corral, ingreso del Arenales, E<sub>6</sub>= Cabra Corral, ingreso Guachipas, E<sub>7</sub>=Cabra Corral presa, E<sub>8</sub>= Peñas Blancas, E<sub>9</sub>=Miraflores, E<sub>10</sub>=Guachipas, E<sub>11</sub>= Medina, E<sub>12</sub>= El Tunal, entrada del río Juramento y E<sub>13</sub>= presa El Tunal; su ubicación se detalla en la figura 1. En cada muestreo se



cuantificaron las siguientes variables: temperatura (con termómetro eléctrico, en °C), pH (con peachímetro digital), conductividad (con electrodo específico, expresada en  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), turbidez (con nefelómetro digital, en NTU), sólidos totales y en suspensión (por gravimetría, en  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ), oxígeno disuelto (con oxímetro digital, en % y en  $\text{mgO}_2\cdot\text{l}^{-1}$ ), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub> por diluciones e incubación a 20°C por cinco días, en  $\text{mg O}_2\cdot\text{l}^{-1}$ ) y demanda química de oxígeno (DQO por digestión con  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), nitratos (técnica de brucina, en  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) fósforo reactivo soluble (técnica del ácido ascórbico, en  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) y fósforo total (por digestión con persulfato, en  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) según normas de la APHA (1992).

Se evaluó la densidad algal del fitoplancton mediante el recuento bajo microscopio invertido a 400 aumentos, previa sedimentación de 50 ml de muestra preservada con lugol acético (Uthermöl, 1958). Los resultados se expresaron como densidad total y para cada clase algal (número de organismos. $\text{ml}^{-1}$ ). Se estimó biomasa en base a la determinación de clorofila  $\alpha$  en los extractos acetónicos al 90% según técnica de Scor-Unesco (1966). Se calculó además la diversidad específica de Shannon-Weaver (1963).

El análisis estadístico de los datos, previa normalización de sus distribuciones por transformación logarítmica en base 10, se realizó

utilizando análisis de varianza y test de Tuckey para comparar sitios y test de Student para contrastar ambos períodos hidrológicos. Además se realizaron correlaciones y regresiones a los efectos de comprobar existencia de relaciones entre variables.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Ríos

La mayor parte de los ríos estudiados presentaron rangos de valores característicos de las aguas superficiales reportadas a nivel mundial (UNEP 1995) (Cuadro 1). No obstante, existieron excepciones notables en algunos ambientes para determinados parámetros. Es el caso del río Guachipas que tiene un exceso de contenido salino atribuible a la evaporación a lo largo del trayecto de sus afluentes por los valles Calchaquíes por la escasez de precipitaciones (menores a 300 mm) como a la abundancia de afloramientos de sedimentitas de edad Terciaria, con sales solubles principalmente de sulfato de calcio (Baudino, 1996). Dicha situación se evidenció en los registros de conductividad (promedio: 1779  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , mínimo 1221  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  y máximo 2550  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), de turbidez (promedio: 27.042 NTU, máximo 80.100 NTU y mínimo de 312 NTU) y de sólidos totales

**Cuadro 1**

Valores promedio de parámetros fisicoquímicos de ríos y embalses de la Alta Cuenca del río Juramento (Salta) durante el ciclo hidrológico 1997-98 (1) C. Corral ingreso del río Arenales (2) C. Corral ingreso del río Guachipas (3) C. Corral Presa.

	pH	Cond. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Turbidez NTU	T °C	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> mg/l	STD mg/l	DBO <sub>5</sub> mgO <sub>2</sub> /l	DQO mg/l	NNO <sub>3</sub> mg/l	PRS mg/l	PT mg/l	Cl $\alpha$ mg/m <sup>3</sup>
Toro	8,51	288,0	116,00	17,7	79,35	6,29	479,2	6,33	19,40	2,08	0,68	3,92	3,22
Rosario	7,75	1214,0	458,00	22,1	29,08	2,37	874,3	76,90	112,90	2,85	1,54	4,22	11,86
Arias	8,04	151,0	3,42	24,4	86,70	6,29	488,9	0,94	1,25	0,85	0,26	0,36	3,83
Arenales	7,66	408,0	240,60	23,1	55,23	4,78	234,6	5,37	7,29	1,33	2,32	3,31	32,97
Guachipas	8,50	1779,0	270,42	14,4	77,05	5,88	4927,0	18,80	77,34	1,50	0,24	0,83	5,12
Peñas Blanc.	7,95	414,0	1,69	18,7	69,32	5,70	311,5	6,30	7,75	1,03	0,17	0,41	1,54
C. Corral (1)	8,66	437,0	5,16	22,6	82,25	6,06	309,5	2,72	4,14	0,66	0,17	0,56	11,00
C. Corral (2)	8,40	484,0	1,87	23,9	82,65	5,80	389,5	1,99	2,82	0,65	0,16	0,41	4,23
C. Corral (3)	8,22	440,0	1,77	23,4	88,78	6,72	304,9	4,27	6,83	0,93	0,15	0,48	7,26
Miraflores	8,16	439,8	127,70	21,3	77,15	6,35	299,2	5,65	6,94	0,58	0,26	0,45	3,87
Tunal Presa	8,09	536,8	9,37	24,4	76,73	5,99	389,5	5,12	7,21	0,23	0,20	0,48	12,48
Tunal JTO.	7,99	526,5	84,70	24,3	72,65	6,02	350,7	3,80	5,61	0,38	0,18	0,55	15,15
Medina	7,90	595,8	739,80	26,9	74,10	5,63	592,7	8,19	14,08	1,93	0,34	2,10	27,75



disueltos (promedio de 4927 mg.l<sup>-1</sup>, máximo de 15.559 mg.l<sup>-1</sup> y mínimo de 1118 mg.l<sup>-1</sup>).

El río Rosario también presentó elevada conductividad (promedio 1214  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , máximo de 1768 y mínimo de 647  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), altos tenores de sólidos totales disueltos (promedio de 874, máximo de 1229 y mínimo de 448 mg.l<sup>-1</sup>). Asimismo presentó el mayor déficit de saturación de oxígeno de la cuenca, en concomitancia con la elevada carga orgánica (con promedios de DBO<sub>5</sub> de 76,9 mg O<sub>2</sub>.l<sup>-1</sup> y de DQO de 112,9 mg O<sub>2</sub>.l<sup>-1</sup>), que recibe principalmente de los efluentes cloacales provenientes del municipio de Rosario de Lerma que son vertidos conjuntamente con los de una industria de curtiduría (Cuadro 1). El río Medina por su parte recibe influencia de cursos menores que transcurren por rocas terciarias incrementando la salinidad sobre todo durante el estiaje, acrecentada por la suavidad de la pendiente y la intensidad de los registros térmicos que favorecen los procesos de evaporación y concentración.

Los ríos con mayor incidencia de actividades antrópicas (Rosario y Arenales) sufrieron los mayores déficit de saturación de oxígeno. El río Rosario presentó el déficit más elevado (70,92%) debido a que la carga orgánica recibida tuvo mayor persistencia por su bajo caudal medio anual (9m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) en tanto que en el Arenales ni el déficit de oxígeno (44,77%) ni la carga orgánica (promedio 5,37 mg O<sub>2</sub>.l<sup>-1</sup>, máxima 9,7 mg O<sub>2</sub>.l<sup>-1</sup>) fueron tan elevados debido a su mayor caudal medio anual (24,43 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>). Los restantes ríos se mantuvieron dentro de los niveles guías de calidad del agua en función de los usos II<sup>o</sup> (agua para actividades

recreativas con contacto directo), III<sup>o</sup> (agua para actividades agropecuarias) y IV<sup>o</sup> (de protección de la vida acuática) propuestos por la Secretaría de Recursos Hídricos (1994).

La ocurrencia de variaciones en las características limnológicas en ambos períodos del ciclo hidrológico se manifestaron tanto en los parámetros fisicoquímicos (Cuadros 2 y 3) como en los parámetros biológicos (nutrientes y atributos de la comunidad algal) (Cuadro 4).

En general, la temperatura, el pH y los sólidos totales incrementaron durante el período de aguas altas (Cuadro 2). El transporte gravitacional en masa de los materiales se vió acentuado durante el período de crecidas con la correspondiente pérdida de transparencia del agua. Los episodios de torrencialidad produjeron el incremento en la concentración de sólidos en todos los cursos fluviales durante el período estival, existiendo correlaciones positivas entre los sólidos totales disueltos y la conductividad ( $p < 0,0002$ ,  $r^2 = 0,9897$ ), y entre los sólidos en suspensión y la turbidez ( $p < 0,003$ ,  $r^2 = 0,9275$ ).

El déficit de saturación de oxígeno disminuyó durante el período de crecidas en los cursos que presentan fuertes pendientes como el Toro (0,032) y el Arenales (0,045) o como el río Guachipas que transcurre por una subcuenca de escasa vegetación, drenada por numerosos cursos temporales. En otros cursos fluviales la disponibilidad del oxígeno fue dependiente del manejo a que son sometidos sus

**Cuadro 2**

Valores promedio de parámetros fisicoquímicos en el período de crecidas del ciclo hidrológico 1997-98 de los ríos de la Alta Cuenca del río Juramento (Salta).

	pH	Conduct. $\mu\text{S}/\text{cm}$	T °C	Sol. Tot. mg/l	Déficit O <sub>2</sub> %	DBO <sub>5</sub> mgO <sub>2</sub> /l	DQO mg/l	PRS mg/l	PT mg/l	NNO <sub>3</sub> mg/l
Toro	8,57	287	21,75	1566	16,30	12,15	38,05	0,15	6,54	2,75
Rosario	7,78	1447	26,15	1584	73,10	55,40	78,35	1,44	5,69	4,30
Arias	8,42	150	25,15	930	22,00	1,11	1,51	0,27	0,30	1,25
Arenales	8,10	312	24,45	386	19,50	3,74	4,38	1,94	3,31	2,20
Guachipas	8,40	2096	22,23	13577	15,90	33,43	149,00	0,18	1,00	2,64
P Blancas	8,58	444	20,80	342	< 1	10,50	12,10	0,07	0,20	0,80
Miraflores	8,84	463	25,00	493	23,95	6,60	7,64	0,24	0,55	0,45
Medina	8,29	434	27,75	1511	28,95	13,87	23,59	0,50	3,57	2,30



**Cuadro 3**

Valores promedio de parámetros fisicoquímicos en el período de estiaje del ciclo hidrológico 1997-98 de los ríos de la Alta Cuenca del río Juramento (Salta).

	pH	Conduct. μS/cm	T °C	Sol. Tot. mg/l	Déficit O <sub>2</sub> %	DBO <sub>5</sub> mgO <sub>2</sub> /l	DQO mg/l	PRS mg/l	PT mg/l	NNO <sub>3</sub> mg/l
Toro	8,45	288	13,65	272	25,00	0,50	0,75	1,16	1,35	1,40
Rosario	7,73	981	18,10	987	68,75	98,50	148,00	1,65	2,75	1,40
Arias	7,67	152	23,60	58	4,50	0,77	1,00	0,26	0,42	0,45
Arenales	7,22	504	21,85	312	70,00	7,00	10,20	2,70	3,30	0,45
Guachipas	8,59	1462	16,65	1590	30,00	4,17	6,00	0,30	0,67	0,35
P Blancas	7,32	384	16,55	284	65,30	2,13	3,40	0,28	0,63	1,25
Miraflores	7,48	417	17,60	346	21,75	4,70	6,25	0,29	0,36	0,70
Medina	7,50	758	25,90	657	22,85	2,52	4,58	0,19	0,63	1,55

caudales por la presencia de presas compensadoras (como el río Juramento en Peñas Blancas y en Miraflores). Por su parte, los ríos Arias, Rosario y Medina con caudales medios anuales inferiores a  $9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Fig. 2) presentaron una situación inversa de mayor déficit durante el período de crecidas, debido a la incidencia de las elevadas temperaturas del agua sobre la pérdida de solubilidad del oxígeno. El tenor de oxígeno en el río Rosario alcanzó un déficit de saturación del 98 % en el mes de noviembre de 1997 tras una intensa sequía.

En la subcuenca del río Guachipas que representa el 78,7% del área total de la cuenca, la extrema aridez acentúa los procesos de evaporación. Después del río Rosario, su contenido en material particulado degradable:  $\text{DQO} = 77,34 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ , y  $\text{DBO}_5$ , promedio =  $18,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ , fue el segundo en importancia, debido a un fuerte incremento del material en suspensión registrado en diciembre de 1998 cuando se iniciaron las primeras lluvias (Cuadro 1).

El aporte de nitratos durante el período de lluvias fue mayor en los ríos que en los embalses y duplicó o triplicó el valor del estiaje. Esta tendencia indica la fuerte incidencia del arrastre del nutriente desde tierras agrícolas, como resultado de la aplicación intensiva de agroquímicos y se incrementó en coincidencia con la primera fase de elevación del nivel de las aguas (octubre 1997 y diciembre 1998). Este patrón de incremento temprano de nitratos con la primera fase del aumento del caudal ha sido observado tanto para pequeños ríos de cuencas forestadas no alteradas, como para ríos tropicales

mayores con ciertos niveles de polución (Cauca, Alto Paraná) (Pedrozo & Bonetto, 1989).

El valor promedio de nitrato soluble en los ríos ( $1,52 \text{ mg NNO}_3 \cdot \text{l}^{-1}$ ) fue superior al promedio mundial ( $0,55 \text{ mg de NNO}_3 \cdot \text{l}^{-1}$ ) dado por Meybeck (1979) y al río Bermejo antes de su confluencia con el Paraguay ( $0,019 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) (Pedrozo & Bonetto, 1987).

En el caso de los ortofosfatos solubles el comportamiento fue inverso a los nitratos, dado que los mayores valores son alcanzados durante el estiaje a pesar de que el transporte del fósforo particulado coincide con el incremento de sedimentos durante las lluvias (Cuadro 2).

El valor medio de PRS ( $0,73 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) fue muy superior al valor medio mundial estimado de  $0,023 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . La comparación con otros ríos del noreste indicaron la misma tendencia, por ejemplo en relación al Bermejo ( $0,006 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) (Pedrozo & Bonetto, *op. cit.*), y en el caso de la cuenca del Juramento su procedencia es atribuible a la actividad antrópica.

El río Rosario transportó el mayor tenor de fósforo total ( $4,22 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), siendo relevante su contenido en fósforo particulado ( $63,51\%$ ), aportado en su mayor parte por su tributario el río Toro, que detentó el segundo valor promedio de PT ( $3,92 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) y también una alta proporción de fósforo ligado al material particulado (83%). La enorme cuenca de drenaje del Toro ( $4.200 \text{ km}^2$ ) y las altas tasas de erosión debidas a diferencias altitudinales pronunciadas, aportaron gran cantidad de fósforo particulado transportado por los sólidos suspendidos del agua.

La densidad algal promedio en los ambientes lóticos



fue de 1341 ind.ml<sup>-1</sup>. Los máximos valores promedios correspondieron al río Arenales (2756 ind.ml<sup>-1</sup>) a la salida de la ciudad de Salta, seguido por los ríos Rosario (2155 ind.ml<sup>-1</sup>) y Guachipas (1887 ind.ml<sup>-1</sup>) (Fig. 3). El mínimo valor promedio fue del Juramento (399 ind.ml<sup>-1</sup>) a la salida de la presa compensadora de Miraflores, seguido por el río Pasaje en Peñas Blancas (482 ind.ml<sup>-1</sup>). El menor número de individuos se registró en noviembre de 1997 (1175 ind.ml<sup>-1</sup>), correspondiendo los valores máximos a la primavera (1440 ind.ml<sup>-1</sup>) y al verano (1378 ind.ml<sup>-1</sup>).

En general, las variables fisicoquímicas no se correlacionaron con la densidad algal, aunque si ésta tuvo una relación positiva significativa con la concentración de clorofila *a* ( $p < 0,0003$ ,  $r = 0,569$ ) y negativa con las precipitaciones ( $p < 0,022$ ,  $r = -0,429$ ).

En el período de estiaje, la densidad del fitoplancton en los cursos lóticos dependió en forma lineal altamente significativa de la concentración de PRS ( $r^2 = 0,9497$ ,  $p < 0,00031$ ) al igual que la concentración de clorofila *a* ( $r^2 = 0,7876$ ,  $p < 0,02$ ). Durante el período de lluvias, la numerosidad del plancton dependió en forma lineal significativa de la carga orgánica ( $r^2 = 0,76203$ ,  $p < 0,02796$ ). El análisis conjunto de ambos períodos del ciclo hidrológico también conservó una relación lineal positiva entre la densidad algal y la materia orgánica ( $r^2 = 0,587756$ ,

$p < 0,01665$ ) y el PRS ( $r^2 = 0,76349$ ,  $p < 0,00058$ ). Esto último concuerda con apreciaciones previas de que al menos en los tributarios principales de la cuenca (ríos Rosario y Arenales) el crecimiento algal estaría limitado por la biodisponibilidad de fósforo (Salusso, 1998).

La distribución de especies en las clases algales indicó una dominancia neta de las Bacillariofitas en los cursos lóticos (Fig. 4) a excepción del río Rosario que por su grado de saptroiedad presentó mayor proporción de Cianobacterias. En el resto, existió una codominancia de las Cianobacterias y Clorofitas, seguidas por las Cryptofitas que presentaron valores superiores al 3% y estarían provistas de una especial habilidad para competir en ambientes turbios con nutrición heterotrófica alternativa (Salonen *et al.*, 1984; citado por Rojo & Alvarez Cobelas, 1993).

La diversidad específica algal en los cursos lóticos tuvo un valor promedio de 2,18 y varió de un mínimo de 0,6 en el río Rosario a un máximo de 3,19 en el Arias antes de su ingreso a la ciudad de Salta, durante el mes de diciembre de 1998. También la riqueza específica promedio fue máxima en el Arias (35 especies) y mínima en el Rosario (15 especies) en coincidencia con el grado de perturbación antrópica a que están sometidos. Durante el estiaje, tanto la diversidad como la riqueza de especies incrementaron en todos los ambientes cuando se hizo propicia una

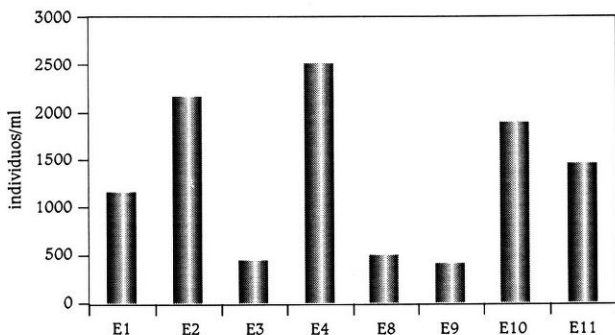


Figura 3

Densidades algales promedio en ríos de la Alta Cuenca del Río Juramento (Salta). E1=Toro, E2=Rosario, E3=Arias, E4=Arenales, E8=Peñas Blancas, E9=Miraflores, E10=Guachipas, E11=Medina.



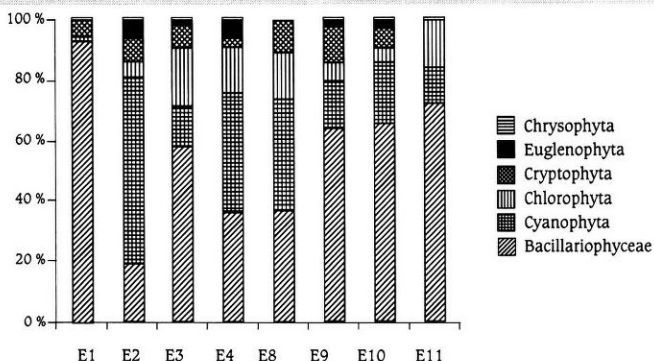


Figura 4

Composición por grupos algales de los sitios estudiados en la Alta Cuenca del Río Juramento.

E1=Toro, E2= Rosario, E3=Arias, E4=Arenales, E8= Peñas Blancas, E9= Miraflores, E10= Guachipas, E11=Medina

mayor heterogeneidad espacial por la generación de microhabitats diversos unida al efecto de concentración de biomasa por reducción de los caudales (Cuadro 4).

La concentración de clorofila  $a$  en los cursos lóticos varió en un amplio rango (de 0,65-87,83  $\text{mg.m}^{-3}$ )

correspondiendo el máximo valor promedio de la cuenca al río Arenales (32,97  $\text{mg.m}^{-3}$ ) en concordancia con la elevada concentración de PRS (promedio 2,32  $\text{mg.l}^{-1}$ ).

En el período de aguas altas los ríos Rosario y Medina incrementaron significativamente su contenido en

Cuadro 4

Valores promedio de parámetros biológicos en los ríos de la Alta Cuenca del río Juramento en ambos períodos del ciclo hidrológico (D.A.: Densidad algal, R.E.: riqueza específica, E.: equitatividad, D.E.: diversidad específica, Cl. a: clorofila a, e: estiaje, c: creciente).

	D.A. Ind./ml		R.E.		E.		D.E. bits		Cl $a$ $\text{mg/m}^3$	
	e	c	e	c	e	c	e	c	e	c
Toro	1049	920	21	13	0,42	1,09	2,26	2,80	3,69	2,75
Rosario	2414	1896	17	13	0,53	0,42	2,09	0,97	2,40	31,00
Arias	432	431	35	28	0,50	0,72	2,91	2,40	3,65	4,10
Arenales	3417	2096	27	23	0,40	0,79	2,25	2,35	27,80	5,00
Guachipas	1019	2755	29	12	0,43	0,63	2,78	1,21	3,68	6,56
P Blancas	333	631	37	17	0,44	0,78	2,63	2,19	2,14	0,95
Miraflores	502	295	19	16	0,39	0,60	1,70	1,43	5,50	2,24
Medina	924	1967	19	14	0,55	0,75	2,70	2,10	2,99	52,50



pigmentos clorofílicos (Cuadro 4) producto de los caudales moderados y del enriquecimiento de nutrientes provenientes de efluentes urbanos de tratamiento ineficiente.

La clasificación de los niveles de trofia de los cuerpos de agua propuesta por Felföldy (1987) en función de la concentración de clorofila  $\alpha$  indicó una condición de mesoeutrofia para los ríos Medina y Arenales, de mesotrofia para el Rosario en tanto que para los ríos Toro, Guachipas y Arias un nivel de oligomesotrofia en la precitada clasificación.

La salida del flujo del dique C.Corrál en el sitio Peñas Blancas donde se inicia el río Juramento presentó el menor valor medio de clorofila  $\alpha$  ( $1,54 \text{ mg.m}^{-3}$ ) condición atribuible más bien a la localización en profundidad de la salida del agua, que no es representativa del nivel trófico del curso lóxico.

#### Embalses

Los embalses Cabra Corral y El Tunal difieren entre sí en sus caracteres morfohidrométricos, no obstante la comparación de las variables fisicoquímicas del período estudiado sólo diferenció en forma significativa aquellos parámetros vinculados con la carga de material particulado (Cuadro 5).

El Tunal emplazado en el sitio de menor altitud de la cuenca (454 msnm) es el colector final de aguas del Juramento y presentó diferencias significativas en la conductividad (valor medio de  $532 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) con un pico de máxima en el período de crecidas ( $598 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ); en la turbidez sobre todo al ingresar el río Juramento al embalse (valor medio de 84,67 NTU) y también tuvo el pico más alto durante las lluvias (181

NTU en febrero de 1998). El río Juramento lleva una importante carga de sólidos suspendidos al ingresar a la presa El Tunal con un promedio de  $47,30 \text{ mg.l}^{-1}$ , en comparación con el tenor que ingresa al dique C. Corral tanto en la desembocadura del Arenales ( $6,5 \text{ mg.l}^{-1}$ ) como del Guachipas ( $2,98 \text{ mg.l}^{-1}$ ). No obstante, la ocurrencia de sedimentación en el Tunal, reduce el contenido de sólidos suspendidos en la zona de la presa a  $8,13 \text{ mg.l}^{-1}$ , lo que también ocurre en la presa del C. Corral ( $2,35 \text{ mg.l}^{-1}$ ).

El emplazamiento de los cuerpos de agua artificiales generó un nuevo nivel de base, sobre todo en C.Corrál y si bien los ríos aguas arriba de dicha presa siguen teniendo el mismo poder erosivo que antes de su construcción, aguas abajo de la misma determinó que el río Juramento genere un nuevo perfil de equilibrio que produce serios problemas erosivos (Rodríguez, 1996).

Los embalses denotaron en general una amortiguación de la carga orgánica por el efecto sumidero y el accionar de las comunidades algales (Cuadro 1). Las densidades promedios en los ambientes leníticos superaron los  $2000 \text{ ind.ml}^{-1}$  en las cuatro estaciones, siendo máximo el valor de febrero de 1998 ( $6366 \text{ ind.ml}^{-1}$ ) y mínimo el de mayo (2079  $\text{ind.ml}^{-1}$ ). Las zonas deltaicas de desembocadura del Arenales al C. Corral y del Juramento al Tunal ofrecieron una mayor disponibilidad de nutrientes que permitió la mayor tasa de concentración celular en dichos sitios (3863 y 5045  $\text{cél.ml}^{-1}$ , respectivamente). La variables relacionadas con los atributos de la comunidad algal no se diferenciaron entre sitios, a excepción de la densidad promedio que

**Cuadro 5**

Valores promedio de las variables fisicoquímicas con diferencias significativas en los embalses de la Alta Cuenca del río Juramento (Salta).

	Conductividad $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Turbidez NTU	Sólidos Suspendidos $\text{mg.l}^{-1}$
Cabra Corral E5	437,00 *	5,16 *	6,50 *
Cabra Corral E6	484,00 **	1,87 *	2,98 *
Cabra Corral E7	440,00 *	1,77 *	2,35 *
El Tunal E 12	526,50 *	84,67 *	47,30 *
EL Tunal E 13	536,75 *	9,37 **	8,13 **
	$p < 0,011$	$p < 0,012$	$p < 0,0006$

(\*) para cada variable, los sitios que comparten asteriscos no son diferentes entre sí.



**Cuadro 6**

Comparación de algunas variables limnológicas en ambos períodos del ciclo hidrológico en ambos embalses de la Cuenca Superior del río Juramento (Salta) (e: estiaje, c: creciente).

	pH		Conduct. mS.cm <sup>-1</sup>		%O <sub>2</sub>		DQO mg.l <sup>-1</sup>		NNO <sub>3</sub> mg.l <sup>-1</sup>		PRS mg.l <sup>-1</sup>		CL α mg.m <sup>-3</sup>	
	e	c	e	c	e	c	e	c	e	c	e	c	e	c
C. Corral Arenales	8,47	8,85	413	461	63,1	101,5	1,5	6,78	0,61	0,70	0,25	0,09	5,17	6,83
C. Corral Guachipas	8,37	8,44	452	517	72,1	93,2	1,7	3,99	0,65	0,70	0,26	0,07	3,97	4,48
C. Corral Presa	7,62	8,83	410	471	72,9	104,7	3,8	9,85	1,25	0,60	0,24	0,07	8,15	6,38
El Tunal Juramento	7,52	8,46	493	561	71,4	74,0	1,9	9,28	0,30	0,45	0,26	0,11	5,53	24,80
El Tunal Presa	7,48	8,71	495	579	71,8	81,7	9,9	4,58	0,30	0,20	0,21	0,19	11,12	13,84

presentó un incremento espacial norte-sur en la biomasa con el máximo valor en El Tunal sitio que también concentró la mayor proporción de pigmentos clorofílicos (Cuadro 6).

La diversidad promedio algal fue máxima en el embalse C. Corral, en el ingreso del río Guachipas (2,075 bits) y mínima en la presa del mismo sitio (1,52 bits). En el Tunal, la diversidad media se asemejó en el ingreso del Juramento (1,88 bits) a la presa (1,66 bits); en ambos sitios se dieron los máximos registros de riqueza específica promedio (25 y 23 especies, respectivamente) comparada con el C. Corral cuya media fue de 19 especies. Según un análisis estacional, ambos embalses tendieron a presentar valores de diversidad (2,14), riqueza (24) y equitatividad (0,70) mayores durante el verano (febrero de 1998) cuando la temperatura del agua superó los 25°C y los registros menores (1,40, 14 y 0,10, respectivamente) a fines del invierno e inicios de la primavera (octubre de 1997) cuando la temperatura no superó los 21°C. El otoño (mayo de 1998) presentó registros similares al verano, siendo los valores medios de riqueza (24 especies), equitatividad (0,63) y diversidad (2,02), similares en

ambos cuerpos de agua.

La comparación de ambos períodos del ciclo hidrológico, entre diferentes sitios de muestreo de los embalses proporcionó valores superiores en el período de crecidas para la mayoría de las variables limnológicas consideradas (Cuadro 6).

El aporte difuso de nitratos fue mayor durante el período de crecidas en los sitios de desembocadura de los tributarios (E<sub>s</sub>, E<sub>c</sub> y E<sub>i</sub>) y no así en las presas (E<sub>r</sub> y E<sub>p</sub>) donde la biodisponibilidad del nutriente fue mayor durante el estiaje, cuando sus aguas por lo general permanecieron quietas por no rebasar los vertederos y los organismos pudieron reciclar las formas orgánicas de nitrógeno (Cuadro 6). Los ortofosfatos en cambio, incrementaron durante el estiaje en ambos embalses, en concordancia con el período de desestratificación térmica. La densidad algal no obstante, no fue mayor en dicho período sino durante la fase de incremento de las aguas cuando se elevó la temperatura del agua (26,35±1,17°C) y se mejoró la relación N/P (que de 2,6 en el estiaje pasa a ser de 6,3) asumiendo valores no limitantes para el crecimiento algal, el cual fue también significativamente mayor.



Ambos reservorios presentaron valores de nutrientes superiores a otros de la región neotrópica, como por ejemplo en relación a 17 reservorios del Estado de San Pablo (Brasil) de valores promedios de  $\text{NNO}_3 = 0,07 \text{ mg.l}^{-1}$  y de PRS =  $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$  y en relación a 7 embalses de Antioquía (Colombia) con promedios de  $\text{NNO}_3 = 0,2$  y de PRS =  $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$  (Roldán Pérez, 1992).

El análisis comparativo con 7 embalses pertenecientes a la región noroeste de la Argentina (Quirós, 1988) indicó que los valores de clorofila  $\alpha$  del Tunal se asemejaron a los citados para los diques Las Maderas, Campo Alegre, Río Hondo y Las Piriquitas. En tanto que el dique Cabra Corral se asemejó al Cadillal y La Ciénaga, conservando un valor similar al reportado por Quirós en dicho estudio. La diferencia más notable se dió en el contenido de PT, dado que tanto el C. Corral (con un promedio de  $480 \text{ mg.m}^{-3}$ ) como El Tunal (promedio  $515 \text{ mg.m}^{-3}$ ) superaron ampliamente la concentración promedio de los precitados embalses ( $83,57 \text{ mg.m}^{-3}$ ) y sólo Río Hondo con  $322 \text{ mg.m}^{-3}$  se aproximó a dichos valores.

La comparación entre cuerpos lénticos y lóticos permitió establecer diferencias en varios parámetros. En general, en los ríos existió una mayor concentración de nutrientes (nitratos, PRS y PT), de sólidos en suspensión y por ende turbidez, y si bien no presentaron mayor densidad algal que los embalses,

tuvieron mayor diversidad específica (Cuadro 7).

El valor promedio de concentración de clorofila  $\alpha$  en los embalses ( $10,02 \text{ mg.m}^{-3}$ ) fue similar al de los cursos lóticos ( $10,71 \text{ mg.m}^{-3}$ ) fluctuando en un rango más acotado ( $2,8-28,81 \text{ mg.m}^{-3}$ ). No existieron diferencias significativas en la concentración de pigmentos clorofílicos entre ambos tipos de ambientes, lo que sugiere que la biomasa de los embalses fue menor a la de los ríos a pesar de la densidad de los organismos del plancton en los mismos. Una mejor representatividad de pequeñas Chlorococcales, minúsculas colonias de Cianobacterias y Cryptofitas unicelulares en los embalses pudieron contribuir a dicha situación.

La estructura de las comunidades algales en los embalses varió espacialmente, en función de la ubicación de las estaciones de muestreo: en las zonas de aporte turbulento de los tributarios hubo predominio de las diatomeas, en tanto que en la región propiamente lenítica de los cuerpos de agua existió codominio de Cianobacterias y Clorofitas. También las Cryptofitas fueron conspicuas sobre todo en las presas (Fig.5). Las grandes diatomeas se hicieron particularmente importantes con la reducción de la radiación solar al enfriarse el agua e iniciarse el período de recirculación o mezcla.

La clasificación de los niveles de saprobiedad en

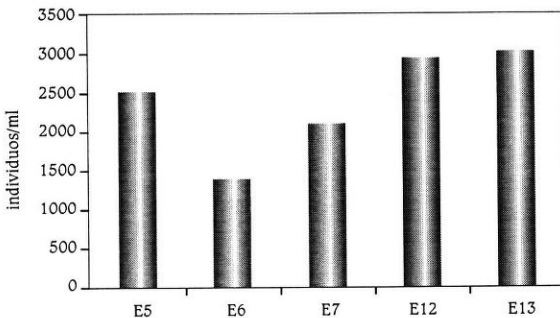


Figura 5

Promedios de densidades algales en los sitios muestreados de ambos embalses de la Alta Cuenca del Río Juramento (Salta). E5= Cabra Corral Arenales, E6= Cabra Corral Guachipas, E7= Cabra Corral Presa, E13= El Tunal Presa.



**Cuadro 7**

Comparación de las variables fisicoquímicas y biológicas con diferencias significativas entre cuerpos lóticos y embalses en ambos períodos del ciclo hidrológico en la Alta Cuenca del río Juramento.

VARIABLE	PERÍODO	LUGAR	PROMEDIO	F	NIVEL DE SIGNIFICACION
pH	Estiaje	Embalses	7,890 **	3,186	0,0340
		Ríos	7,859 *		
	Creciente	Embalses	8,650 *	7,760	0,0081
		Ríos	8,257 **		
Turbidez	Estiaje	Embalses	14,018 *	7,760	0,0081
		Ríos	137,227 **		
	Creciente	Embalses	23,844 *	7,760	0,0081
		Ríos	7071,388 *		
S. Suspendidos	Estiaje	Embalses	9,320 *	12,893	0,0000
		Ríos	75,894 *		
	Creciente	Embalses	17,578 *	12,893	0,0000
		Ríos	1196,656 *		
T° C	Estiaje	Embalses	21,050 **	2,857	0,049
		Ríos	20,270 *		
	Creciente	Embalses	26,350 *	2,857	0,049
		Ríos	22,600 **		
NNO <sub>3</sub>	Estiaje	Embalses	0,600 *	7,052	0,0006
		Ríos	0,930 *		
	Creciente	Embalses	0,530 *	7,052	0,0006
		Ríos	2,570 *		
PRS	Estiaje	Embalses	0,240 *	3,314	0,0295
		Ríos	1,050 *		
	Creciente	Embalses	0,100 *	3,314	0,0295
		Ríos	0,740 **		
PT	Estiaje	Embalses	0,560 *	5,868	0,002
		Ríos	1,510 **		
	Creciente	Embalses	0,430 *	5,868	0,002
		Ríos	3,400 *		
Densidad Algal	Estiaje	Embalses	2528,000 *	15,142	0,000
		Ríos	1261,000 *		
	Creciente	Embalses	5293,000 *	15,142	0,000
		Ríos	1436,000 *		
Diversidad Específica	Estiaje	Embalses	1,711 *	3,489	0,0248
		Ríos	2,493 *		
	Creciente	Embalses	1,755 **	3,489	0,0248
		Ríos	1,948 **		

(\*) para cada variable, los sitios (embalses - ríos) en ambos períodos del ciclo hidrológico, que comparten asteriscos no presentan diferencias significativas entre sí.

función de los parámetros bioquímicos (Hamm, 1969; Iawa, 1982 y Hütter, 1984) denotaron un gradiente temporo-espacial creciente de oligosaprobiedad a  $\alpha$ - mesosaprobiedad aguas abajo

en los ríos de la cuenca, a excepción del Rosario que presentó un grado de polisaprobiedad en todo el período muestreado. Los embalses Cabra Corral y El Tunal, se categorizarían como oligo y  $\beta$ -

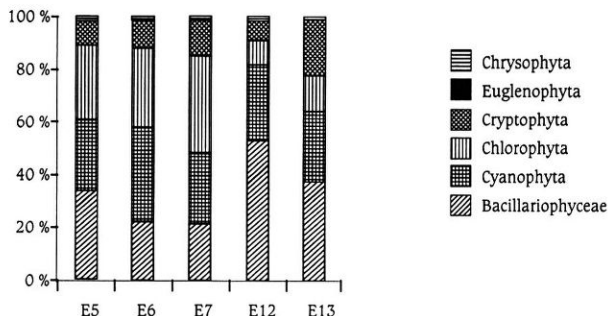


Figura 6

Composición porcentual promedio por clases algales de los diferentes sitios muestreados en los embalses de la Alta Cuenca del Río Juramento (Salta).

E5=C. Corral Arenales, E6=C. Guachipas, E7=C. C. Presa, E12=Tunal Juramento, E13= Tunal Presa.

mesosaprófitos según dicha clasificación. En función de su estado trófico se clasificaron como mesotrófico y mesoeutrófico, respectivamente.

## CONCLUSIONES

La comparación de los cuerpos de agua de la cuenca mostró diferencias en la concentración de sólidos totales y nutrientes los que fueron significativamente mayores en los ríos que en los embalses.

La densidad algal fue superior en ambos embalses en comparación con los diversos ríos de la cuenca.

En los cursos lóticos se cumplió un patrón general de incremento del aporte de nitrógeno de las fuentes no puntuales durante el período de lluvias a diferencia del contenido de fósforo reactivo soluble que fue mayor durante el estiaje.

El patrón de abundancia de la biomasa algal en los cursos lóticos estuvo regulado por el ciclo hidrológico, incrementando durante el estiaje con el aumento de la heterogeneidad espacial y la disminución de los caudales. En los ambientes lénticos en cambio, los picos se produjeron cuando los fenómenos de pluviosidad en la cuenca enriquecieron el aporte de nutrientes a los reservorios.

La concentración de biomasa algal en los ríos a lo largo de todo el ciclo hidrológico, fue dependiente tanto de la concentración del PRS como de la materia orgánica.

Los ríos fueron sistemas mucho más heterogéneos que los embalses y por ende capaces de sufrir fluctuaciones estacionales mayores, siendo sustento de una biota algal más diversa.

La clasificación de los niveles de saprobiedad en función de los parámetros bioquímicos denotaron un gradiente temporo-espacial creciente de oligosaprobiedad a  $\alpha$ -mesosaprobiedad aguas abajo de la cuenca, a excepción del río Rosario que presentó un grado de polisaprobiedad en todo el período muestreado.

Los embalses fueron ambientes más estables con menor variabilidad intrínseca de los parámetros limnológicos considerados y una buena capacidad amortiguadora de la carga orgánica, de los sólidos en suspensión y del contenido de nutrientes.

## REFERENCIAS

- APHA (American Public Health Association). 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17° edición.



- Ets. Díaz de Santos*, S.A. Madrid, 1889 p.
- Baudino, G.A. 1996. Hidrogeología del Valle de Lerma (Provincia de Salta, Argentina). Tesis Doctoral. *Univ. Nac. Salta*. 166 p.
- Bianchi, A.R. 1981. Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Est. Exp. Reg. Agrop. Salta. *Sec. Agríc. Ganad., Pesca Nac.*, Buenos Aires. 383 p.
- Cabrera, A.L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 14: 1 - 2. Buenos Aires. 85 p.
- CFI (Consejo Federal de Inversiones). 1962. Recursos Hidráulicos Superficiales. IV°. Serie Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. 1°. *Sec. Rec. Nac. Arg.* 831 p.
- Comité de Cuenca. 1977. Estudio preliminar para el aprovechamiento de los recursos hídricos de la Cuenca del río Pasaje-Juramento-Salado. *Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación*. C.F.I.2. 344 p.
- Felföldy, L. 1987. Biological water classification. In L. Felföldy (ed.), *Vízügyi Hidrobiológia*, VGI, Budapest, 258 pp.
- Hamm, A. 1969. Die Ermittlung der Gewässergüteklassen bei Fließgewässern nach den Gewässergütesystem und Gewässergütemogramm. *Münch. Beitr. Abwasser-Fisch. Flussbiol.* 15: 46 - 48.
- Hutter, L.A. 1984. Laborbucher Chemic, Wasser und Wasseruntersuchung. Frankfurt: *Verlag Savarländer*. 344 pp.
- Iawa, L. 1982. Landamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. Richtlinie für die *Ermitt. Gewäss. Klasse*. Dusseldorf, 12 pp.
- Musso de Dip, H., R. Pereyra, I.L. de Upton. 1993. La concentración de boro en las aguas del Valle de Lerma. *Act. Iº Congr. Reg. NOA y Med. Amb.*: 374 - 381.
- Meybec, M. 1979. Concentration des eaux fluviales en elements majeurs et apports en solution aux oceans. *Rev. Geol. Dyn. Geog. Phys.* 21 (3): 215 - 246.
- Pasculli, M.N. 1997. Contaminación con boro en el embalse Cabra Corral. Tesis Profesional de Licenciatura R. Naturales. *Univ. Nac. Salta*. 68 p.
- Pedrozo, F. & C. Bonetto. 1987. Nitrogen and phosphorus transport in the Bermejo River (South America). *Rev. Hydrobiol. trop.* 20 (2): 91 - 99.
- Pedrozo, F. & C. Bonetto. 1989. Influence of river regulation on nitrogen and phosphorus mass transport in a large South American River. *Regulated Rivers: Res. & Manage.* 4: 59 - 70.
- Pedrozo, F.L. & C.A. Bonetto. 1991. Nitrogen and phosphorus in the Chaco Plain waterbodies. *Med. Amb.* 11 (2): 96 - 106.
- Pedrozo, F.; S. Chillrud, P. Temporetti & M. Díaz. 1993. Chemical composition and nutrient limitation in rivers and lakes of northern Patagonian Andes (39.5°-42°S; 71° W) (Rep. Argentina). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 207 - 214.
- Pontussi, E.P. 1993. Geografía del Noroeste Argentino. Facultad de Ciencias Naturales, *Univ. Nac. Salta*. 120 p.
- Quiros, R. 1988. Relationships between air temperature, depth, nutrients and chlorophyll in 103 Argentinian lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23: 647 - 658.
- Ramirez, V.R., G. Salinas, S. Chavarría de Zjaría y V. Liberal. 1993. Algunos indicadores de contaminación y autodepuración de un tramo del río Arias-Arenales, Salta-Argentina. *Act. Iº Congr. Reg. NOA y Med. Amb.* 269 - 280.
- Rodriguez, R.B. 1996. Geología de la comarca de Cabra Corral, Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Tesis profesional en Geología. *Univ. Nac. Salta*, 72 p.
- Rojo, C. y M. Alvarez Cobelas. 1993. Taxonomy and ecology of phytoplankton in a hypertrophic, gravel-pit lake. II. Cryptophyceae, Euglenophyceae, Dinophyceae. *Nova Hedwigia* 57 (1-2): 47-63.
- Roldán Pérez, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. *Edit. Univ. de Antioquia*, Colombia. 529 p.
- Scor-Unesco. 1966. Determination of photosynthetic pigments in seawater (Monographs On Oceanographic Methodology). 1. *Rep. Scor-Unesco. Work. Group 17*, Paris. 69 pp.
- Salonen, K., R.I. Jones & L. Arvola. 1984. Hypolimnetic phosphorus retrieval by diel vertical migrations of lake phytoplankton. *Freshwater Biol.* 14: 431 - 438.
- Salusso, M.M., L.B. Moraña y V. Liberal. 1997. Procesos de autodepuración en ríos del valle de Lerma (Salta). *Cuadernos del Curiham*, 4: 27 - 38.
- Salusso, M.M. 1998. Evaluación de la calidad del agua de dos ríos del Valle de Lerma (Salta) sometidos a acción antrópica. Tesis de Maestría. *Univ. Nac. del Litoral*, 94 p.



- Secretaría de Recursos Hídricos. 1994. Las Cuencas Hídricas de la Provincia de Salta. Caracterización Física. Parte I. *Dirección de Medio Ambiente*. 76 p.
- Shannon, C.E. & W. Weaver. 1963. The mathematical theory of Communication. *University Illinois Press*, 117 pp.
- Sueldo, C., V.G. Ramírez, S.E. Chavarria de Zjaría y N. Torres. 1987. Estudio limnológico de los embalses de la Provincia de Salta. II°. Presa General Manuel Belgrano. Consejo de Investigación, *Univ. Nac. de Salta*, 111 p.
- Tracanna, B., A. Villagra de Gamundi, C. Seeligmann, C. Locascio de Mitrovich y E. Drago. 1991. Limnología del embalse El Cadillal (Tucumán, Argentina). I. Variables morfológicas y físico-químicas. *Rev. Hydrobiol. trop.* 24 (4): 269 - 286.
- Tracanna, B. y C. Seeligman. 1993. Limnología del embalse El Cadillal (Tucumán-Argentina). III. Estudio cuantitativo del fitoplancton. *Lilloa* 1: 65 - 74.
- Tracanna, B. y S. Martínez De Marco. 1997. Ficoflora del río Salí y sus tributarios en áreas del Embalse Dr. C.Gelsi (Tucumán-Argentina). *Natura Neotropicalis* 28 (1): 23 - 38.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1995. Water Quality of World River Basins. *UNEP Envir. Library* 14. Nairobi, Kenya, 40 pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zür Vervollkommnung der quantitativen-Phytoplankton Methodik. *Mitt int. Ver. Limnol.* 9: 1 - 38.
- Villagra de Gamundi, A., C. Seeligmann, B. Tracanna y C. Locascio de Mitrovich. 1993. Sobre la limnología físicoquímica del río Salí y sus tributarios en áreas próximas al embalse El Cadillal (Tucumán-Argentina). *Miscelánea* 91, *Fund. M. Lillo*. Tucumán, 18 p.

Recibido / Received /: 20 agosto 1999

Aceptado / Accepted /: 17 mayo 2000

#### ARBITRAJE

*Los trabajos publicados en NATURA NEOTROPICALIS son juzgados por dos especialistas en el tema. En caso de que el Comité Editorial reciba opiniones diametralmente opuestas, es enviado a un tercer árbitro.*