

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL ARROYO DEL FUERTE, TANDIL.

CIFUENTES, M.¹; GABELLONE, N.² Y RUIZ DE GALARRETA, A.¹

1: Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales
Facultad de Ciencias Humanas
UNICEN
Tandil (7000) Campus Universitario
e-mail: sol.m.cifuentes@gmail.com, agala@live.com.ar

2: Instituto de Limnología. Dr. R. Ringuelet
UNLP - CONICET
La Plata (1900) Boulevard 120 N°1462
e-mail: gabellon@ilpla.edu.ar

Resumen. *El Lago del Fuerte, embalse destinado a regular las inundaciones en la ciudad de Tandil, se localiza en el cierre de la cuenca del arroyo del Fuerte y constituye uno de los hitos turísticos de la ciudad. Cubre una superficie de 19 ha y su profundidad media es de 0,80 m. Ha sido clasificado eutrófico a hipertrófico, debido al aporte de nutrientes y sedimentos relacionados a los usos del suelo. El objetivo fue realizar una caracterización físicoquímica de las aguas superficiales desde las nacientes hasta la salida de las compuertas del lago. Se analizaron: pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto en los tributarios (arroyos San Gabriel y La Cascada), el Lago del Fuerte y a la salida de la represa. Se realizaron 10 muestreos de agua superficiales en 4 puntos en el período enero/2015 – enero/2016 con una frecuencia estacional, intensificándose en el período estival. Se considera que las diferencias temporales y espaciales de los parámetros analizados se debieron al aporte de aguas subterráneas en los arroyos, la precipitación directa y el escurrimiento superficial en el lago, así como a la escasa profundidad, exposición a la radiación, tiempo de residencia y actividad del plancton en este último.*

Palabras clave: Cuenca arroyo del Fuerte, embalse, agua superficial, caracterización físicoquímica.

1. INTRODUCCIÓN

El agua constituye la base para el desarrollo vital en todos los ecosistemas. Los cambios locales en el ciclo hidrológico introducidos por el hombre en determinados territorios, producen importantes transformaciones en el sistema ambiental.

Mantener un seguimiento constante de las fuentes, la cantidad y la calidad del recurso hídrico, así como las actividades antrópicas que lo afectan, es el punto de partida para lograr el desarrollo sustentable [1].

El proceso de eutrofización de cuerpos de agua es conocido desde hace tiempo [2], [3], [4], [5], implica el forzado externo de los cuerpos de agua y se debe principalmente a los aportes de fósforo. La eutrofización produce una simplificación de los ecosistemas acuáticos con un

aumento muy marcado en la densidad de las algas planctónicas, así como un deterioro de la calidad del agua, generalmente con malos olores, mortandades de peces, con complicaciones para su uso como fuente de agua potable, para los deportes náuticos de contacto directo, etc.

El Lago del Fuerte de la ciudad de Tandil, uno de los atractivos turísticos de la localidad, ha sido clasificado en diferentes oportunidades como eutrófico a hipertrófico [6], [7], debido al aporte de nutrientes y sedimentos producto de los diferentes usos del suelo de la cuenca, así como también se ha detectado la presencia de cianobacterias.

Según el “Serial discontinuity concept” [8], [9], los embalses producen cambios en los ríos, aguas abajo de la regulación, tanto de sus características biológicas como físicas.

Este trabajo tiene por objetivo realizar una caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales del arroyo del Fuerte a lo largo del gradiente que se desarrolla desde las nacientes hasta la salida de las compuertas del lago. Se considera que el embalse ejerce influencia sobre las características fisicoquímicas del arroyo aguas abajo, y que los aportes de los arroyos afectan al embalse y reflejan los usos de la tierra en la cuenca. Como objetivo específico se propone contextualizar las condiciones hidrológicas del área de estudio y analizar las variaciones de los parámetros analizados a través de un balance hídrico modular y seriado.

Este estudio es parte de la tesis Doctoral titulada “Estudio ecohidrológico del embalse eutrófico Lago del Fuerte (Tandil, provincia de Buenos Aires)” [10].

2. AREA DE ESTUDIO

2.1. Características regionales

El sector de estudio se ubica en el partido de Tandil, al sudeste de la provincia de Buenos Aires, en el sector central del Sistema de Tandilia (Figura 1). Dicho sistema se caracteriza por la presencia de dos unidades geológicas [11], por un lado el basamento cristalino, formado por rocas ígneas plutónicas y, por otro, una cubierta sedimentaria que incluye sedimentos pampeanos de tipo limos loessoides. Hidrogeológicamente, el basamento se encuentra compuesto por rocas acuífugas, pero presentan fracturas que le dan un carácter de acuífero pobre. En cambio, los sedimentos constituyen un ambiente poroso clástico que incluye el acuífero libre que brinda la principal fuente de agua para la ciudad y alrededores [12]. En relación a la geomorfología regional, se distinguen tres unidades morfológicas dentro del sistema de Tandilia: sierras, piedemonte y llanura [12]. El sector serrano, con relieve pronunciado, presenta sierras, cerros aislados y valles, con aparición de bloques fallados. Sobre esta zona se emplaza el área de estudio, donde se advierte el basamento cristalino a escasa profundidad así como importantes afloramientos en algunos sectores. A partir de las sierras, continúa el piedemonte, con una pendiente más suave, y con presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales. La zona llana presenta bajas pendientes y se prolonga hacia el NE.

La cuenca del arroyo del Fuerte, área de estudio del presente trabajo (Figura 1) exhibe un drenaje integrado, bien definido, con un diseño de tipo dendrítico, con un marcado control estructural en cuanto al rumbo de los cursos y con sentido NE, acorde a la pendiente

regional [13]. La topografía del ámbito serrano en cabeceras, próximas a los límites de cuenca, condiciona a los cursos de régimen transitorio y efímero determinando mayores gradientes y un rápido escurrimiento superficial con mayor o menor aporte de sus aguas al subsuelo de acuerdo al grado de humedad previa del suelo.

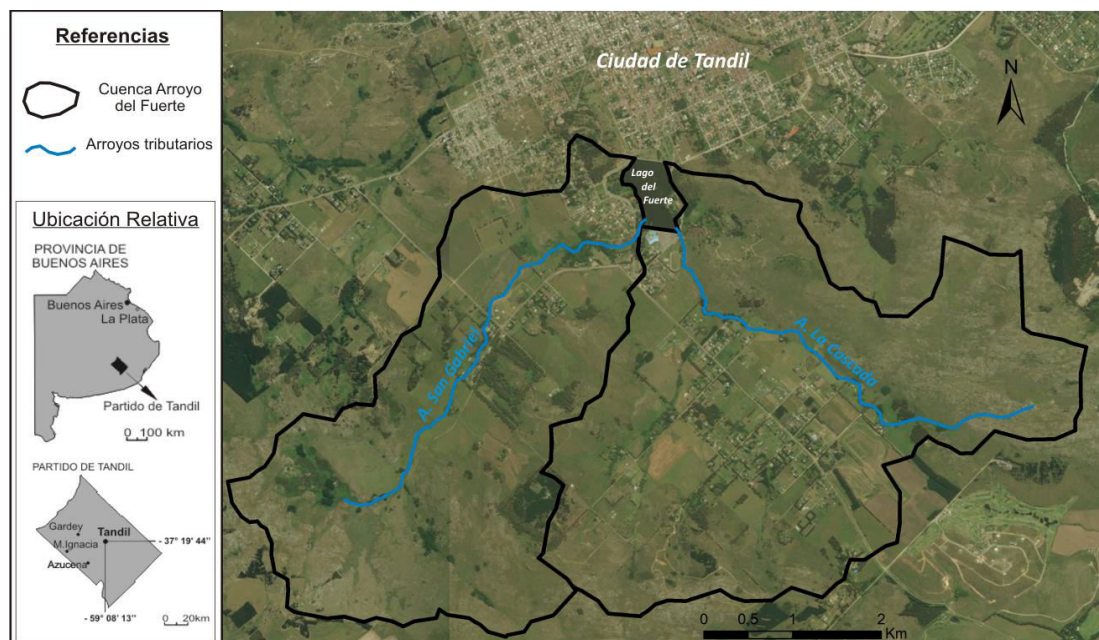


Figura 1. Área de estudio

2.2. Cuenca del arroyo del Fuerte

La cuenca del arroyo del Fuerte se localiza al sur de la ciudad de Tandil. Tiene una superficie de 2200 hectáreas y está conformada por dos arroyos principales, San Gabriel y La Cascada (Figura 1). Los mismos tienen sus nacientes en las sierras del Tandil y se caracterizan por presentar elevadas pendientes con un régimen torrencial. A lo largo de su recorrido atraviesan usos del suelo destinados principalmente a actividades ganaderas, agrícolas, recreativas y residenciales. Ambos arroyos desembocan en el Lago del Fuerte, un embalse artificial originado por la construcción de una presa destinada a regular las inundaciones en la ciudad, producto de la crecida de dichos arroyos. A partir del pie de la presa, comienza a ser conocido con el nombre de arroyo del Fuerte cuyo recorrido, actualmente entubado, atraviesa el ejido urbano por su sector este.

La construcción de la presa se inició en 1957 y fue inaugurada en 1962. El espejo de agua que conforma tiene una superficie de 19 ha, una profundidad media de 0,80 m y una profundidad máxima de 4,00 m. Si bien su construcción tuvo como objetivo disipar la energía del agua superficial y retardar la salida natural, con el tiempo pasó a formar parte de uno de los lugares turísticos más visitados de la ciudad.

A su vez la zona ha experimentado en los últimos años una creciente ocupación

poblacional, con un importante desarrollo inmobiliario, incluso con construcciones en las sierras, destinada para uso familiar como también para alquileres temporarios, como es el caso de las cabañas. Sin embargo el área carece de servicios sanitarios, por lo que los propietarios realizan pozos de captación del acuífero freático y descargan sus efluentes domiciliarios en pozos absorbentes en el mismo medio. Esta circunstancia determina la contaminación multipuntual del acuífero con incremento salino del agua subterránea cuyo aporte se vería reflejado en el caudal básico de los arroyos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A efectos de conocer la hidroquímica de las aguas superficiales, se realizaron 10 muestreos de agua en 4 puntos (Figura 2) en el período enero/2015 – enero/2016 con una frecuencia estacional, intensificándose cada 15 días en el período estival. Las mismas se obtuvieron siguiendo el gradiente longitudinal desde las nacientes de los arroyos tributarios hasta la salida de las compuertas del lago. En el embalse las muestras se tomaron con una bomba sumergible de manera estratificada cada 0,50 m, desde la superficie hasta los 2 m de profundidad, obteniendo un valor medio de la columna de agua.



Figura 2. Sitios de muestreo

En todas las muestras se midieron in situ: pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto. Para las mediciones se utilizó un conductivímetro marca Hanna modelo HI 9812 y un Oxímetro marca Orion modelo 4Star. Asimismo, las variaciones de los parámetros se relacionaron con las precipitaciones acaecidas en el período mencionado. A efectos de su comparación con los valores medios regionales se realizó un balance hídrico modular para el período 1900-2000 y el mismo en forma seriada para los años 2014-2016,

según la metodología de Thornthwaite y Mather [14]. Los parámetros medidos “in situ” entre los arroyos y el embalse se compararon mediante un test de t de Student para muestras apareadas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del balance hídrico modular realizado para el período comprendido entre 1900-2000 (Tabla1), a partir de una capacidad de almacenaje de 100 mm de acuerdo a las características del área de estudio, se obtiene que la precipitación media anual es de 838 mm, la evapotranspiración potencial de 712 mm y la real de 686 mm. El período más lluvioso se concentra entre octubre y marzo, y el menos lluvioso entre junio y agosto. De todas formas, a partir del análisis del balance hídrico, puede verse que los excesos (152 mm) se dan en gran parte del año, exceptuando el período estival, donde se registra un déficit poco significativo (26 mm).

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
P (1900-2000)	86	78	99	68	67	49	41	44	61	83	83	79	838
P (2015)	131	47	14	195	53	37	61	154	11	80	145	27	955
EP (1900-2000)	124	95	83	51	29	17	18	22	33	55	78	107	712
EP (2015)	109	95	89	59	37	22	18	31	30	41	79	118	726
Déficit (1900-2000)	14	9										3	26
Déficit (2015)		13	46						1			30	90
Excesos (1900-2000)	---	---	---	---	14	32	23	22	28	28	5	---	152
Excesos (2015)	---	---	---	62	16	15	43	123	---	21	66	---	346
ER (1900-2000)	110	86	83	51	29	17	18	22	33	55	78	104	686
ER (2015)	109	82	43	59	37	22	18	31	29	41	79	88	638

Tabla 1. Balance hídrico modular 1900-2000 y balance seriado 2015. (P=precipitación; EP=evapotranspiración potencial; ER=evapotranspiración real)

A efectos de situar temporalmente los datos de esta investigación se inició el balance seriado en el año previo al período de estudio (2014). Se detectó que el mismo fue muy húmedo con una precipitación anual de 1382 mm, superando a la media en 500 mm. Los excesos se registraron en casi todo el año, con un valor de 634 mm y con un déficit solo en diciembre de 5 mm. Durante el período de estudio analizado, en 2015 (Tabla1), la precipitación anual fue de 955 mm, superando la media en 117 mm. Los excesos se dieron desde abril hasta agosto y en octubre y noviembre, acumulando un valor de 346 mm, pero a su vez se registraron importantes déficit en febrero, marzo, septiembre y diciembre (90 mm) que superaron el valor promedio.

En síntesis como puede observarse en la Tabla 1, las precipitaciones para el período de estudio reflejan un incremento en relación a los valores medios que se ven reflejados en los excesos y déficits los cuales repercutirán en las variables fisicoquímicas analizadas.

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos estudiados para realizar la caracterización de las

aguas superficiales del arroyo del Fuerte, la conductividad, que es una medida indirecta de la salinidad del agua, en los dos arroyos varió entre 180 y 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y presentó valores más elevados que el lago y la salida en casi todas las estaciones del año, excepto en invierno. Los tenores en el lago y la salida fueron similares durante todo el período de estudio y variaron entre 200 y 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 3). Ambos arroyos tributarios presentaron diferencias significativas con el embalse ($p < 0,01$).

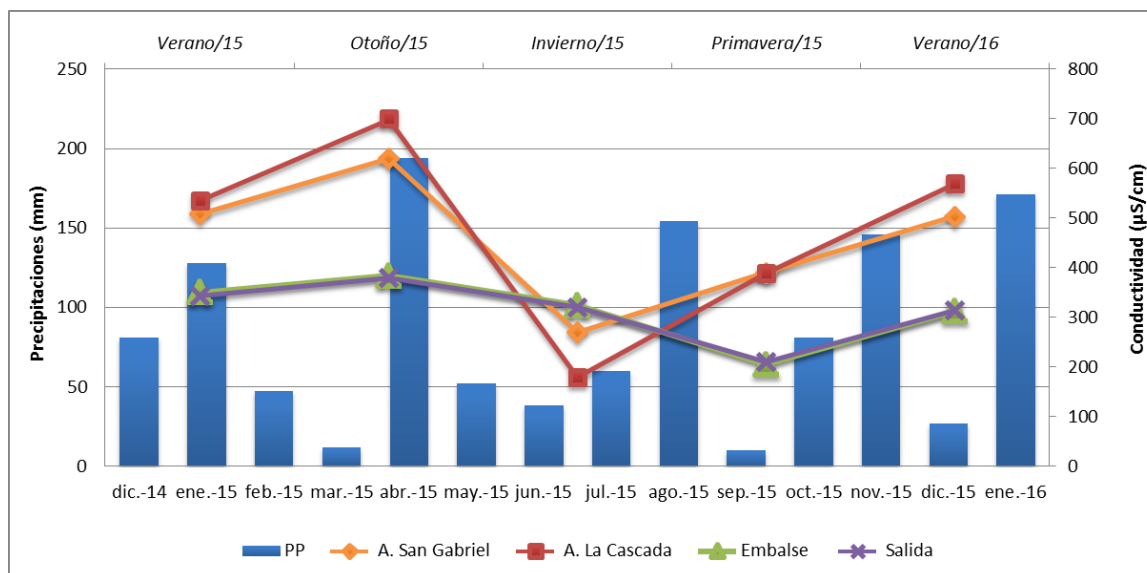


Figura 3. Valores estacionales de conductividad por sitio de muestreo y precipitaciones mensuales

En todos los puntos de muestreo los mayores registros de conductividad se dieron en otoño. Esto se condice con un período de escasas precipitaciones y un marcado déficit hídrico (ver Tabla 1) lo que estaría asociado a un aumento de la salinidad en el embalse por una disminución en la tasa de renovación de sus aguas, así como por el aporte de los arroyos con un bajo caudal, conformado principalmente por el caudal básico subterráneo, el cual se encuentra impactado por la acción antrópica de la zona de estudio que carece de servicios sanitarios elevando la salinidad del mismo.

En los arroyos el menor registro de conductividad se produjo en el muestreo de invierno. Si bien esta época se caracteriza por presentar un exceso de almacenaje en el suelo, se corroboró la influencia de las precipitaciones en la dilución del contenido salino, debido a que en días anteriores al momento de la toma de muestra se registró una precipitación acumulada de 38 mm. En el lago los valores de conductividad descienden levemente en el invierno, pero los menores registros se retrasan hacia la primavera, debido al exceso hídrico acumulado durante el período, así como por las elevadas precipitaciones del mes de agosto que superaron ampliamente las medias del mes, generándose de esta manera un aumento en la tasa de renovación de las aguas del lago. Hacia el verano siguiente, la conductividad en todos los puntos de muestreo retomó valores similares del año anterior.

En lo que respecta al pH (Figura 4), los registros fueron levemente mayores en el embalse

y salida (entre 8,1 y 8,5) que en los arroyos (entre 7,3 y 8,3), principalmente en verano y otoño. Los valores de pH entre los tributarios y el embalse presentaron diferencias significativas ($p < 0,01$). La diferencia entre los sitios podría estar asociada a procesos de fotosíntesis en el embalse, épocas donde las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo algal [3], [5].

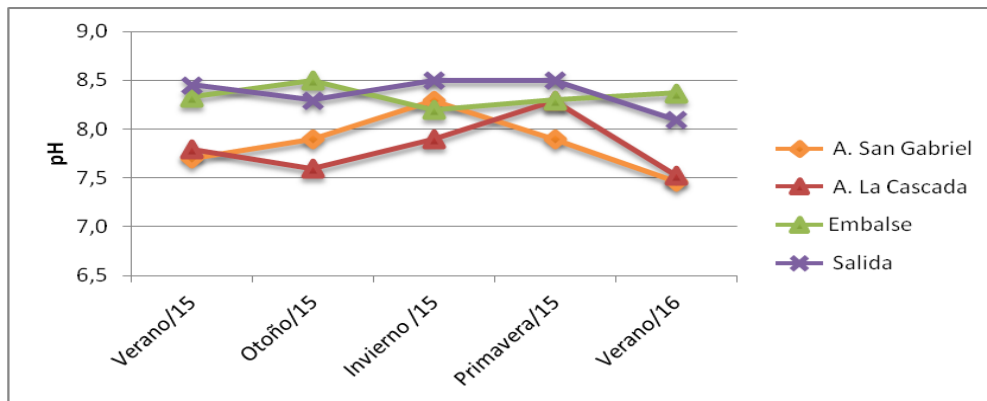


Figura 4. Valores estacionales de pH por sitio de muestreo

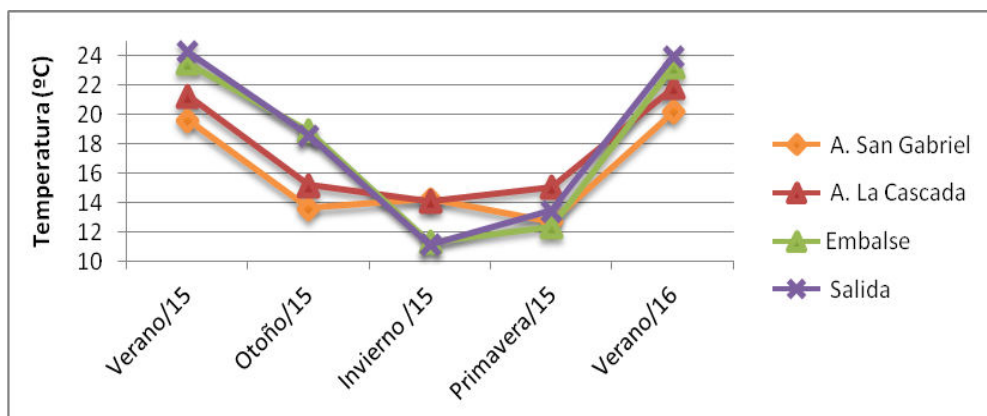


Figura 5. Valores estacionales de temperatura por sitio de muestreo

Las temperaturas en el lago y la salida rondaron los 24 y 11°C, mientras que en los arroyos fué entre los 22 y 13°C (Figura 5). A su vez puede evidenciarse que tanto el lago como la salida, registraron temperaturas prácticamente similares durante todo el período de estudio. La temperatura no presentó diferencias significativas entre el embalse y el arroyo La Cascada ($p > 0,05$), pero sí se registraron diferencias con el arroyo San Gabriel ($p < 0,05$).

En verano y otoño se generó un incremento de la temperatura en promedio de 4°C a la salida de las compuertas con respecto al agua que ingresa por los arroyos, mientras que en invierno se registró un descenso de 3°C.

Como plantean Ward y Standford [8], [9], la regulación de los ecosistemas lóticos a partir de la instalación de una presa genera alteraciones en el ambiente, produciéndose

modificaciones en diferentes variables a lo largo el perfil longitudinal del cauce fluvial, como en este caso la temperatura. Así mismo Ellis y Jones [15] recopilan y analizan investigaciones sobre las predicciones del “Serial discontinuity concept” donde se evidencian alteraciones en la temperatura generándose aumentos o disminuciones en función del tipo de descarga de la presa. Según Lessard y Hayes [16] en los embalses de tamaño pequeño con descarga de agua superficial, similar al caso en estudio, se produce un aumento de las temperaturas a la salida. Estas alteraciones se corroboran en el Lago del Fuerte, que a pesar de sus dimensiones, el mismo genera un efecto térmico, produciéndose una diferencia entre el agua que ingresa y la que sale del mismo.

En relación a las concentraciones de oxígeno, estas variaron no sólo entre los puntos de muestreo sino también entre las diferentes fechas dentro de una misma estación del año y de un verano a otro (Figura 6).

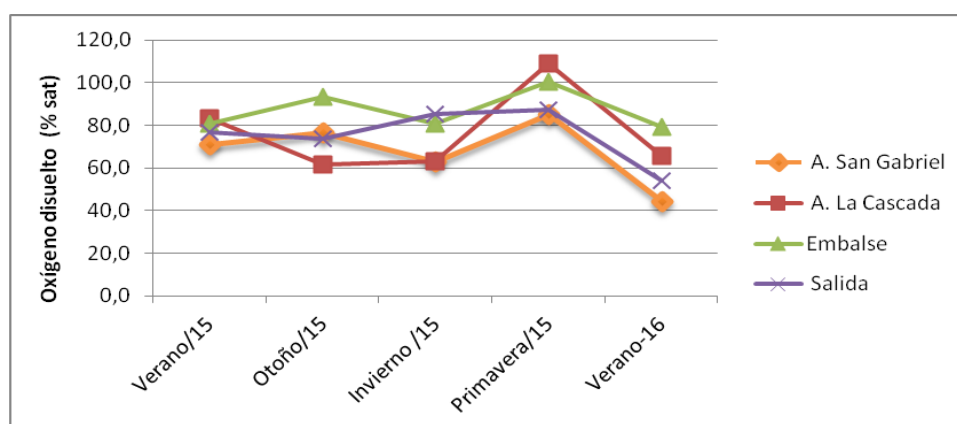


Figura 6. Valores estacionales de saturación de oxígeno por sitio de muestreo

En el verano del 2015 los valores de saturación fueron casi similares entre los diferentes sitios de muestreo, mientras que en el del 2016 se distingue una diferenciación entre ellos. En el primer verano analizado la concentración de oxígeno media ronda el 80% de saturación, mientras que en el siguiente se registra un descenso con una concentración media del 60%. Esta disminución de los valores de oxígeno disuelto entre los dos veranos analizados podría estar asociada a las diferencias de las condiciones hídricas precedentes al momento de muestreo. Mientras al verano del 2015 precedió un año con excesos ampliamente superiores a la media, el verano de 2016 presentó mayor déficit, particularmente el mes de diciembre, anterior al momento de muestreo (Tabla 1). En invierno, tanto el agua del lago como la salida presentaron tenores similares rondando el 80%, mientras que en los arroyos la concentración rondó el 60%. Por otro lado en primavera se dieron las concentraciones más altas en todos los sitios, registrándose un valor medio de 95%. Esto podría estar asociado al efecto de las precipitaciones acumuladas hasta ese período del año y al exceso hídrico que conjuntamente implicaron una mayor entrada de agua al sistema generándose una renovación de la misma.

La concentración de oxígeno no presentó diferencias significativas entre el embalse y el

arroyo La Cascada ($p > 0,05$), pero sí se registraron diferencias con el arroyo San Gabriel ($p < 0,05$).

5. CONCLUSIONES

El análisis de las variables fisicoquímicas de las aguas superficiales de la cuenca del arroyo del Fuerte permitió realizar una caracterización inicial de las mismas a lo largo del gradiente que se desarrolla desde las nacientes hasta la salida de las compuertas del lago.

Se evidenció que el incremento de la conductividad en los diferentes sitios de muestreo se dio en períodos de escasas precipitaciones y déficit hídrico, por lo que éste aumento se asocia al aporte de aguas subterráneas, las cuales se encuentran afectadas por la acción antrópica de la zona que carece de servicios sanitarios, elevando la salinidad de las mismas. Así mismo los menores registros en los arroyos se producen luego de una precipitación, debido a las características de la cuenca que generan una rápida concentración superficial de la precipitaciones diluyendo el contenido salino, mientras que en el lago la respuesta se retrasa luego de un exceso hídrico que aumenta su tasa de renovación.

Las variaciones de pH y temperatura entre el agua que ingresa y la que se embalsa muestran los efectos de la instalación de la presa. A pesar de que la dimensión del lago es reducida, se genera un efecto térmico en el agua, aumentando las temperaturas en verano y reduciéndolas en invierno, y se conforma un ambiente intermedio entre lótico y léntico que favorece el desarrollo de la actividad plantónica.

Las concentraciones de oxígeno en los diferentes puntos se ven afectadas por las condiciones de precipitación y exceso hídrico al momento de la toma de muestra.

Las diferencias de las variables analizadas entre los sitios, especialmente los arroyos tributarios y el embalse, demuestran que el arroyo San Gabriel es el que presenta un aporte más diferente.

A fin de completar y profundizar la caracterización de las aguas, se considera relevante dar continuidad al análisis de los presentes parámetros e incorporar otros de interés asociados a la actividad plantónica, tales como los nutrientes nitrógeno y fósforo.

6. REFERENCIAS

- [1] Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. “*Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*”. Río de Janeiro, Brasil, (1992).
- [2] Vollenweider, R. *Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication*. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33:53-83, (1976).
- [3] Margalef, R. *Limnología*. Omega. 1023 pp. (1983).
- [4] Edmondson, E. T, *The uses of Ecology*. Lake Washington and beyond. The Jessie and John Danz Lectures. University of Washington Press. 329 pp. (1991).
- [5] Wetzel R G, *Limnology*, 3 ed. Saunders, (2001).
- [6] Instituto de Hidrología de Llanuras. Diagnóstico limnológico, sanitario, ictiológico y estado ambiental del Lago del Fuerte, ciudad de Tandil. Informe final a la Municipalidad de Tandil, marzo de 1995, 160 págs, (1995).

- [7] Cifuentes, M, “*Algas cianofitas y aptitud recreativa del Lago del Fuerte (Partido de Tandil)*”. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. F.C.H. – UNICEN. Inf. Inédito, (2012).
- [8] Ward, J. V. and Stanford, J. A. ‘*The serial discontinuity concept of lotic ecosystems*’ in Fontaine, T. D. and Bartell, S. M. (Eds), *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Ann Arbor Science, Ann Arbor. pp. 29-42, (1983).
- [9] Ward, J. V. and Stanford, J. A. *The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers*. In *Regulated rivers: research & management*, vol. 10, 159-168, (1995).
- [10] Cifuentes, M, “*Estudio ecohidrológico del embalse eutrófico Lago del Fuerte (Tandil, provincia de Buenos Aires)*”. Tesis Doctoral en el marco del Doctorado en Ciencias Naturales, FCNyM, UNLP, (en ejecución).
- [11] Teruggi, M. y Kilmurray, J, *Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires*. En J. Turner (Ed). *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias. Volumen II. Páginas 919-956. Córdoba, (1980).
- [12] Ruiz de Galarreta, A, “*Geohidrología y balance hidrológico de la zona no saturada en la cuenca superior del arroyo Tandileofú, Provincia de Buenos Aires*”. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. 181 páginas, (2006).
- [13] Ruiz de Galarreta, V. A., Varni, M., Banda Noriega, R. y Barranquero, R, *Caracterización geohidroológica preliminar en la cuenca del Arroyo Langueyú, Partido de Tandil, Buenos Aires*. En: *Actas del V Congreso Argentino de Hidrogeología*. p. 119-128. Paraná, (2007).
- [14] Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R, *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Climatology Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology, Publication N° 10: 185-311. Centertown, 1957.
- [15] Ellis, L.E. and Jones, N.E. *Longitudinal trends in regulated rivers: a review and synthesis within the context of the serial discontinuity concept*. *Environmental Reviews*. 21: 136–148 (2013).
- [16] Lessard, J.L., and Hayes, D.B. *Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams*. *River Research and Applications*, 19: 721–732. (2003).