

Seminario Internacional de Gestión Ambiental e Hidroelectricidad, un Camino hacia la Sustentabilidad, Complejo Hidroeléctrico Salto Grande, Entre Ríos, Argentina, 2001.

COMPOSICIÓN IÓNICA DEL EMBALSE SAN ROQUE (CÓRDOBA, ARGENTINA) Y SU RELACIÓN CON EL PROCESO DE EUTROFICACIÓN

¹Rodríguez, M.I.; ¹Granero M.; ¹Bustamante, M.A.; ²Avena, M.;
³Bonfanti, E.; ³Busso, F. y ³Girbal, A.

¹ Centro de la Región Semiárida (CIRSA), Instituto Nacional del Agua (INA)
Ambrosio Olmos 1142, 5000, Córdoba.

² Facultad de Cs Químicas, Universidad Nacional de Córdoba
³ Aguas Cordobesas S. A.

email¹: abustama@com.uncor.edu, mickygus@arnet.com.ar

Resumen

En la actualidad, el Embalse San Roque es la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de Córdoba y alrededores, con una población aproximada de 1.500.000 habitantes. A raíz de que el citado embalse se encuentra en una zona donde la disponibilidad de agua es limitada, el uso de las aguas del mismo es de carácter múltiple. Además de generar energía eléctrica, el espejo de agua crea un ámbito ideal para el turismo y la práctica de deportes náuticos. Pero, debido a la magnitud de actividades desarrolladas en su cuenca, uso de las tierras y a la ausencia de una adecuada infraestructura de saneamiento de la ciudades de su perilago, el embalse San Roque muestra un elevado estado trófico (eutrófico) que compromete el uso de las aguas para los fines pretendidos.

El estudio de la composición relativa y absoluta de la salinidad de las aguas del embalse reviste interés ya que manifiesta características de su cuenca de aporte, de las precipitaciones atmosféricas y también de los procesos que intervienen en el cuerpo de agua como el equilibrio evaporación-precipitación química, la dinámica de estratificación térmica o el intercambio de nutrientes con los sedimentos.

Los resultados presentados corresponden al año 2000 y describen al embalse en relación a su composición iónica, reflejando la variación estacional y espacial, en profundidad, de la concentración de los iones más relevantes.

Del análisis de los resultados se desprende que el agua del lago pertenece al tipo bicarbonatado cálcico sódico y que además es posible asociar la dinámica estacional y espacial de los iones calcio y sulfato con la problemática de la eutroficación y con el régimen monomítico del embalse.

Introducción

En las últimas décadas el Embalse San Roque ha sido abordado para su estudio en numerosas ocasiones (Bonetto et al, 1976; Gavilán, 1981; Ruibal, 1997; Ruibal et al, 2000) y actualmente junto con sus tributarios, es objeto por parte del CIRSA, de un continuo monitoreo de variables físicas-químicas y biológicas con el propósito de caracterizar su régimen trófico.

En marco de este proyecto, es que se realiza una evaluación de las relaciones existentes entre parámetros de calidad y la composición iónica del embalse.

Esta evaluación reviste no solo un interés descriptivo, sino que también realiza una contribución al conocimiento general del proceso de eutroficación, de la dinámica del

fitoplancton y nutrientes, calidad de los sedimentos, detección de fuentes puntuales de contaminación, evaluación de cargas de nutrientes al embalse, entre otros aspectos (Gibbs, 1970; Calderoni et al, 1978; Mosello y De Giuli, 1982; Drago y Quirós, 1996).

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la composición iónica de las aguas del Embalse San Roque, mostrar la relación con el estado trófico y describir la variabilidad estacional y espacial en perfil, de los iones calcio y sulfato en base a datos recolectados en el transcurso del año 2000.

Características del Area de Estudio

El Embalse San Roque (31° 22' S y 64° 27' O) se localiza en el Valle de Punilla a 600 m sobre el nivel del mar, entre las Sierras Grandes y las Sierras Chicas en la Provincia de Córdoba.

A nivel de cota de vertedero, la superficie del espejo de agua es de 15 Km², con una profundidad máxima de 35.3 m y una profundidad media de 13 m.

El Embalse cumple principalmente la función de retención de las crecientes de los cursos serranos y de provisión de agua a las plantas potabilizadoras para el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de Córdoba, además del aprovechamiento hidroeléctrico y de crear un ámbito para el desarrollo de múltiples actividades recreativas.

La cuenca de drenaje está formada por las subcuencas del Río San Antonio de 500 km², Río Cosquín de 820 km², Arroyo Las Mojarras de 85 km² y Arroyo Los Chorrillos de 160 km², siendo su único efluente el Río Suquía. Factores climáticos influyen en la productividad del sistema acuático, al afectar y determinar cambios a nivel hidrológico de una estación del año a otra y de un año a otro. Desde este punto de vista, se observa a nivel anual una alternancia de años muy húmedos (precipitaciones anuales superiores a 1000mm) con otros secos que apenas superan los 400mm. La precipitación media anual resulta de 650 mm y la humedad media del 65%. Las mayores precipitaciones se producen en verano influyendo significativamente en los caudales de los tributarios. Bajo el dominio de un clima templado la temperatura media anual es de 14°C y los vientos predominantes son del cuadrante sur y norte, pero están sujetos a las variaciones propias de la morfología del relieve. Desde un punto de vista geológico, la cuenca está constituida por un basamento cristalino antiguo metamórfico-plutónico. Las rocas ígneas que lo componen están representadas por una intrusión granítica regional y las metamórficas por un complejo en el que la roca netamente dominante es un gneis (Barbeito, 1997). Según la Clasificación Fitogeográfica de Córdoba (Vazquez, 1979), la vegetación en la Cuenca del Embalse San Roque corresponde a la del Bosque Chaqueño (Distrito Occidental de la Provincia Fitogeográfica Chaqueña).

Metodología de Trabajo

El Programa de Monitoreo del recurso, consiste en la medición de parámetros in situ y de la toma de muestras de agua en siete puntos del embalse con una frecuencia de muestreo semanal durante el verano y quincenal durante el resto del año. En el trabajo se evaluó la calidad del agua correspondiente a la estación del centro (Figura 1) de 29 monitoreos llevados a cabo entre el 3/01/00 y el 19/12/00.

Se tomaron en campo lecturas cada un metro de las concentraciones de oxígeno disuelto, pH, temperatura y conductividad del agua con una sonda multiparamétrica (Horiba U-23) con capacidad de medición hasta 30 m. Las muestras de agua se tomaron a nivel subsuperficial (0,20m) y a un metro por encima del lecho con una botella de tipo Van Dorn. Analíticamente en laboratorio se midieron las concentraciones de los iones Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺,

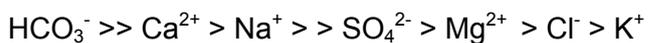
Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} por cromatografía iónica, de alcalinidad total por titulación y de clorofila *a* por espectrofotometría según APHA (1999). Las formas iónicas del CO_3^{2-} y HCO_3^- se reemplazaron por el título alcalimétrico completo (GEMS, 1992) y se consideró en su totalidad como HCO_3^- ya que a valores de pH entre 7 y 9 predomina el HCO_3^- ; proporciones de CO_3^{2-} de aproximadamente el 1% corresponden a valores de pH 8.2 (Wetzel, 1981).

Análisis de datos y discusión de resultados

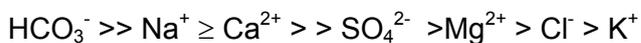
Durante el período de estudio el Embalse San Roque desarrolló una estratificación térmica estival de enero a abril y un período de circulación y mezcla que se inició en el otoño y se mantuvo durante todo el invierno hasta fines de la primavera.

La Figura N° 2 muestra la composición iónica relativa media (meq/l) de las aguas superficiales del centro del lago y la Tabla N° 1 muestra los valores medios en meq/l, porcentajes, mínimos y máximos observados para cada uno de los iones.

El embalse presentó un tipo de agua bicarbonatada cálcico sódico siendo el orden de concentración media de las especies el siguiente:



Estos resultados fueron coincidentes tanto en el orden de las especies como en su magnitud con los obtenidos por Bonetto et al en 1976 y los rangos de concentración a lo largo del año en comparación a los citados fueron más amplios para el bicarbonato, calcio, sodio y sulfato. La Figura N° 3 muestra que a lo largo del año, la composición no presentó variaciones en su orden excepto en primavera en la cuál se detectó un cambio y el ión sodio desplaza al calcio en concentraciones relativas:



También se aprecia la coincidencia existente entre las curvas de porcentajes de sumatoria de cationes y sumatoria de aniones, lo cual corrobora la electroneutralidad del sistema y confirma que los iones considerados son los más relevantes para la determinación del balance iónico.

Al analizar la variación temporal de la concentración de los distintos iones, se pudo observar que ésta se ve influenciada por el efecto de dilución cuando aumenta el nivel del embalse, lo cual se reflejó en los valores de la conductividad medida. Sin embargo pueden detectarse algunas diferencias en el comportamiento de los distintos iones.

Las concentraciones de magnesio, potasio y cloruro mostraron las menores fluctuaciones la cual es atribuible al uso de éstos por parte de los organismos o a cambios ambientales inducidos por éstos (Wetzel, 1981), mientras que el calcio, bicarbonato y sulfato mostraron una mayor fluctuación la cual, según el mismo autor, sería más razonable atribuirla a una asociación íntima con el metabolismo microbiano (Tabla N° 2).

El sodio presentó un aumento en concentración y también hacia el verano, en su proporción relativa como catión (Figura N° 3), lo cual se relacionaría con el mayor aporte de caudales desde la cuenca y con la disminución de los niveles de calcio (en su proporción relativa) a nivel superficial.

El nivel de calcio influye en la composición específica del fitoplancton y su concentración en los primeros metros de la columna de agua se relaciona con la actividad fotosintética y con la dinámica de los nutrientes. La variabilidad estacional de este ión puede relacionarse conjuntamente con cierto metabolismo que describiremos como propio del Embalse. La disminución de las concentraciones de calcio y de bicarbonato, observada a nivel superficial

durante el período de verano y otoño, es indicativa de cierto grado de descalcificación del epilimnion (Figura N° 4) coincidiendo además con la disminución de la conductividad del agua.

La pérdida de calcio puede ser producto de su propia precipitación en forma de carbonato de calcio o en unión con nutrientes inorgánicos como el fósforo. Se observó también que la dinámica estacional de este ión en profundidad presenta mayores variaciones que a nivel superficial. Durante el período de estratificación estival (establecido entre enero y marzo y en diciembre) se observaron menores concentraciones en el fondo, pero igualando a las de superficie durante el período de mezcla.

La Figura N° 5 muestra que para el mismo período en el que, el calcio y el bicarbonato disminuyen, el nivel de clorofila aumenta sugiriendo una mayor actividad fotosintética.

Otra relación relevante es el mayor valor de pH medido durante el verano. Se ha sugerido que una elevación de 0.5 unidades en el pH, el epilimnion puede producir una pérdida de 10 mg/l o más de calcio (Margalef, 1983). En las aguas del embalse picos en la concentración de Ca^{2+} coincidieron con bajos valores de pH (Figura N° 6).

Con respecto a las concentraciones de sulfato, no se observaron variaciones importantes de concentración durante el período de mezclado, en el cual las concentraciones de oxígeno disuelto fueron homogéneas en toda la columna de agua (Figura N° 7).

Por el contrario, durante primavera y verano y coincidiendo con el período de estratificación las concentraciones de sulfato alcanzadas a finales de la primavera disminuyen considerablemente. Con condiciones anóxicas, las concentraciones en fondo disminuyeron respecto a las de superficie, alcanzando una misma concentración en otoño (aguas mezcladas y oxigenadas). Este comportamiento puede asociarse con el conocido proceso de reducción de sulfato a ácido sulfhídrico. La actividad bacteriana es en gran parte la responsable de la reducción ya que existen ciertas especies alojadas en los sedimentos que utilizan el sulfato como fuente de oxígeno, bajo las condiciones anóxicas imperantes en el medio.

Parte del ácido sulfhídrico formado puede reaccionar con el ión ferroso (Fe^{2+}) liberado desde los sedimentos formando sulfuro ferroso (FeS) insoluble. Si éste precipita en abundancia, parte del fosfato acumulado en el hipolimnion puede permanecer en solución aún bajo condiciones de circulación.

Conclusiones

La composición iónica observada en las aguas superficiales del embalse fue estable a lo largo del año, respondiendo al tipo bicarbonatada cálcico sódica. Los iones que mostraron un mayor rango de variación estacional fueron el bicarbonato, calcio, sulfato y sodio, seguidos por los iones cloruro, potasio y magnesio.

Se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de calcio y sulfato de superficie y fondo, las cuales fueron asociadas a características propias del lago observables durante el período de estratificación y de mezcla. Bajas concentraciones de calcio en superficie se relacionan con aumentos de pH y el proceso de descalcificación del epilimnion, respondería a un incremento de la fotosíntesis. Por otro lado, la resolubilización del carbonato de calcio en las capas profundas pueden reflejar las condiciones de anoxia del hipolimnion.

Con respecto al ión sulfato, las disminuciones de las concentraciones detectables en el fondo fueron también coincidentes con las condiciones anóxicas imperantes.

Es muy conocido y se ha probado reiteradamente que en lagos muy productivos y con bajos tenores de oxígeno, la disminución progresiva de la concentración de sulfato se debe a su reducción a ácido sulfhídrico (Wetzel, 1981; Margalef, 1983).

En conclusión, de la gama de iones estudiados en este trabajo, los iones calcio y sulfato pueden ser potenciales indicadores de las condiciones limnológicas eutróficas mostradas por el cuerpo de agua. Se espera en el futuro, continuar con la evaluación de la información obtenida en los muestreos regulares del recurso y relacionar la misma con la dinámica de las algas y con la calidad de los sedimentos, para revalorar el posible uso de éstos como indicadores de calidad de agua y de la problemática relacionada a la eutroficación.

Bibliografía

- APHA (1999)** Standard Methods for the Examination of Water and Waste-Water, USA
- Bonetto A.A. et al (1976)** Caracteres Limnológicos de Algunos Lagos Eutróficos de Embalse de la Región Central Argentina, *Ecosur*, 3 (5): 47-120.
- Barbeito, O. y S. Ambrosino (1997)**. Estudio: Aspectos hidrogeomorfológicos de base para la evaluación de la amenaza por inundaciones repentinas en Cuenca Alta del Río Suquia. Informe de Avance de Proyecto CONICOR: Prevención de daños por crecientes en Áreas Serranas.
- Calderoni, A. et al (1978)** Hydrochemistry and Chemical Budget of Lago Di Mergozzo (Northern Italy), *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 36:239:266.
- Drago E. y R. Quirós, (1996)** The Hydrochemistry of the Inland Waters of Argentina: a Review, *Int. J. of Salt Lake Res.* 4: 1-11.
- Gavilán, J.G. (1981)** Study Water Quality in the San Roque Reservoir, *Water Quality Bulletin Environment Canada* 6 (4) 136:158.
- Gibbs, R.J. (1970)** Mechanisms Controlling World Water Chemistry, *Science*, 170: 1088-1090.
- GEMS (1992)** Guía Operativa GEMS/Agua, 3° Ed. GEMS/W.94.1.
- Margalef, R. (1983)** Limnología, Ed. Omega, España.
- Mosello, R. and De Giuli (1982)** Methods of Calculation of Chemical Loads as Applied to Lake Maggiore, *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* , 40:55-77.
- Ruibal, A.L. (1997)** Estimación del Nivel de Contaminación Bacteriana en el Embalse San Roque y Análisis de su Variación Temporal, Relación con Volumen, Turistas y Oxígeno Consumido, 7° Conf.Int.Cons.y Cons.Lagos,San Martín de los Andes, Argentina.
- Ruibal, A.L.; Bustamante, A.; Granero, M. et al. (2000)** Estudio de la Evolución de la Calidad de Agua del Embalse San Roque (Córdoba) Asociado al Desarrollo de Floraciones de Ceratium, Congreso Argentino de Grandes Presas y Aprovechamiento
- Vázquez J. B., A. Miatello y M. E. Roqué (1979)**. Geografía Física de la Provincia de Córdoba, Editorial Boldt, Córdoba pp. 464.
- Wetzel, R. (1981)** Limnología, Ed. Omega, España.

Anexo (Figuras y Tablas)



Figura 1: Embalse San Roque y Ciudad de Córdoba

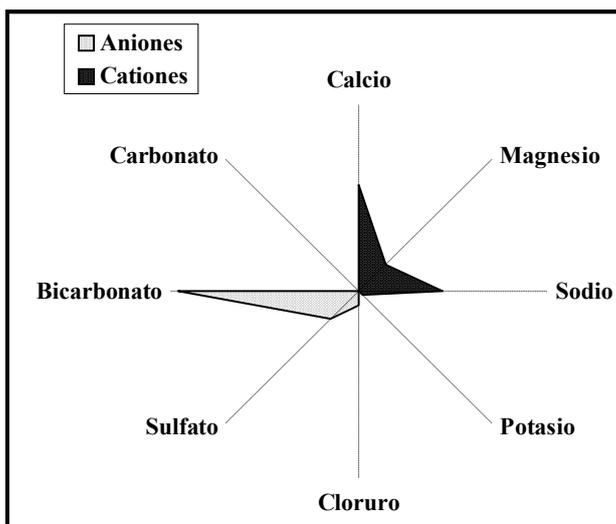


Figura 2: Composición Iónica Media Relativa de la aguas del Embalse San Roque

	meq/l	%	Min-Max
Bicarbonatos	1,79	37,92	33,1-43,5
Sulfatos	0,4	8,47	4,5-12,2
Cloruros	0,15	3,18	2,4-3,7
Total ANIONES	2,34	49,57	
Calcio	1,09	23,09	18,4-28
Sodio	0,85	18,01	13,6-21,7
Potasio	0,06	1,27	0,9-1,5
Magnesio	0,38	8,05	7,5-8,9
Total CATIONES	2,38	50,42	

Tabla N°1: Composición Iónica Media en el Centro del Embalse San Roque

		Media	Min	Max
pH	E	8,20	7,00	9,40
	H	7,30	6,50	8,20
Conductividad (μ S/cm)	E	266	165	492
	H	227	105	494
Alcalinidad Total (mg/l)	E	78	42	116
	H	90	73	116
Bicarbonatos (mg/l)	E	56,63	44,53	70,76
	H	47,1	25,62	70,76
Sulfatos (mg/l)	E	19	9	41
	H	16	5	40
Cloruros (mg/l)	E	5,2	3,6	8,9
	H	4,4	2,2	9,3
Calcio (mg/l)	E	21,8	17	29,5
	H	18,4	3,1	29,7
Sodio (mg/l)	E	20	13	34
	H	16	6	36
Potasio (mg/l)	E	2,2	1,8	2,7
	H	2,2	1,3	5,2
Magnesio (mg/l)	E	4,7	3,4	6,8
	H	4,0	1,5	6,9

Tabla 2: Valores Medios, Mínimos y Máximos de los Parámetros evaluados en el epilimnion (E) e hipolimnion (H) del Centro del Embalse San Roque

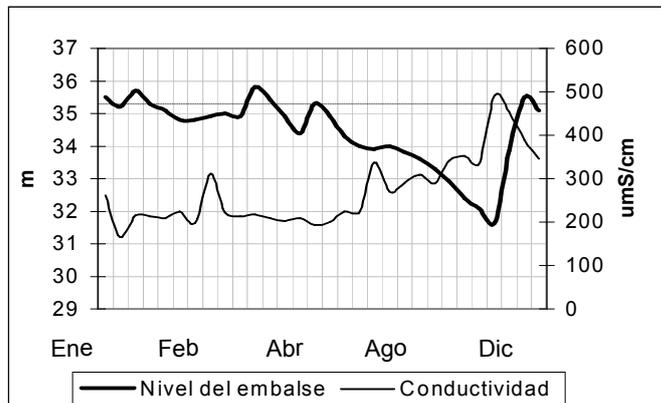


Figura N° 4: Variación Temporal de la Conductividad en Superficie y del Nivel del Embalse durante el Año 2000
 (----): Nivel de Vertedero

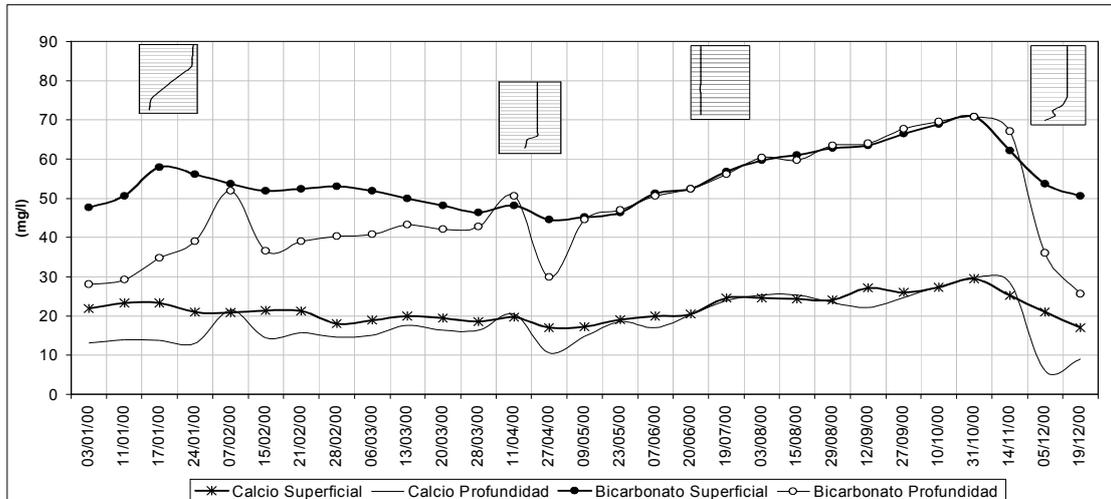


Figura N° 5: Variación Temporal en Superficie y Fondo de la Concentración de Calcio y Bicarbonato con Gráficos Asociados de Perfil de Temperatura

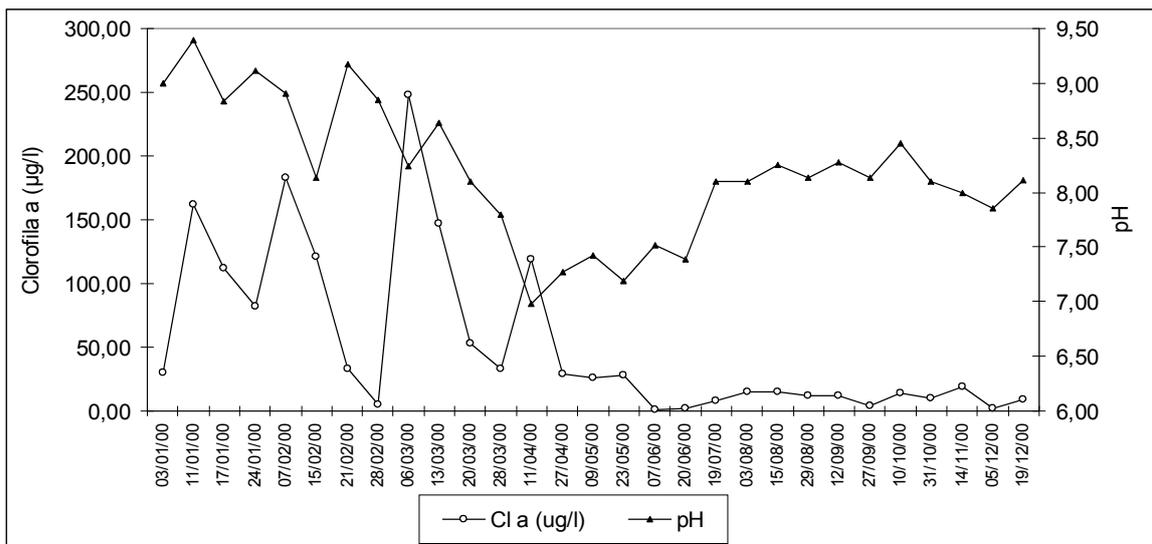


Figura N°6: Variación Temporal en Superficie de pH y Clorofila a

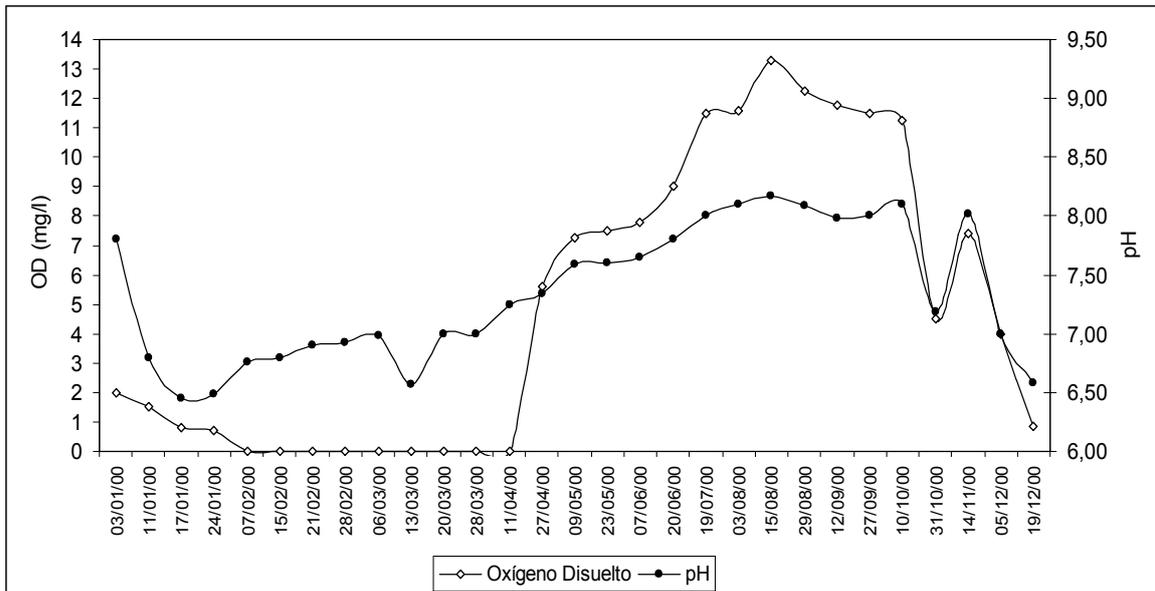


Figura N°7: Variación temporal de la concentración de Oxígeno Disuelto y pH

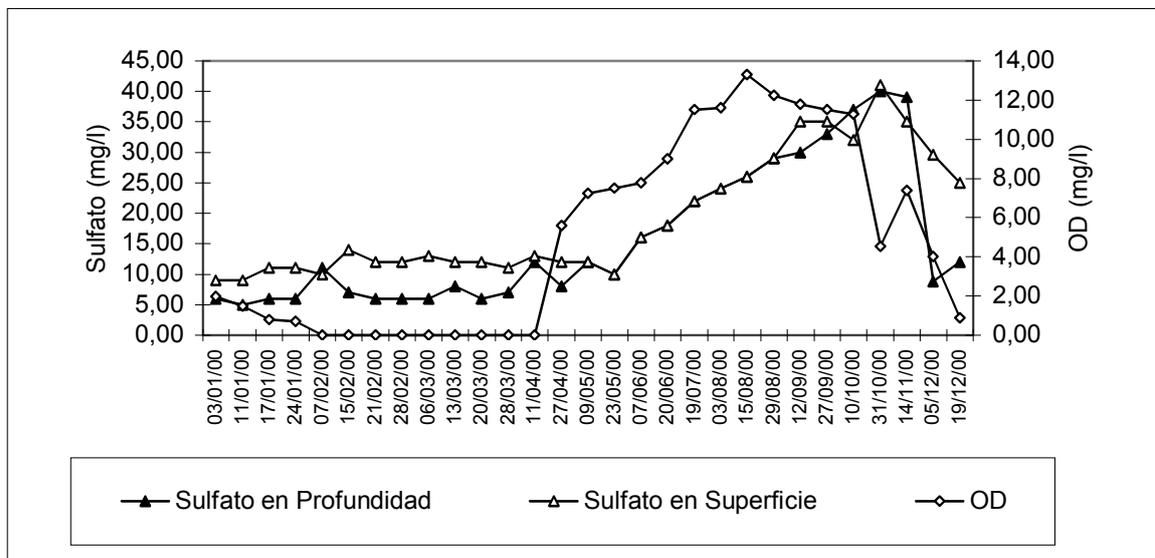


Figura N° 8: Variación Temporal de la Concentración de Sulfato⁻ en Superficie y Fondo