

Variación temporal del funcionamiento de una laguna facultativa ubicada en la costa de la Patagonia (42° S; Argentina)

M. Faleschini* y J.L. Esteves*

* Laboratorio de Oceanografía Química y Contaminación de Aguas – Centro Nacional Patagónico – CONICET. Boulevard Brown 2825 (CP 9120) - Puerto Madryn - Chubut - Argentina
(E-mail: mfaleschini@cenpat.edu.ar; esteves@cenpat.edu.ar)

Resumen. El presente estudio se desarrolló para conocer la dinámica de la materia orgánica, del nitrógeno inorgánico y del fitoplancton en una laguna facultativa primaria situada en un sitio de clima templado-frío, como es la ciudad de Puerto Madryn en la Patagonia costera argentina. Para llevarlo a cabo se realizaron mediciones quincenales de DBO total y soluble, amonio, nitrato, clorofila "a", oxígeno disuelto y temperatura en distintos puntos del sistema desde septiembre de 2004 hasta febrero de 2008. La remoción de materia orgánica total presentó una disminución durante los meses cálidos asociado a la mayor concentración de clorofila "a", mientras que la remoción de DBO soluble no mostró una variabilidad significativa a lo largo del año, pero sí fue afectada por el incremento de la carga orgánica. La concentración de amonio se correlacionó negativamente con la temperatura, con las mayores remociones asociadas a elevadas concentraciones de clorofila "a" y nitrato. Durante el último invierno la laguna trabajó sobresaturada, dando como resultado la pérdida de la capa superficial aerobia y concentraciones de clorofila "a" por debajo de los 50 µg/l.

Palabras claves: clorofila "a"; laguna facultativa; materia orgánica; nitrógeno inorgánico; Patagonia

INTRODUCCIÓN

Las lagunas de estabilización son reconocidas por su amplia utilización para el tratamiento de residuos líquidos municipales, ya sea por sus ventajas económicas como por su elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica y de patógenos, de lo cual se cuenta con extensa bibliografía (Athayde Júnior et al., 2000; Madera et al., 2002; Ellis y Rodrigues, 1995). Inicialmente se propagó su utilización en ambientes cálidos, donde su funcionamiento resulta relativamente constante a lo largo de todo el año. Es conocido que la temperatura del agua regula la actividad metabólica, tanto de las bacterias como del fitoplancton. Es por esto que es de esperar que, en sitios con bajas temperaturas, se observen fluctuaciones en la dinámica de los nutrientes, de la materia orgánica y del fitoplancton. Este comportamiento fue descrito en varios trabajos (Santos y Oliveira, 1987; Abis y Mara, 2003-2005; Rockne y Brezonik, 2006; entre otros).

La utilización de lagunas de estabilización en la Argentina ha sido muy difundida, fundamentalmente por sus bajos costos relativos y por la baja demanda de personal calificado y mantenimiento, lo que concuerda con el poco presupuesto que se destina al saneamiento. De los sistemas de tratamiento que se encuentran funcionando es escasa la información que se dispone: Mendoza (Anzorena, 2001) y Trelew (Esteves et al., 1996). Particularmente en la Patagonia costera, de las pocas plantas de tratamiento existentes un 70% corresponde a sistemas lagunares (Esteves y González, 2008).

Los objetivos del presente estudio han sido estudiar la dinámica de la materia orgánica y los nutrientes de una laguna facultativa, analizando los procesos de remoción y los factores ambientales determinantes.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La planta de tratamiento de la ciudad de Puerto Madryn ($42^{\circ} 45' S$, $65^{\circ} 05' W$) se ubica en la costa atlántica de la Patagonia, funciona desde el año 2001 y consta de una laguna facultativa primaria en forma de U, la cual ocupa una superficie de 25 hectáreas de superficie y con una profundidad de 1,5 metros (figura 1). El sistema se completa con dos lagunas de maduración conectadas en serie, de 1 m de profundidad cada una y una superficie total de 35 Ha. Antes de la llegada a las lagunas –que se encuentra a unos 10 km de la ciudad- el líquido sufre un tratamiento primario a través de tamices de 3 mm de paso libre.

El sistema de tratamiento se encuentra construido a la mitad del proyecto original, el cual contempla otra laguna facultativa de las mismas dimensiones de la existente, conectadas en serie.

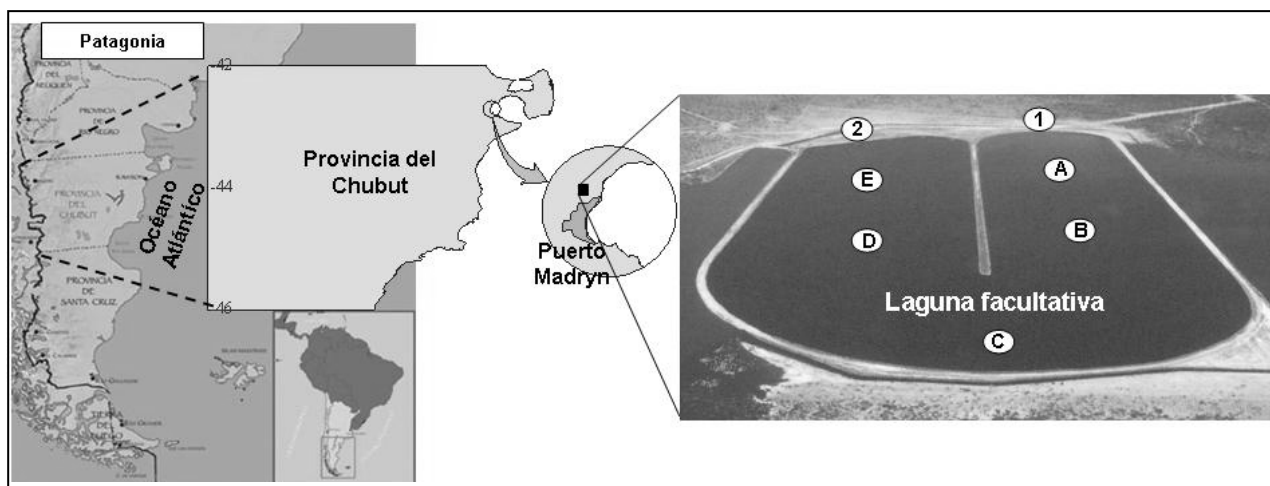


Figura 1. Ubicación de la planta de tratamiento de la ciudad de Puerto Madryn y las estaciones de muestreo utilizadas

El clima de la región es templado-frío, con marcadas amplitudes térmicas y de radiación entre los meses fríos y cálidos, con vientos moderados del sector oeste a lo largo de todo el año (tabla 1)

Tabla 1. Características climáticas del sitio de estudio

	Temperatura media del aire ($^{\circ} C$)	Temperatura máxima ($^{\circ} C$)	Temperatura mínima ($^{\circ} C$)	Radiación solar (wh/m^2 día)	Velocidad del viento (Km/h)
Primavera	14,0	33,8	-2,1	5778	15,5
Verano	19,9	39,6	3,3	7092	16,7
Otoño	14,4	36,3	-3,1	3185	14,0
Invierno	7,7	24,1	-9,1	2064	13,4

Información suministrada por la estación meteorológica del CENPAT

La planta recibe el aporte de los residuos líquidos domiciliarios de la Ciudad, cuyo caudal varió desde $11000 m^3/día$ en el 2004 hasta $15000 m^3/día$ a principios del 2008.

Muestreos y análisis

Las muestras de agua fueron tomadas en 70 oportunidades, desde septiembre de 2004 hasta febrero de 2008. Se realizaron 62 muestreos quincenales del canal de ingreso (estación 1), el punto intermedio tomado desde la costa (estación C) y del canal de salida (estación 2). En 8 muestreos se abarcaron la totalidad de las estaciones, tomándose muestras compuestas a través de un equipo flotante autónomo ad-hoc. Para la toma de muestra del líquido crudo se tomaron muestras compuestas cada 1 hora, entre las 8 y las 19 hs.

En cada uno de los muestreos se analizaron los siguientes parámetros:

In situ se midió oxígeno disuelto y temperatura con oxímetro YSI-58.

En laboratorio: DBO₅ total y soluble a través del oxímetro. Para la DBO soluble previamente se filtró la muestra con filtro de fibra de vidrio. Nitrito y nitrato se midieron colorimétricamente en un autoanalizador Technicon. El amonio se midió en espectrofotómetro Hewlett Packard 8452. La clorofila "a" fue extraída con acetona y leída en Fluorómetro Turner. Para todas las mediciones se siguieron las técnicas descritas en APHA (1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua residual cruda

En la tabla 2 se observan las características del agua residual cruda. Según Metcalf & Eddy (1996) se clasificó como de tipo débil a excepción del amonio que fue de tipo fuerte, lo cual puede estar originado en la degradación del nitrógeno orgánico a lo largo de los 10 km hasta llegar a la Planta. La carga orgánica superficial que soportó el sistema fue de 55 kg DBO₅/Ha/día al inicio del estudio y del orden de los 70 kg DBO₅/Ha/día en los últimos muestreos.

Tabla 2

Parámetro	Unidad	Valor medio y desvío estándar
Sólidos Suspendidos	mg/l	102,5 ± 36,6
Sólidos Sedimentables 10´	ml/l	0,7 ± 0,9
Sólidos Sedimentables 2hs	ml/l	1,7 ± 1,4
Amonio	mg/l	42,2 ± 7,9
Nitrito + Nitrato	mg/l	0,04 ± 0,02
Fosfato	mg/l	3,5 ± 1,1
DBO ₅ Total	mg/l	114,6 ± 41,9
DQO Total	mg/l	250,5 ± 60,8
Coliformes totales*	NMP/100ml	3,9 x 10 ⁷ (2,1 x 10 ⁶ – 6,2 x 10 ⁸)
Coliformes fecales*	NMP/100ml	1,1 x 10 ⁷ (2,4 x 10 ⁵ – 1,2 x 10 ⁸)

*corresponde a la mediana y el rango

Funcionamiento del sistema

Evolución de la DBO₅. El comportamiento de la DBO₅ total y soluble se grafican en las figura 2. En la primera estación dentro de la laguna facultativa la DBO₅ total disminuyó en un 41% respecto al agua residual cruda y a la salida presentó valores promedio por debajo de los 50 mg/l.

La DBO₅ soluble mostró un patrón similar al de la total, con un valor promedio de $16,1 \pm 12$ mg/l a la salida de la laguna.

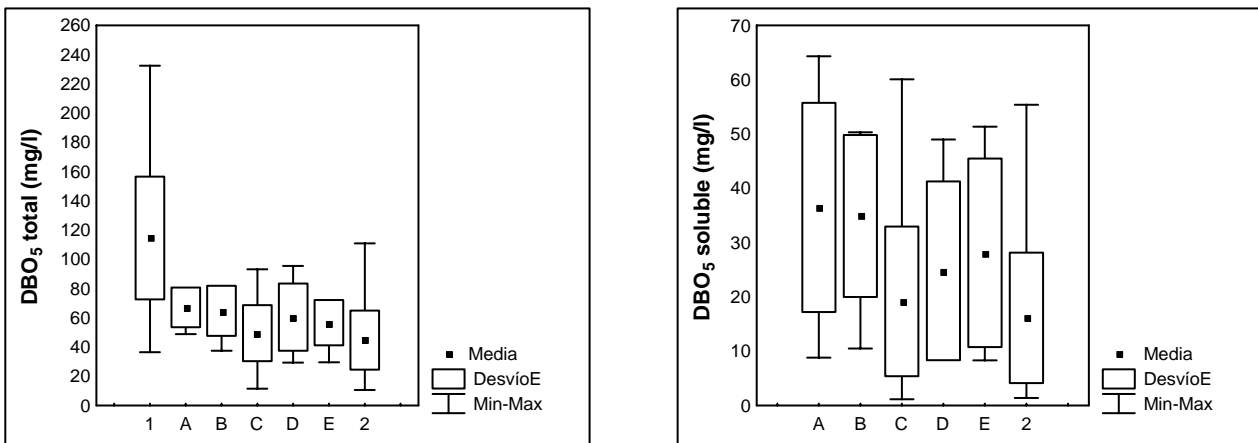


Figura 2. Evolución de la DBO₅ total y soluble dentro de la laguna facultativa

Considerando la DBO₅ total del ingreso y la DBO₅ total y soluble de la estación 2, se calcularon las eficiencias de remoción (figura 3). Para la DBO₅ total el valor promedio fue de 60,8 % y para la soluble fue de 86,4 %, con una mayor variabilidad para la DBO₅ total que para la soluble (desvíos estándar 17,7 y 9,8 respectivamente). Inicialmente los procesos de remoción de la materia orgánica soluble resultaron independientes de la época del año, mientras que al avanzar el estudio comenzaron a registrarse en la primavera valores mínimos de remoción, llegando el último año a estar por debajo del 55% coincidiendo con valores elevados de amonio y bajos de clorofila "a" y de oxígeno disuelto. Para la materia orgánica total la remoción se vio disminuida en los meses cálidos, coincidiendo con las mayores concentraciones de fitoplancton.

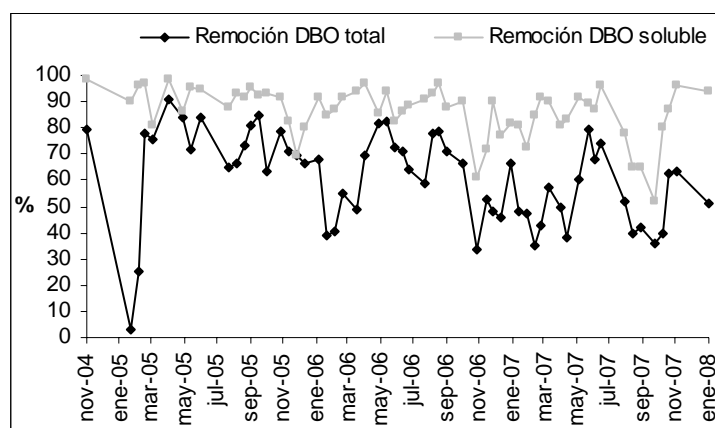


Figura 3. Remoción de DBO₅ total y soluble en función del tiempo

Para las estaciones C y 2 se grafica la relación existente entre la DBO total y soluble (figura 4). En la estación intermedia de la laguna (estación C) se obtuvo un factor de correlación significativo ($r= 0,73$), mientras que a la salida la correlación fue no significativa ($r= 0,45$). Esto puede estar indicando que a la mitad del tratamiento aún no se ha completado la estabilización de la materia orgánica y una proporción elevada de la DBO_5 total se encuentra explicada por materia orgánica soluble, mientras que a la salida de la laguna los altos valores de DBO_5 total registrados (junto con elevadas concentraciones de clorofila “a”) se asociaron con valores bajos de DBO_5 soluble.

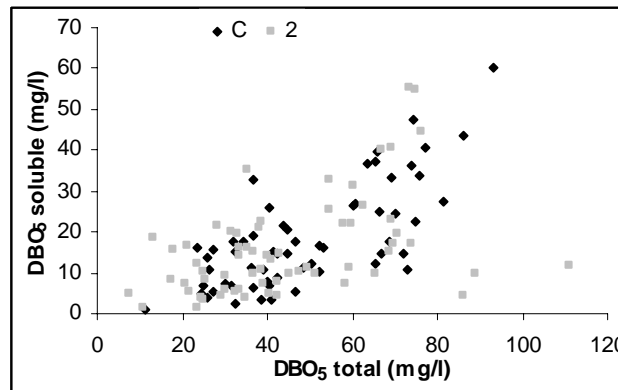


Figura 4. Relación DBO_5 total y soluble

Dinámica del nitrógeno. El amonio ingresó al sistema con una concentración promedio de $42,2 \pm 7,9$ mg/l. Dentro de la laguna facultativa se observaron valores promedio de 22,8 mg/l en la estación C y de 20,3 mg/l en la 2; con una importante variabilidad (desvíos estándar de 20,6 y 19,0 respectivamente) (figura 5). En la figura 6 se observa la variabilidad temporal y los porcentajes de remoción para la estación 2. Se encontraron valores no detectables durante los meses cálidos y valores promedio de 43,9 mg/l en época invernal. Como resultado se obtuvo un valor promedio de remoción $91,3 \pm 21,9$ % durante el verano y de $-0,44 \pm 15,44$ % durante el invierno, dicho patrón estacional resultó inverso a lo observado por Rockne y Brezonick (2006). Tomando los tres inviernos que abarco el estudio, se observa una disminución progresiva en los procesos de remoción: el primer año un único valor fue negativo (-2,8 %), el segundo año en tres oportunidades (el mínimo fue de -21,5 %) y en el invierno de 2007 se registraron 9 eventos (incluso sobrepasando el período invernal, abarcando los meses de octubre y noviembre con una remoción mínima de -25,5 %). El comportamiento estacional del amonio coincide con lo observado en Inglaterra por Abis y Mara (2003) y por Lai y Lam (1997) en Australia, pero en el presente estudio la remoción fue más alta en verano y más baja en invierno que lo observado en las lagunas de Inglaterra.

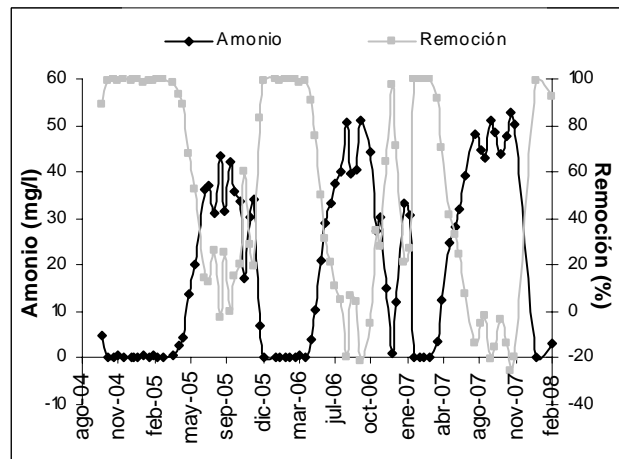
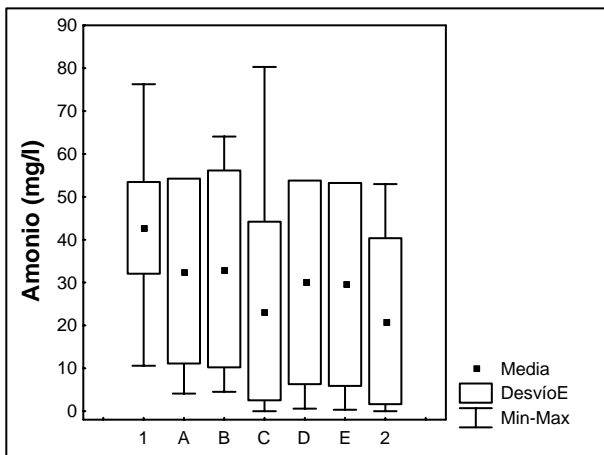


Figura 5. Evolución del amonio dentro de la laguna.

Figura 6. Comportamiento del amonio en función del tiempo a la salida de la laguna

La concentración de amonio estuvo correlacionada negativamente con la temperatura durante los meses de verano e invierno ($r = -0,82$ en la estación C y $r = -0,81$ en la 2) (figura 7).

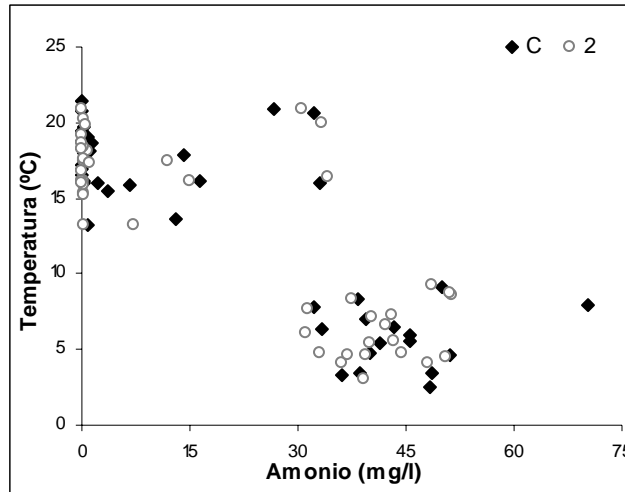


Figura 7. Relación amonio - temperatura

Analizando las concentraciones de nitrato en función del tiempo (figura 8), se observó una marcada variabilidad temporal e inversa a lo registrado con el amonio: concentraciones detectables durante los meses cálidos y no detectables durante los meses fríos. Se observó una disminución entre las concentraciones del verano de 2006 y la del 2007, lo que estuvo acompañado de una disminución en la concentración de oxígeno disuelto (en el verano del 2006 el valor medio fue de 5,2 mg/l, mientras que en el de 2007 fue de 2,5 mg/l).

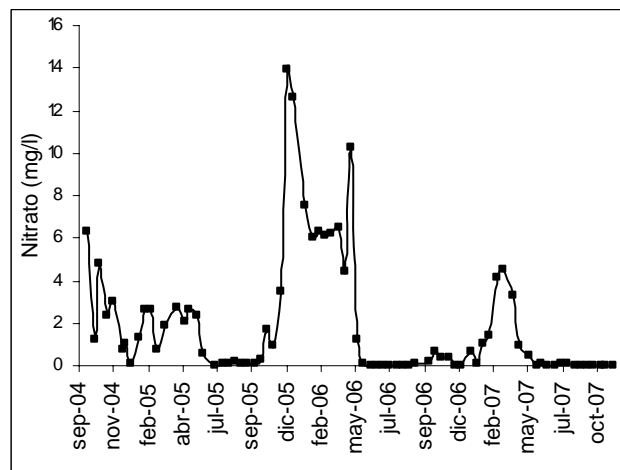


Figura 8. Evolución del nitrato en función del tiempo

Dinámica de la clorofila "a". En la figura 9 se observan los valores promedio y el desvío estándar para la clorofila "a" dentro del sistema. Inicialmente la concentración media de clorofila "a" se incrementó rápidamente, para luego de la estación C mantenerse relativamente constante, lo cual puede estar originado en que se llega a la capacidad de carga del fitoplancton por consumo de los nutrientes durante los meses cálidos.

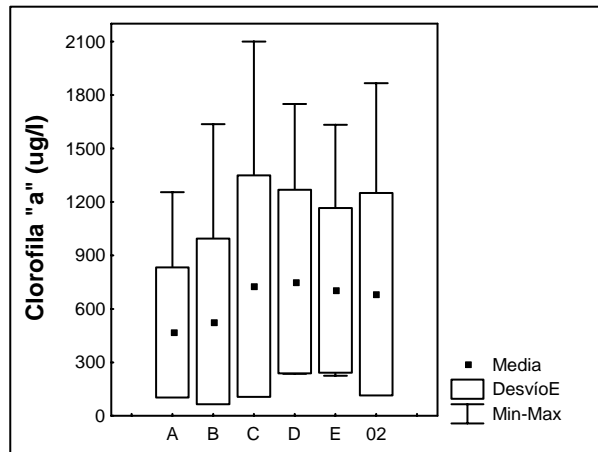


Figura 9. Evolución de la clorofila "a" dentro de la laguna

La figura 10 representa el comportamiento temporal de la clorofila "a" a la salida de la laguna facultativa. Se observó un patrón de valores máximos durante el verano (3270 µg/l) y valores mínimos durante el invierno (incluso por debajo de los 50 µg/l). Pearson (1996) recomienda que para asegurar condiciones facultativas debe existir una concentración mínima de 300 µg/l de clorofila "a". En el sistema en estudio se observaron períodos cada más amplios en los cuales se perdió la propiedad facultativa de la laguna durante los meses fríos y en el último año se observó durante el mes de enero también. Esto se correspondió con concentraciones de oxígeno disuelto que se encontraron por debajo de los 2 mg/l y con una carga orgánica superficial que superó los 60 Kg DBO₅/Ha/día.

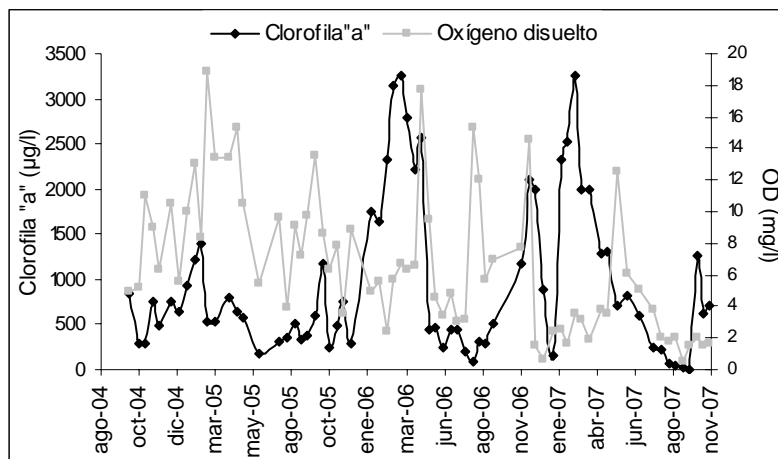


Figura 10. Evolución de la clorofila y del oxígeno en función del tiempo en función del tiempo en la estación 2.

CONCLUSIONES

La laguna facultativa de Puerto Madryn ha demostrado una importante variabilidad estacional, lo que se hizo aún más notorio con el incremento de caudal que recibió durante el período de estudio. La remoción promedio de DBO₅ total fue de un 60 %, con una disminución en los meses cálidos asociado a las mayores concentraciones de

clorofila "a", mientras que para la materia orgánica soluble fue de un 86 % con valores mínimos luego del invierno e incrementándose en el tiempo, lo que puede estar asociado al aumento de carga orgánica. La variabilidad climática entre estaciones del año influyó sobre la dinámica del nitrógeno y del fitoplancton. Durante los meses cálidos la remoción del amonio fue superior al 90%, cuando la concentración de clorofila "a" fue máxima y los procesos de nitrificación se hicieron notorios.

A medida que avanzó el estudio se observaron períodos cada vez más amplios donde la clorofila "a" tuvo concentraciones por debajo de los 300 µg/l, el oxígeno disuelto fue inferior a los 2 mg/l, la concentración de amonio a la salida de la laguna superó a la del crudo y ausencia de nitrato. Inicialmente esto ocurrió estrictamente en el invierno para luego acentuarse los procesos y abarcar parte de la primavera. Estas observaciones son coincidentes con el incremento de la carga orgánica que ingresa al sistema, por la conexión de nuevos barrios al sistema cloacal. Sumado a que la planta no está terminada de acuerdo al proyecto original plantean la necesidad de completar el sistema para recuperar la calidad del tratamiento.

AGRADECIMIENTOS

Durante los primeros dos años del estudio se contó con el apoyo del Municipio de la ciudad de Puerto Madryn y de la Cooperativa de Servicios Públicos SERVICOO. Especialmente para la Lic. María Jose Esteves y el Técnico Hugo Fuhr.

REFERENCIAS

- Abis K.L. y Mara D.D. (2003). Research on waste stabilisation ponds in the United Kingdom – initial results from pilot-scale facultative ponds. *Water Science and Technology*, **48** (2), 1-7.
- Abis K.L. y Mara D.D. (2005). Primary facultative ponds in the UK: the effect of operational parameters on performance and algal populations. *Water Science and Technology*, **51** (12), 61-67.
- Anzorena E. B. (2001). *Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencia*. Campo Espejo del Aglomerado Gran Mendoza IDRC-OPS/HEP/CEPIS.
- APHA, (1980). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 15th Edition. American Public Health Association, Washington D.C.
- Athayde Júnior G.B.; Mara D.D.; Pearson H.W. y Silva S.A. (2000). Faecal coliform die-off in wastewater storage and treatment reservoirs. *Water Science and Technology*, **42** (10-11), 139-147.
- Ellis K.V. y Rodrigues P.C. (1995). Developments to the first-order, complete-mix design approach for stabilisation ponds. *Water Research*, **29** (5), 1343-1351.
- Esteves J.L., Mavrek V., Punta G., Santinelli N., Sastre V., Solís M., Stampone J.C., Saravia J. y Vitetti E. (1996). *Funcionamiento y evolución de las lagunas de estabilización de Trelew*. Secretaría de Ciencia y Técnica de la Provincia del Chubut. Informe Final. 120 pp.
- Esteves J.L. y González P.C. (2008). *Relevamiento de la situación ambiental urbana en la zona costera patagónica*. Proyecto GEF-PNUD ARG/02/G31. "Consolidación e Implementación del Plan de manejo de la Zona Costera Patagónica para la Conservación de la Biodiversidad" Agencia Implementadora: Fundación Patagonia Natural. 1a ed. - Puerto Madryn: Fundación Patagonia Natural, 2008. 60p. + CDROM; 21 x 29 cm.
- Lai P.C.C. y Lam P.K.S. (1997). Major pathways for nitrogen removal in waste stabilization ponds. *Water, Air and Soil Pollution*, **94**, 125-136
- Madera C.A., Peña M.R. y Mara D.D. (2002). Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in Valle Del Cauca, Colombia. *Water Science and Technology*, **45** (1), 139-143.
- METCALF & EDDY, 1996. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*, 3ª Edición, McGraw-Hill.
- Pearson H.W. (1996). Expanding the horizons of pond technology and application in environmentally conscious world. *Water Science and Technology*, **33** (7), 1-9

Rockne K.J. y Brezonik P.L. (2006). Nutrient removal in a cold-region wastewater stabilization pond: importance of ammonia volatilization. *Journal of environmental engineering*, **132** (4), 451-459.

Santos M.C.R. y Oliveira J.F.S. (1987). Nitrogen transformations and removal in waste stabilization ponds in Portugal: seasonal variations. *Water Science and Technology*, **19** (12), 123-130.