

Informe Técnico

Impacto de las aguas residuales de la localidad del Calafate sobre la

Reserva Municipal Laguna Nimez.

Campañas Noviembre 2015, Abril 2016, Agosto 2016



Mauricio Faleschini ^(1,2), Macsen Coronato ⁽³⁾ y José Luis Esteves ⁽¹⁾

- 1- Fundación Patagonia Natural. Marcos A. Zar 760. (9120) Puerto Madryn, Chubut.
- 2- CENPAT – CONICET. Laboratorio de Oceanografía Química y Contaminación de Aguas (LOQYCA). Bv. Brown 3000. (9120) Puerto Madryn, Chubut.
- 3- Universidad Nacional de la Patagonia “San Juan Bosco”.

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
Descripción de cada Estación.....	10
Mediciones realizadas en cada estación de muestreo.....	17
Descripción de las técnicas.....	17
RESULTADOS.....	20
1. Planta de tratamiento de Calafate (Estaciones 1 y 2).....	20
Temperatura.....	20
pH.....	20
Potencial Redox.....	21
Oxígeno disuelto (%).....	21
Conductividad específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	22
Sólidos totales y suspendidos.....	22
Bacteriología.....	25
Huevos de parásitos.....	26
Nutrientes inorgánicos.....	27
2. Reserva Nimez (Estaciones 2, 3, 4, 5 y 6).....	30
Temperatura.....	30
pH.....	30
Potencial Redox (mV).....	31
Oxígeno disuelto (%).....	32
Conductividad específica ($\mu\text{Si}/\text{cm}$).....	33
Sólidos.....	34
Sólidos totales (mg/l).....	34
Sólidos suspendidos (mg/l).....	34
Sólidos sedimentables: 10 minutos – 2 horas (ml/L).....	36

Demanda Bioquímica de Oxígeno total (DBO ₅ total) (mg/L).....	38
Demanda Bioquímica de Oxígeno filtrada (DBO ₅ filtrada) (mg/L).....	38
Bacteriología	39
Huevos de parásitos	41
Nutrientes inorgánicos (Nitrógeno; Fósforo).....	42
3. Estudios adicionales.....	46
a. Arroyo Calafate	46
b. Análisis de Radón	47
i. Laguna de Shrek.....	47
ii. Casa Verde	47
iii. Pozo de agua dulce	48
iv. Lagunita de los patos	49
v. Arroyo Calafate arriba.....	49
CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	50
1. Sistema cloacal y Planta de Tratamiento.....	50
2. Sistema laguna Nimez	51
3. Arroyo Calafate.....	51
4. Interacción entre el Sistema laguna Nimez, la bahía Redonda y el Lago Argentino	52
REFERENCIAS	53
ANEXO 1. ANÁLISIS DE FITOPLANCTON EN CALAFATE.....	55
RECOMENDACIONES	57

AGRADECIMIENTOS.

El grupo de trabajo desea agradecer a todo el equipo de la Reserva laguna Nimez, que como en todas las circunstancias, hicieron de las campañas realizadas un trabajo a fondo desde el punto de vista técnico y humano: Laura Estrampes, Josefina Ramos, Luis Gabriel Sartori, Enzo Vega Salinas, Julián Taiel Pérez, Cristian Sanhueza, Maria Soledad Lopez Belsue. En la campaña de abril, el Sr. José Pera puso su embarcación para el muestreo de las estaciones que se encontraban cubiertas por agua en el lago Argentino. Al CENPAT por el uso de algunos equipos compartidos con Fundación Patagonia Natural. El equipo técnico de la Fundación que revisó críticamente este Informe. Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

INTRODUCCIÓN

En el año 2005, se realizó - por parte de Fundación Patagonia Natural -, un estudio que analizaba la situación ambiental de la Reserva Municipal Laguna Nimez bajo el impacto de la localidad de Calafate (Esteves y Faleschini, 2005).

Luego de 10 años de aquel estudio, la población se ha incrementado sustancialmente, pasando de 6.410 habitantes en el 2001 a 18.864 habitantes en el 2010 (<http://www.indec.gov.ar/>). Teniendo en cuenta una proyección en los últimos 5 años de 150% de incremento poblacional, la población estaría en el orden de los 27.000 habitantes para el año 2015. Con este incremento los servicios sanitarios también sufren concomitantemente el mismo proceso, si bien muchas veces en detrimento de las capacidades de tratamiento de residuos urbanos, tanto sólidos como líquidos.

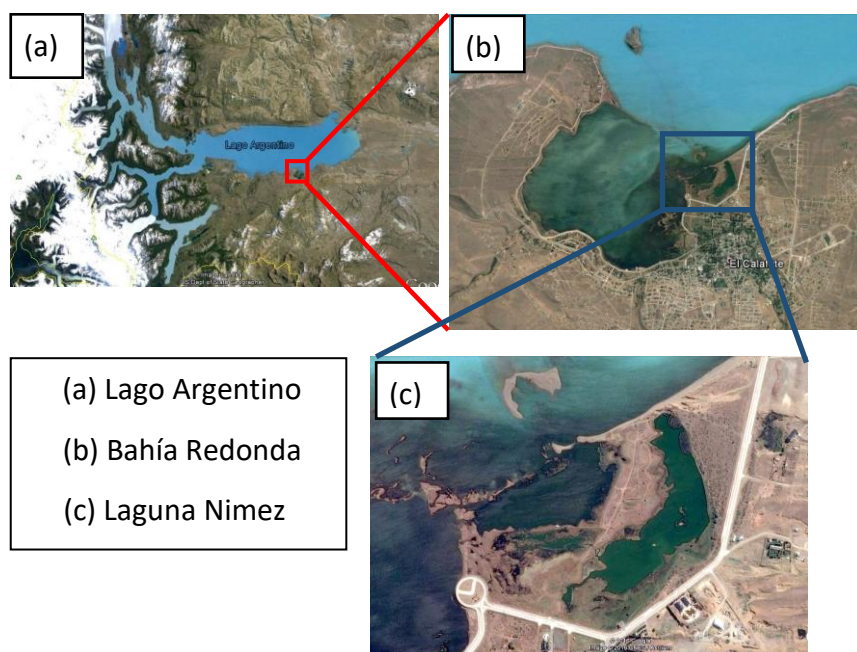


Figura 1. Sistema lago Argentino (a), bahía Redonda (b), laguna Nimez (c).

Ampuero et al. (2014), detectan entre los problemas urbanos más relevantes de El Calafate, al vertedero de residuos urbanos (VRU) y al servicio de cloacas. En ambos casos ambos temas se encuentran en camino de solución.

La Reserva Municipal Laguna Nimez, es un ambiente litoral al lago Argentino, ubicada en la localidad de Calafate, Provincia de Santa Cruz. Sus características limnológicas se asocian a un humedal, con la presencia de numerosas aves que nidifican, reposan y/o se alimentan en la misma. La Municipalidad de Calafate, con razón, la ha declarado Reserva Municipal. Es por otra parte, Sitio AICA SC12 (Área importante para la Conservación de las Aves o IBA, por su sigla en inglés).

Esta constituye un lugar de visita importante para los turistas que recorren la región. El circuito pedestre de aproximadamente 2500 metros de extensión (Fotografía 1), permite la observación de la

avifauna y de la flora del lugar, con refugios para una mejor observación. La figura 1 muestra la posición relativa de la Reserva.



Fotografía 1: Sendero que rodea a la laguna Nimez.

La ciudad de Calafate cuenta con una planta de tratamiento secundario de efluentes cloacales diseñada para una población del orden de los 4000 habitantes. Recibe como afluentes las aguas residuales urbanas, las industriales y algunas de escorrentía, ya que no en todas las calles hay bocas de tormenta conectadas con los efluentes cloacales (La Valle, 2012). Se encuentra en estado avanzado de construcción – aunque detenida por el momento - de una ampliación del sistema de tratamiento que incrementaría en 20.000 habitantes más la población servida. Actualmente se estima entre el 40 y el 60% la población conectada al sistema cloacal (Ing. Ricardo Hendic, comunicación personal) y existen pozos absorbentes en varios sectores de la Ciudad. La planta de tratamiento descarga una parte de los efluentes tratados a la Laguna.

El objetivo de este estudio ha sido caracterizar el líquido crudo, el rendimiento del sistema de tratamiento, la calidad del agua que ingresa a la laguna Nimez, el funcionamiento de la Laguna como humedal, la calidad del agua que drena al lago Argentino. Estos estudios se llevaron adelante en los meses de noviembre 2015 (primavera), abril de 2016 (otoño) y agosto de 2016 (invierno). En cada estación del año, el lago Argentino ha recibido aguas desde la bahía Redonda (noviembre y agosto) o alcanzado su cota máxima (abril), con el ingreso de sus aguas a los humedales formados por la denominada bahía Redonda y la Reserva laguna Nimez, produciendo un mecanismo de dilución importante de todo el sistema.

En distintas oportunidades se incluyó en estos estudios la calidad del agua del arroyo Calafate cuando vuelca a la bahía Redonda. Igualmente, se analizaron manantiales que drenan a la Bahía; en la Reserva Nimez, en la Casa Verde; en un pozo de agua dulce cercano a la Bahía; en el arroyo Calafate antes de ingresar en la Ciudad. El objetivo fue analizar la surgencia de agua subterránea al sistema lagunar, mediante actividades de gas Radón.

A lo largo de este Informe, se considerará primeramente el funcionamiento de la Planta de tratamiento mediante el análisis de las estaciones 1 y 2. El funcionamiento de esta Planta ha estado motivado por la necesidad de conocer la calidad de agua que llega a la Reserva Nimez, ya que una parte importante del agua tratada se vuelca en la Reserva.

La Reserva Nimez se examinará mediante el estudio de diferentes parámetros en las estaciones 2, 3, 4, 5 y 6.

En lo que denominamos Estudios adicionales, incluimos el Arroyo Calafate (Estación 7) y una serie de manantiales para conocer el flujo de agua subterránea al Lago.

Como en otros informes preliminares, se incluirán las conclusiones y las recomendaciones más importantes que surgen de este Estudio.

Este estudio se encuentra enmarcado en un Proyecto aprobado por la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA) y ejecutado por la Fundación Patagonia Natural (FPN).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron estaciones de muestreo para su caracterización desde el punto de vista físico, químico y biológico. La figura 2 muestra la ubicación relativa de las estaciones de muestreo más importantes.

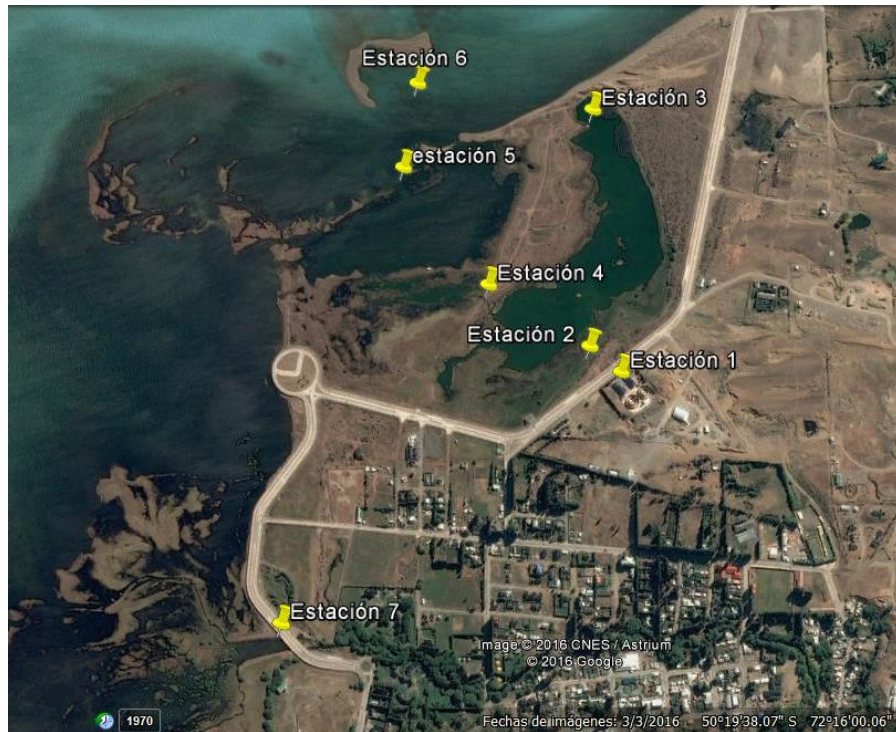


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo. Puede observarse que las estaciones 5 y 6, que en noviembre y agosto reciben las aguas del humedal, se encuentran en abril dentro del lago Argentino.

La ubicación geográfica y los detalles de cada estación es la siguiente (Tabla 1):

Tabla 1: Posiciones geográficas y observaciones de cada una de las estaciones seleccionadas.

Estacion	Latitud	Longitud	Observaciones
1	50°19'41,05"S	072°15'51,36" W	Ingreso de agua a la Planta de Tratamiento
2	50°19'36,91"S	072°15'59,4" W	Salida de la Planta en el ingreso de agua a la laguna Nimez
3	50°19'18,31"S	072°15'58,23" W	Fondo de la laguna 1
4	50°19'32,28"S	072°16'11,21" W	Canal entre laguna 1 y laguna 2
5	50°19'23,06"S	072°16'22,39" W	Límite de la Reserva sobre el Lago Argentino.

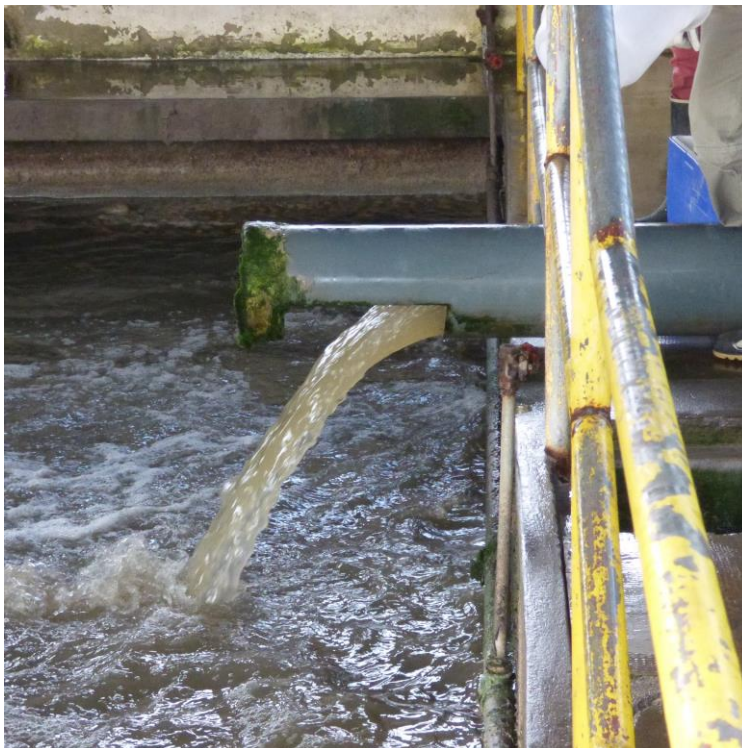
6	50°19'16,12"S	072°16'20,35" W	Zona de intercambio de aguas entre la bahía Redonda y la reserva Nimez antes del ingreso al Lago Argentino o bien estaciones dentro del Lago en el mes de abril.
6´	50°19'05,90"S	072°16'38,26" W	Agua proveniente de la Reserva Nimez.
6"	50°19'03,17"S	072°16'27,46" W	Agua proveniente de la bahía Redonda.
7	50°19'59,13"S	072°16'36,57" W	Arroyo Calafate (en el puente del Boulevard Kirchner).

Surgencia de agua subterránea. Para analizar la existencia de surgencia de agua subterránea al sistema lagunar, se tomaron muestras en diferentes manantiales, pozos o arroyos. Los lugares seleccionados fueron variando en función de los resultados de los análisis de Radón. Los lugares y su ubicación geográfica fue la siguiente:

Pantano de Shrek	50°19'28.67"S	072°15'48.16"O	Muestreo en noviembre 2015, abril 2016, agosto 2016.
Casa Verde	50°20'1.47"S	072°18'53.08"O	Muestreo en noviembre 2015, abril 2016, agosto 2016.
Lagunita de los patos	50°19'40.65"S	072°16'4.56"O	Muestreo en noviembre 2015.
Pozo de agua dulce	50°20'06"S	072°18'57"O	Muestreo en abril 2016.
Arroyo Calafate arriba	50°19,334´S;	072°16,534´W;	Muestreo en agosto 2016.

Descripción de cada Estación.

Estación 1. Fue tomada en el ingreso del agua cruda de la ciudad de Calafate a la planta de tratamiento. El caudal estimado sería de unos 500 m³/hora (Fotografía 2) (información, Ing. Hentic).



Fotografía 2. Ingreso de agua a la Planta de Tratamiento (Estación 1). En el mes de agosto 2016, la muestra se tomó en la segunda planta ubicada hacia el este, ya que la primera se hallaba en proceso de adecuación de las toberas de aireación y renovación del sistema.

Estación 2. Corresponde al ingreso del agua tratada proveniente de la planta de Tratamiento a la Laguna 1 del sistema Nimez (fotografías 3 y 4). El caño proveniente de la planta de tratamiento desemboca en una cisterna ubicada en el humedal. El caudal es variable y seleccionable desde la Planta. El caudal diario no se ha podido determinar, aunque sería bastante menor al ingreso a la Planta ya que una parte de destina a otros usos. Según información del Sr. Marcelo Pastén, el destino del agua luego del paso por la planta serían dos canteras y un vivero en desuso. El excedente de esta cámara cae a la marisma y se vuelca en la Laguna. La vegetación es densa y formada por arbustos variados fortificados por la alta concentración de nutrientes minerales que se vuelcan en el entorno.



Fotografía 3: Cisterna de ingreso del agua tratada a la laguna Nimez (Estación 2).

A la salida de la cisterna (fotografía 4), se observa un canal de aproximadamente 25 metros de largo y una profundidad media de unos 40 cm, que presenta sedimentos limo-arcillosos. A ambos lados de este canal la vegetación es densa, aunque baja, formada por arbustos variados. Los sedimentos son anóxicos en prácticamente todo el trayecto; el color y el olor de esta agua es indicativa de agua proveniente de una planta de tratamiento.



Fotografía 4: Ingreso del agua tratada a la laguna Nimez (Estación 2).

Estación 3. Esta estación se ubicó sobre hacia el fondo de la Laguna 1. Corresponde a una zona sin flujo de agua importante y en consecuencia, con un elevado tiempo de estadía en esta zona. La mezcla homogénea es difícil en esta estación al estar alejada del ingreso y del egreso de la Laguna (fotografía 5). En el mes de agosto esta parte de la laguna se hallaba cubierta por una gruesa capa de hielo (fotografía 6).



Fotografía 5: Estación 3, cercana al refugio de observación de aves en la primera laguna del sistema Nimez.



Fotografía 6: Misma estación 3, en agosto de 2016. Esta parte de la laguna se encontraba congelada en superficie.

Estación 4. Se ubicó sobre el canal que une la Laguna 1 y la 2, a la altura del puente que une a ambas lagunas (Fotografía 7).



Fotografía 7: Muestreo en la estación 4, en el canal que une las lagunas 1 y 2.

Estación 5. Se ubicó en el borde del alambrado que limita la Reserva hacia el lago Argentino. En el mes de abril el muestreo se hizo sobre el lago Argentino (Fotografía 8). En el resto de las campañas (noviembre y agosto), se pudo acceder por tierra.



Fotografía 8. Estación 5 en el lago Argentino.

Estación 6. Se tomó en el lago Argentino, aproximadamente a unos 500 metros de la costa (fotografía 9). En el resto de las campañas se accedió a esta estación desde tierra.



Fotografía 9: Estación 6. Lago Argentino. Puede observarse la bahía Redonda, totalmente cubierta con agua del Lago.

Estación 7. Se tomó en las inmediaciones del puente que cruza el arroyo Calafate a la altura del boulevard N. Kirchner (fotografía 10 y 11).



Fotografía 10



Fotografía 11

Arroyo Calafate. En abril este se encontraba con mezcla de agua del lago Argentino antes de la bahía Redonda (Estación 7; fotografía 10), mientras que en agosto el arroyo se encontraba congelado (fotografía 11; foto Laura Estrampes).

Mediciones realizadas en cada estación de muestreo

La tabla 2 ilustra sobre las mediciones realizadas en cada estación de muestreo.

Tabla 2. Detalle de las mediciones efectuadas.

	Planta de Tratamiento	Laguna Nimez					Arroyo Calafate
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Parámetros <i>in situ</i> (Temperatura, oxígeno disuelto, pH, Redox, conductividad)							
Sólidos sedimentables (10 minutos y 2 horas)							
Sólidos totales							
Sólidos suspendidos							
DBO ₅ total							
DBO ₅ filtrada							
Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>							
Huevos de parásitos							
Clorofila "a" y feofitina							
Nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, fosfato)							
Actividad de Radón							

Descripción de las técnicas

- **Parámetros *in situ*:** Se midió Oxígeno Disuelto, Conductividad, temperatura y potencial Redox, utilizando una sonda multiparámetro YSI-556. El pH, se midió mediante peachímetro Yokogawa.
- **Sólidos Totales:** se midió como la diferencia en peso entre el peso inicial de una cápsula de porcelana limpia y seca y el obtenido luego de evaporar 100 ml de muestra a 100 °C en estufa.

- **Sólidos Sedimentables 10' y 2Hs:** se midió en el lugar (SUM de la laguna Nimez) como el volumen sedimentado en cono de Imhoff, en 10 minutos y en 2 horas.
- **Sólidos Suspendidos:** es la diferencia entre el peso inicial de un filtro GF/C (fibra de vidrio) y su peso luego de haber filtrado 100 ml de muestra y haber sido secado a 100 °C. En el filtro quedan retenidas todas aquellas partículas cuyo diámetro es mayor a 1,2 micrómetros. Luego, los filtros fueron calcinados a 450° C para discriminar entre los **sólidos volátiles** (orgánico) y los **sólidos fijos** (inorgánico).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ días):** se analizó como la diferencia en la concentración de oxígeno disuelto de una muestra al inicio y al final del ensayo, luego de la incubación de la misma durante cinco días a 20°C. El consumo de oxígeno disuelto está asociado al contenido de materia orgánica de la muestra. Se realizaron distintas diluciones: una fracción de muestra llevada a 700 ml con agua de dilución conteniendo un buffer de pH 7 de fosfato y nutrientes. La concentración de oxígeno se midió con un oxímetro YSI-58.
- Para el análisis de la **DBO₅ filtrada** se siguió el mismo procedimiento, pero usando como muestra el líquido luego de ser filtrado mediante filtro GF/C.
- **Bacteriología:** Se prepararon las diluciones adecuadas para la determinación del Número Más Probable (NMP), utilizando recipientes y jeringas estériles. Volúmenes de 100 ml de muestra con el agregado del medio de cultivo adecuado, se vierten en recipientes Quanti-tray®, y se sellan en una selladora ad-hoc. Esto permite aislar totalmente 51 celdas. Se incuban a 35°C durante 24 horas. La presencia de **coliformes totales** se detecta por la coloración amarilla de las celdas, mientras que la presencia de *Escherichia coli* se detecta por una coloración azul al iluminar las celdas positivas con luz ultravioleta. Se cuentan el número de celdas amarillas y azules sobre el total (51) y teniendo en cuenta la dilución, se determina el NMP y los desvíos correspondientes. Se incuban nuevamente a la misma temperatura durante 4 horas más y se repiten las observaciones para confirmar los valores.
- **Huevos de parásitos:** La técnica consistió en dejar sedimentar un volumen conocido de muestra (5 litros). Una vez transcurrido el tiempo de sedimentación (5 días) se retiró el volumen sobrenadante por sifón, se trasvasó el material sedimentado a un tubo de centrifuga y se centrifugó a 1000 g. Luego se agregó una solución buffer de Aceto-Acético y un solvente (Etilacetato). Al centrifugar nuevamente, se obtuvieron tres fases acuosas (las cuales se descartaron) y un precipitado. Este último fue resuspendido en una solución de sulfato de zinc (33%), donde los huevos de helmintos, al ser menos densos, flotan. El líquido se trasvasó a una cámara de McMaster, donde la totalidad de los huevos fueron contados en microscopio con un aumento de 10X.
- **Amonio:** Es una modificación del método del fenol-hipoclorito de Solorzano. Descripto por APHA (1995).
Rango: 0,1 – 10 µg-at/litro.
Principio del método: El agua es tratada en un medio alcalino con hipoclorito de sodio y fenol en presencia de nitroprusiato de sodio que actúa como catalizador. El azul de indofenol formado con el amonio es medido a 640 nm.

- **Nitrito:** Método: de Shinn y modificado por Bendschneider y Robinson (con modificaciones para análisis con autoanalizador) descrito por APHA (1995).

Rango: 0,01 - 2,5 μM

Principio del método: El nitrito en el agua, reacciona con sulfanilamida en solución ácida. El compuesto diazo resultante, reacciona con N-(1-Naftil)-etilendiamina y forma un compuesto azo altamente coloreado, cuya extinción se mide a 543 nm.

- **Nitrato:** Método: de Morris y Riley (con modificaciones para análisis con autoanalizador) descrito por APHA (1995).

Rango: 0,05 - 45 μM

Principio del método: El nitrato se reduce cuantitativamente a nitrito, al pasar la muestra a través de una columna con limaduras de cadmio recubiertas con cobre metálico (coperizadas). El nitrito así reducido y el originalmente presente en la muestra es determinado por diazotación con sulfanilamida y copulado con N-(1-Naftil)-etilendiamina, para formar un compuesto azo muy coloreado, cuya extinción se mide en un espectrofotómetro visible a 543 nm. Posteriormente haciendo la corrección por la cantidad inicial de nitrito que reacciona cuantitativamente con los mismos reactivos, se obtiene finalmente la concentración de nitrato reactivo.

- **Fosfato:** Método: de Murphy y Riley descrito por APHA (1995).

Rango: 0,03 - 5 μM

Principio del método: El agua reacciona con un reactivo compuesto que contiene ácido molíbdico, ácido ascórbico y antimonio trivalente. El complejo heteropoliácido resultante es reducido in situ para dar una solución azul, cuya extinción es medida a 885 nm.

- **Clorofila "a" y feofitina:** El agua se filtró a través de filtros de acetato de celulosa de 0,45 μm de diámetro de poro. El filtro se congeló a -20°C hasta el momento de su análisis. Se extrae la clorofila del filtro mediante acetona al 90% durante 24 horas. Se centrifugó y el sobrenadante se leyó en fluorómetro Turner[®]. Se aplicaron las ecuaciones de acuerdo a la técnica descrita por APHA (1995). Con las ecuaciones se obtiene una concentración de fitoplancton vivo (**clorofila**) y muerto (**feofitina**).

- **Medición de la actividad de Radón-222 (^{222}Rn).** Para tratar de conocer si existe un flujo de agua subterránea que pudiera aportar a la zona costera del lago Argentino cantidades de agua con características diferentes, se realizaron tres mediciones de la actividad de Radón en dos sitios de la laguna Nimez y en un sitio cercano a la casa Verde en bahía Redonda. La presencia de este elemento químico brinda un indicio de ingreso de agua desde napas subterráneas al sistema lagunar. Las mediciones de la actividad de ^{222}Rn se realizaron utilizando un equipo RAD7 (DurrIDGE, Company Inc).

RESULTADOS

1. Planta de tratamiento de Calafate (Estaciones 1 y 2)

Temperatura

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	14,9	15,2	8,6
E2	13,3	15,0	8,2

Tabla 3: Evolución de la temperatura

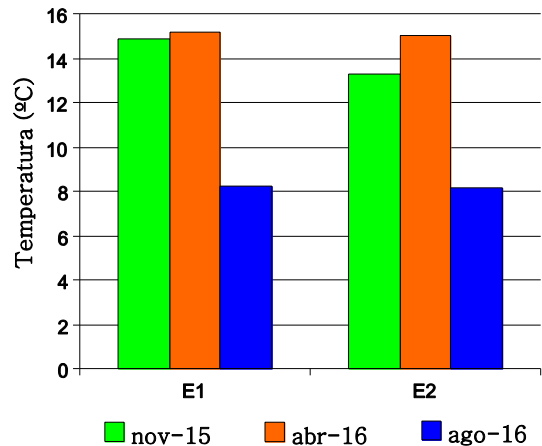


Gráfico 1: Evolución de la temperatura

La temperatura al ingreso de la laguna Nimez (Estación 2) fue siempre menor que en la estación 1. En el mes más frío, la temperatura se mantuvo por encima de los 8°C; en el resto de los muestreos la variación entre noviembre y abril fue mínima. La tabla 3 y el gráfico 1 muestran la evolución de la temperatura.

pH

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	8,0	7,5	7,9
E2	7,6	7,4	7,8

Tabla 4: Variaciones del pH

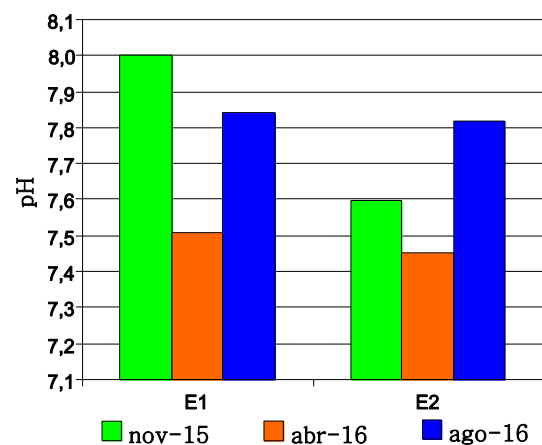


Gráfico 2: Evolución del pH

El pH tuvo valores cercanos a la neutralidad. En todos los casos la Estación 2 mostró valores menores que la Estación 1. En noviembre esta diferencia fue máxima (0,4 unidades) mientras que en el resto de los meses el valor fue de 0,1 unidad. La tabla 4 y el gráfico 2 muestran la evolución del pH (Tabla 4 y gráfico 2).

Potencial Redox

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	-164	106	92
E2	189	120	237

Tabla 5: Potencial Redox

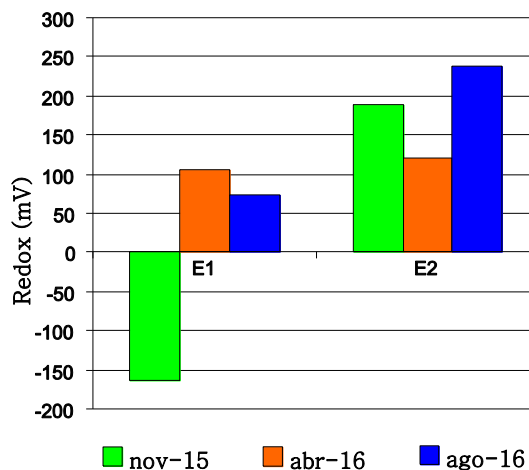


Gráfico 3: Evolución del potencial Redox.

Con excepción del mes de noviembre en la Estación 1, los valores fueron positivos. Estos valores indican condiciones óxicas en el líquido de ingreso. La estación 2 mostró valores mayores que la Estación 1, indicando un proceso de oxigenación dentro de la Planta de tratamiento y un escaso tiempo de estadía, lo cual implica una mínima degradación de la materia orgánica. La tabla 5 y el gráfico 3 muestran la evolución del potencial Redox.

Oxígeno disuelto (%)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	57	78	72
E2	81	86	81

Tabla 6: Oxígeno disuelto

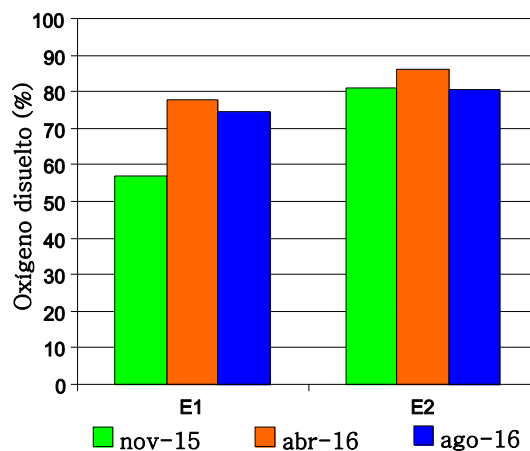


Gráfico 4: Evolución del oxígeno disuelto

Contrariamente a lo que se esperaba, el oxígeno disuelto se incrementó entre las estaciones 1 y 2. El aporte de oxígeno a través de los aireadores de la Planta de tratamiento, debería utilizarse casi completamente para generar procesos de oxidación dentro del líquido crudo y esperar valores menores en la Estación 2. Este incremento podrá deberse a una oxidación de las capas más superficiales y un tiempo de estadía exiguo en la Planta, dejando el resto de la masa orgánica más profunda, en condiciones anóxicas. La tabla 6 y el gráfico 4 muestran la evolución del oxígeno disuelto.

Conductividad específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	613	529	350
E2	540	523	502

Tabla 7: Conductividad específica

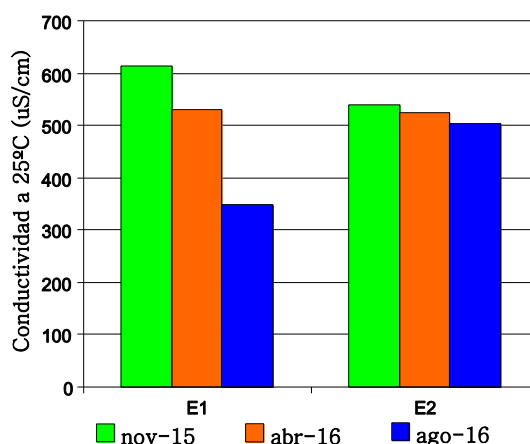


Gráfico 5: Evolución de la conductividad específica

La conductividad específica (Tabla 7 y gráfico 5) mostró valores estables y bajos en la Planta de Tratamiento en los muestreos realizados, lo cual puede implicar que el agua de consumo en los hogares presenta bajo contenido de sales (ej., en Puerto Madryn el agua cloacal tiene más del doble de sales que en Calafate).

Sólidos totales y suspendidos

Sólidos totales (mg/l).

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	376	404	376
E2	390	400	336

Tabla 8: Sólidos totales

Sólidos suspendidos (mg/l).

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	141	63	77
E2	44	94	67

Tabla 9: Sólidos suspendidos

Los sólidos totales (Tabla 8; gráfico 6) presentaron valores del orden de 400 mg/L en la Estación 1 y en la entrada a la laguna Nimez, en todos los muestreos realizados.

En lo que respecta a los sólidos suspendidos (Tabla 9; gráfico 6), hubo remoción del 70% en el mes de noviembre 2015; en el mes de abril se observó un incremento: 63 mg/L (E1) a 94 mg/L (E2). En agosto la remoción fue del 13% solamente.

La Unión Europea (1991) establece valores de Sólidos suspendidos totales de 60 mg/l para un equivalente poblacional entre 2.000 y 10.000 y menor de 35 mg/l para un equivalente poblacional mayor de 10.000 para agua proveniente de plantas de tratamiento de efluentes urbanos a cuerpos receptores naturales que pueden estar sometidos a procesos de eutroficación.

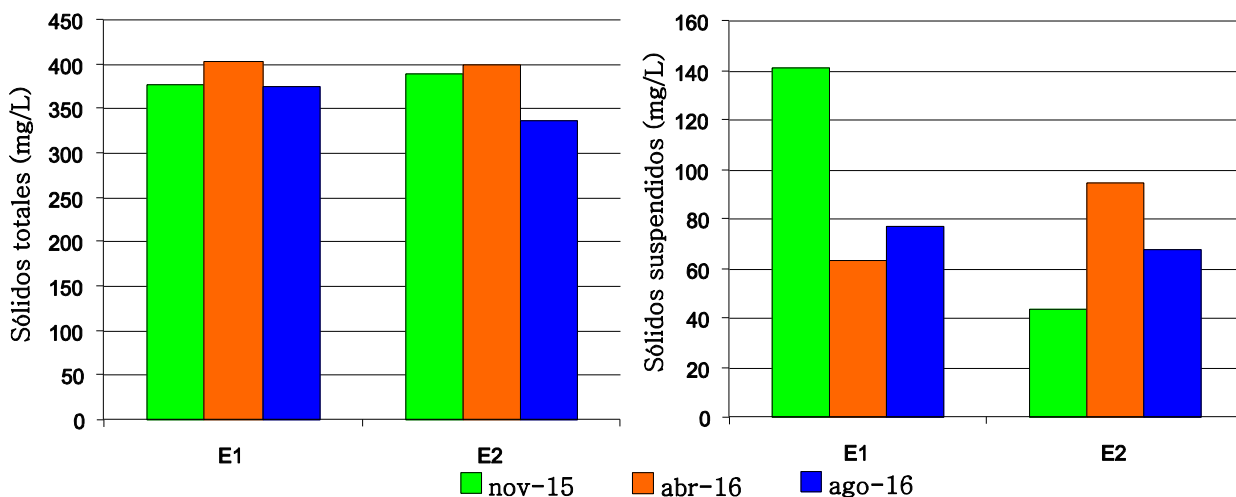


Gráfico 6: Evolución de los sólidos totales y sólidos suspendidos.

Sólidos Sedimentables

En el líquido crudo, los sólidos sedimentables en 10 minutos presentaron valores del orden de 2 ml/L, a excepción del último muestreo que fueron no detectable. Los sólidos sedimentables en 2 hs se encontraron entre 2,5 y 5,5 ml/L. En el líquido tratado hubo una disminución de los sólidos en general, alcanzando

valores por debajo de la mitad de los presentes en el líquido crudo, aunque siempre estuvieron por encima de 0,4 ml/L.

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	1,9 – 5,5	1,9 – 2,5	<0,1 – 2,5
E2	0,7 – 1,3	0,8 – 1,0	<0,1 – 0,4

Tabla 10. Sólidos sedimentables: 10 minutos – 2 horas (ml/L)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	164	132	84
E2	122	93	81

Tabla 11: Demanda Bioquímica de Oxígeno

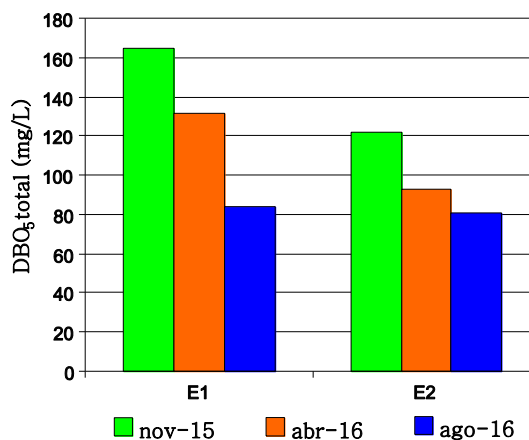


Gráfico 7: Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

El líquido cloacal crudo ingresó a la planta de Tratamiento con valores relativamente débiles de acuerdo a lo que establece la clasificación de Metcalf & Eddy (1996). Los valores disminuyeron entre noviembre y agosto. En la Planta la remoción fue baja (26% en noviembre, 29% en abril y 4% en agosto), teniendo en cuenta los valores en la Estación 2 (Tabla 11 y gráfico 7).

Estos valores superaron los límites establecidos para para ser volcados a un cuerpo receptor. La Provincia de Santa Cruz (1996), establece en su Ley 1451, un límite de 50 mg/l de DBO₅ 20°C para el vertido en canales de desagüe. La Unión Europea (1991) establece un máximo de DBO₅ de 25 mg/l para agua proveniente de plantas de tratamiento de efluentes urbanos a cuerpos receptores naturales que pueden estar sometidos a procesos de eutroficación. Para la provincia de Mendoza este es de 30 mg/L (Mendoza, 1996) y para la norma chilena de 35 mg/L (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2000).

Bacteriología

Coliformes totales

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	7,50E+06	1,78E+07	7,50E+06
E2	7,50E+06	8,85E+06	6,97E+06

Escherichia coli

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	3,10E+06	1,11E+07	1,00E+06
E2	2,00E+06	3,84E+06	2,38E+06

Tabla 12: Coliformes totales y *Escherichia coli*

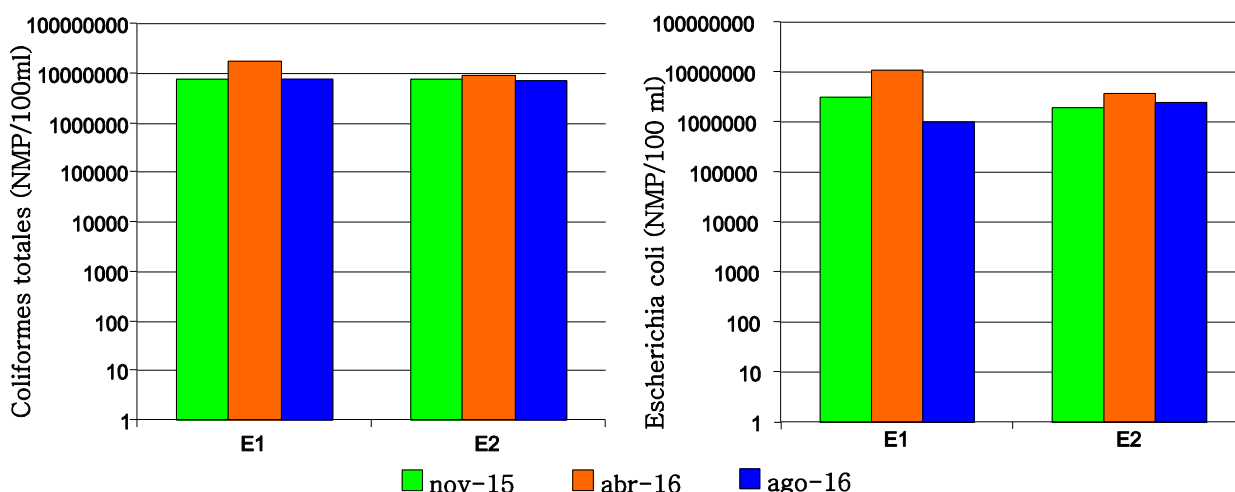


Gráfico 8: Evolución de la concentración de coliformes fecales y *Escherichia coli*.

La concentración de coliformes totales en la estación 1, se encontró en todas las campañas realizadas en el orden de 10^7 NMP/100 ml (NMP: número más probable), lo cual es lo esperado para un líquido cloacal crudo. En la estación 2, al ingreso de la laguna Nimez, la concentración prácticamente se mantuvo constante. Lo mismo sucedió con la concentración de *Escherichia coli*. Las concentraciones se encontraron en el orden de 10^6 NMP/100ml. La atenuación bacteriológica ha sido prácticamente inexistente en este sistema. Ya que a la salida de este sistema de tratamiento no hay desinfección adicional, los valores en la Estación 2 son esperables. Según La Valle (2012), el sistema contaba en sus inicios con una etapa de desinfección mediante cloro; la antigüedad y la saturación de la planta hicieron ineficiente este proceso y desde hace unos años se dejó de desinfectar el líquido tratado (Tabla 12 y gráfico 8).

La norma chilena (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2000), establece entre otros límites, los máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres. El límite máximo permisible es de 10^3 Colifecales/100 ml (equivalentes a *Escherichia coli* en este estudio). Los mismos valores establece la legislación Brasileira (CONAMA, 2005).

Huevos de parásitos

En contraposición a la bacteriología (donde todos los seres humanos eliminan bacterias con las heces, ya que habitan naturalmente el tracto digestivo), los huevos de parásitos son eliminados únicamente por personas que sufren de alguna enfermedad parasitaria. Por lo tanto, en el líquido cloacal se reflejará un compromiso entre las personas enfermas, diluidas por la gran cantidad de líquido procedente de personas sanas.

El líquido cloacal crudo de la localidad de Calafate presentó una concentración de 5 huevos de parásitos por litro (lo cual es un valor bajo, comparado, por ejemplo, con Puerto Madryn (26) y más aún si se compara con zonas de gran proliferación de este tipo de enfermedades y con buena parte de la población en malas condiciones sanitarias, como por ejemplo en países de África, registrando hasta 3000 huevos de parásitos por litro). En el líquido tratado (ingreso a la laguna Nimez), la concentración fue detectable pero menor al del líquido crudo, en los meses de nov-15 y abr-16. Mientras que fue no detectable en el muestreo de ago-16 (Tabla 13).

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	6,0	5,2	4,2
E2	2,5	1,2	nd

nd: no detectable

Tabla 13: Huevos de parásitos

Nutrientes inorgánicos

Fosfato (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	1,83	2,34	
E2	1,24	1,99	

Tabla 14: Fosfato

Contrariamente a lo esperable, el fosfato ha mostrado un consumo dentro de la Planta. En noviembre este fue de 32%; en abril 15%, mientras que en agosto la concentración a la salida fue prácticamente la misma que en el ingreso (tabla 14 y gráfico 9). Esta es una indicación de falta de oxidación de la materia orgánica contenida en el sistema o bien, un consumo bacteriano de este nutriente dentro del sistema.

Nitrito (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	0,004	0,053	0,026
E2	0,004	0,028	0,026

Tabla 15: Nitrito

Nitrato (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	0,013	0,037	0,455
E2	0,014	0,017	0,373

Tabla 16: Nitrato

Nitrato + Nitrito (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	0,02	0,090	0,48
E2	0,02	0,045	0,40

Tabla 17: Nitrato + nitrito

En el mes de noviembre de 2015, el nitrato (Tabla 16; grafico 9), mostró concentraciones del orden de 75% de la suma de nitrato más nitrito (Tabla 17; grafico 9) en las dos estaciones E1 y E2. En abril de 2016, la concentración de nitrato fue menor que la de nitrito (Tabla 15; grafico 9); este último parámetro fue del orden del 60% de la suma de nitrato+nitrito.

Comparando la estación E1 con la E2, la concentración de nitrito y de nitrato han sido inferiores en la salida de la Planta, reflejando una actividad biológica positiva. En agosto de 2016, la concentración de nitrato fue muy superior a la de nitrito; su participación fue de más de 90% de la suma de nitrato+nitrito. El bajo tiempo de estadía del agua en la Planta, ha repercutido en una mínima oxidación del amonio a nitrito y/o nitrato. (tablas 14 a 16 y gráfico 9).

Amonio (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E1	39,40	18,28	21,44
E2	19,07	18,86	21,37

Tabla 18: Amonio

El amonio se ha consumido de manera importante en noviembre (52% menos a la salida (Estación 2) que en la Estación 1; se ha producido ligeramente en abril (3,2% más en E2 que en E1; no ha habido prácticamente ninguna modificación en invierno (0,32%). Como se podía esperar, su participación a la suma de los compuestos inorgánicos del nitrógeno ha sido superior al 99% en noviembre 2015 y abril 2016 y ligeramente menor en agosto (98%).

En noviembre 2015, la concentración de amonio en el ingreso a la Planta (E1) (40 mg/L) fue mayor que en abril (18,3 mg/L) y agosto (21,44 mg/L) (Tabla 18 y gráfico 9). Esta diferenciación puede estar asociada a la variabilidad diaria en la calidad del agua que ingresa, en donde el amonio es un componente clave, por las diferentes actividades humanas que se desarrollan a lo largo del día. Una vez en la Planta, estas concentraciones se homogeneizan y esto ha sido observado en la estación E2, de ingreso a la laguna Nimez, en las tres campañas realizadas. El promedio y la desviación estándar de la concentración de amonio fue de $26,4 \pm 11,4$ mg/L en la E1, mientras que para la estación E2 fue de $19,8 \pm 1,4$ mg/L.

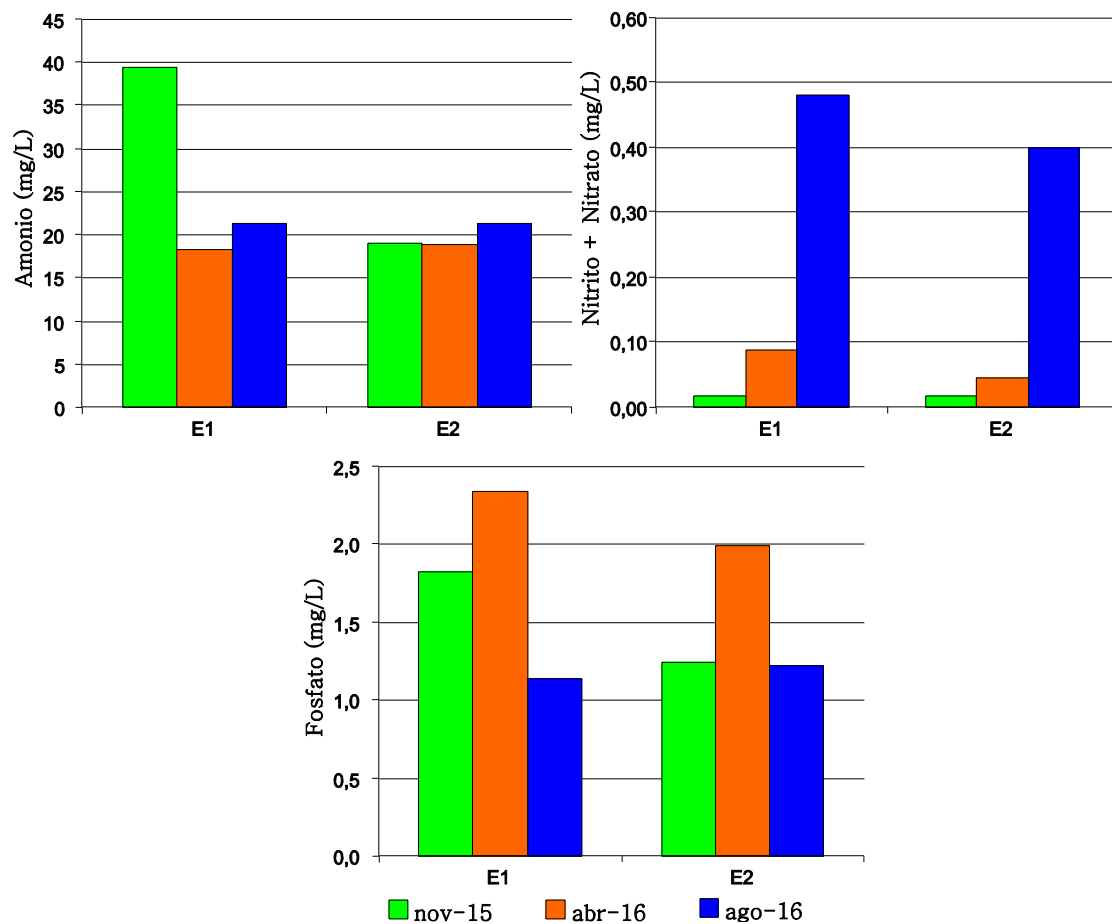


Grafico 9: Evolución de la concentración de nutrientes inorgánicos (N y P).

2. Reserva Nimez (Estaciones 2, 3, 4, 5 y 6)

Temperatura

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	13,3	15,01	8,15
E3	12,9	8,43	1,67
E4	13,2	9,34	3,56
E5	16,5	9,04	3,27
E6	16,7	9,33	3,26
E6'	15,6		3,21
E6''	16,3		3,66

Tabla 19: Temperatura

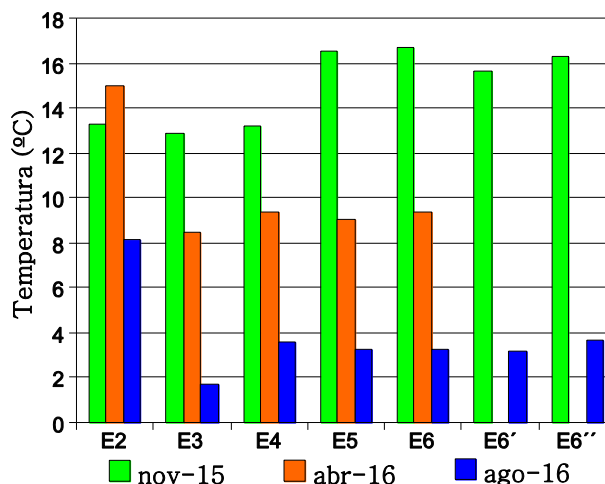


Gráfico 10: Evolución de la temperatura

La temperatura al ingreso de la laguna Nimez (Estación 2) fue igual o menor que en el resto de las estaciones en noviembre de 2015 y mayor que en el resto de las estaciones en abril y agosto de 2015. En el mes más frío, la temperatura de la E2 se mantuvo aún por encima de los 8°C. El promedio y la desviación estándar en esta estación fue de $12,15 \pm 3,57^{\circ}\text{C}$. Es decir, se mantuvo una inercia térmica al ingreso al sistema. Ya en la laguna, esta se incrementó hasta 16°C en noviembre y disminuyó a 9°C en abril y 3°C en agosto (Tabla 19 y gráfico 10).

pH

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	7,6	7,45	7,82
E3	9,4	7,47	9,52
E4	9,4	7,4	7,57
E5	10	7,42	8,02
E6	10	7,73	8,61
E6'	8,5		8,61
E6''	9,6		8,96

Tabla 20: Evolución del pH.

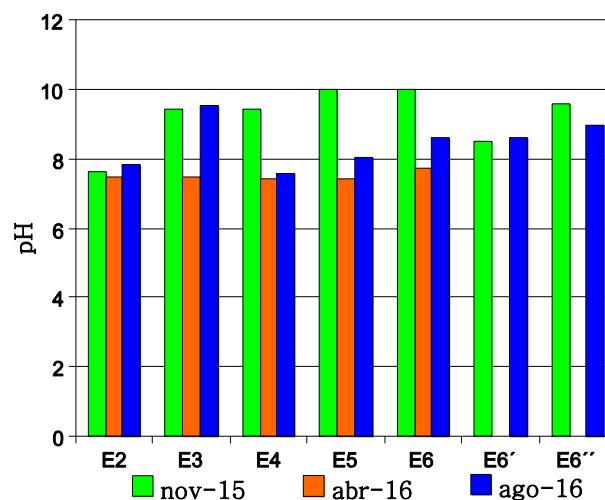


Gráfico 11: Evolución del pH

El pH tuvo valores cercanos a la neutralidad en la E2 ($7,62 \pm 0,18$). Mientras que en abril 2016 los valores se mantuvieron relativamente constantes en todo el sistema ($7,50 \pm 0,15$), en noviembre se incrementaron notablemente ($9,48 \pm 0,55$) y en agosto 2016 estos llegaron a $8,54 \pm 0,69$ en las estaciones de la Reserva. Esto implica una actividad/presencia máxima del fitoplancton durante noviembre, en menor medida en agosto y la más baja durante abril (Tabla 20 y gráfico 11).

Potencial Redox (mV)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	189	120,4	237
E3	203	143,1	59
E4	193	71	180
E5	130	130	258
E6	128	140	253
E6'	188		251
E6''	147		251

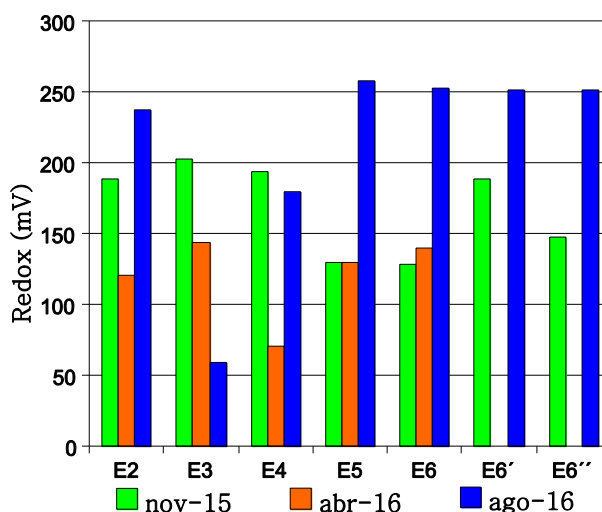


Tabla 21: Potencial Redox

Gráfico 12: Evolución del potencial Redox

Los valores observados fueron positivos, indicando condiciones óxicas en todo el sistema (Tabla 21 y gráfico 12). En noviembre 2015, los valores medios y las desviaciones estándar de las estaciones E3 a E6 fueron de 164 ± 34 mV; en abril 2016, algo más bajos (121 ± 34 mV), mientras que en agosto fueron los más elevados, con valores de 239 ± 33 mV.

Cuando se analizan las tres campañas realizadas, las desviaciones estándar fueron más importantes (Tabla 22).

	Promedio	Desviación estándar
E2	182	59
E3	173	42
E4	148	67
E5	173	74
E6	174	69
E6'	219	45
E6''	199	74

Tabla 22: Promedios y desviaciones estándar del potencial Redox en todas las estaciones.

Oxígeno disuelto (%)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	81	86	81
E3	125	70	173
E4	139	56	75
E5	149	89	113
E6	127	86	99
E6'	82		113
E6''	98		111

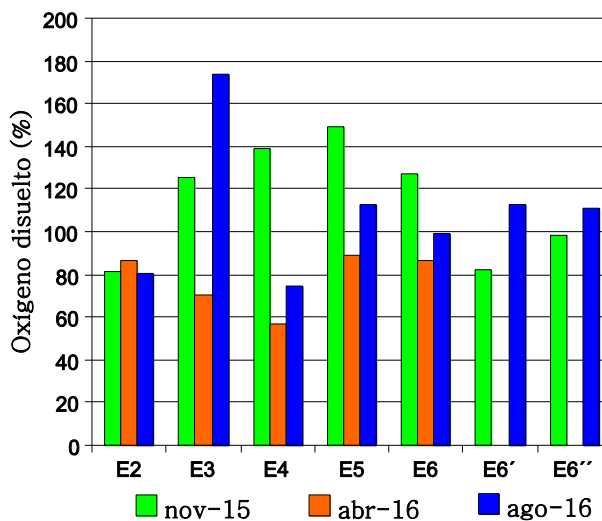


Tabla 23: Oxígeno disuelto

Gráfico 13: Evolución del oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en la E2 refleja la salida de la Planta de tratamiento. Los valores medios y su desviación estándar para las tres campañas han sido de $83 \pm 3\%$. Desde la E3 en adelante, la concentración de oxígeno disuelto se incrementó con valores de saturación en noviembre y agosto. El promedio y la desviación estándar han sido de $114 \pm 28\%$ en noviembre 2015, $76 \pm 13\%$ en abril de

2016 y $108 \pm 34\%$ en agosto de 2016. En abril se observaron los valores más bajos y en agosto las mayores variaciones entre estaciones (Tabla 23 y gráfico 13).

Cuando se analizan las tres campañas realizadas, los promedios y las desviaciones estándar de cada estación, mostraron las máximas variaciones en las estaciones $E3 > E4 > E5$ (Tabla 24).

	Promedio	Desviación estándar
E2	83	3
E3	123	52
E4	90	43
E5	117	31
E6	104	21
E6'	98	22
E6''	105	9

Tabla 24: Promedios y desviaciones estándar del oxígeno disuelto.

Conductividad específica ($\mu\text{Si}/\text{cm}$)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	540	523	502
E3	460	531	484
E4	459	540	523
E5	440	104	300
E6	399	41	s/d
E6'	120		303
E6''	258		187

Tabla 25: Conductividad específica

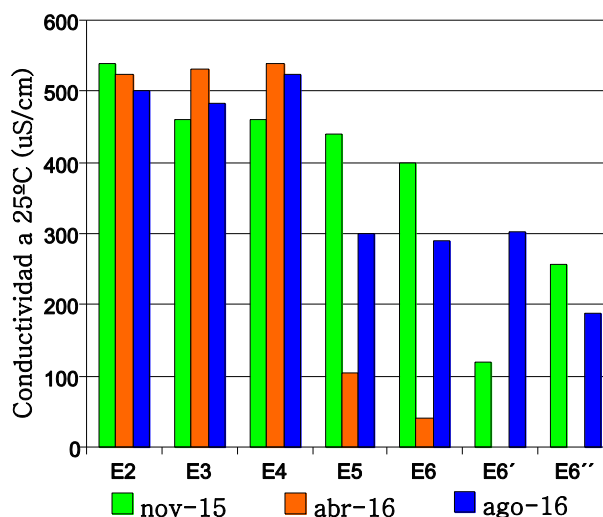


Gráfico 14: Evolución de la conductividad específica.

La conductividad específica mostró valores bastante estables en todo el sistema. Los valores medios y su desviación estándar para las tres campañas y todas las estaciones han sido de $340 \pm 31 \mu\text{Si}/\text{cm}$. Los valores más bajos se han observado en las estaciones E5 y E6, probablemente por aportes de aguas subterráneas o influencia del lago (104 y $41 \mu\text{Si}/\text{cm}$ para las estaciones E5 y E6 respectivamente en abril) (Tabla 25 y gráfico 14).

Sólidos

Sólidos totales (mg/l).

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	390	400	336
E3	371	323	270
E4	406	311	129
E5	431	90	358
E6	460	36	183

Tabla 26: Sólidos totales

En noviembre de 2015, los sólidos totales fueron máximos con concentraciones de 412 ± 35 mg/L en todas las estaciones de la Reserva; estos se asocian – sobre todo en las estaciones E3 a E6 - a la presencia de fitoplancton en alta densidad. En abril de 2016 los valores fueron muy diferentes dentro de la laguna (Estaciones E2, E3 y E4) en comparación con el lago Argentino (estaciones E5 y E6). Aun aquí se observaron diferencias entre la E5 (90 mg/L) de la E6 (36 mg/L), marcando la influencia que tiene la bahía Redonda en el Lago en esta época del año. En agosto de 2016 el valor medio y su desviación estándar fueron de 255 ± 98 mg/L. La variabilidad observada en esta campaña puede asociarse a la presencia de hielo en varias estaciones muestreadas (Tabla 26 y gráfico 15).

Sólidos suspendidos (mg/l).

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	44	94	67
E3	151	32	90
E4	95	37	57
E5	130	5	65
E6	131	2	38

Tabla 27: Sólidos suspendidos

En lo que respecta a los sólidos suspendidos (Tabla 27 y gráfico 15), las concentraciones en noviembre de 2015 fueron máximas. La mínima (44 mg/L) correspondió a la estación 2 (ingreso al sistema Nimez); la máxima (151 mg/L) en la estación E3, alejada del flujo natural del agua en la laguna

1. En abril de 2016, si bien al ingreso al sistema se observaron los valores más elevados para este mes, se midieron los mínimos de las tres campañas analizadas. El lago Argentino presentó los valores más bajos (5 y 2 mg/L en las estaciones E5 y E6 respectivamente). En agosto de 2016 se observaron valores intermedios. La estación E6 mostró los mínimos asociados a los mecanismos de dilución por la bahía Redonda.

Teniendo en cuenta la importancia relativa de los sólidos suspendidos en referencia a los sólidos totales, la tabla 28 muestra los porcentajes de sólidos suspendidos sobre los sólidos totales.

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	11	24	20
E3	41	10	33
E4	23	12	44
E5	30	6	18
E6	28	6	21

Tabla 28: Porcentajes de sólidos suspendidos sobre los sólidos totales

Los sólidos suspendidos están asociados no solamente a las concentraciones de fitoplancton sino también a la resuspensión de fango por la actividad de la avifauna y por procesos de mezcla asociados al viento.

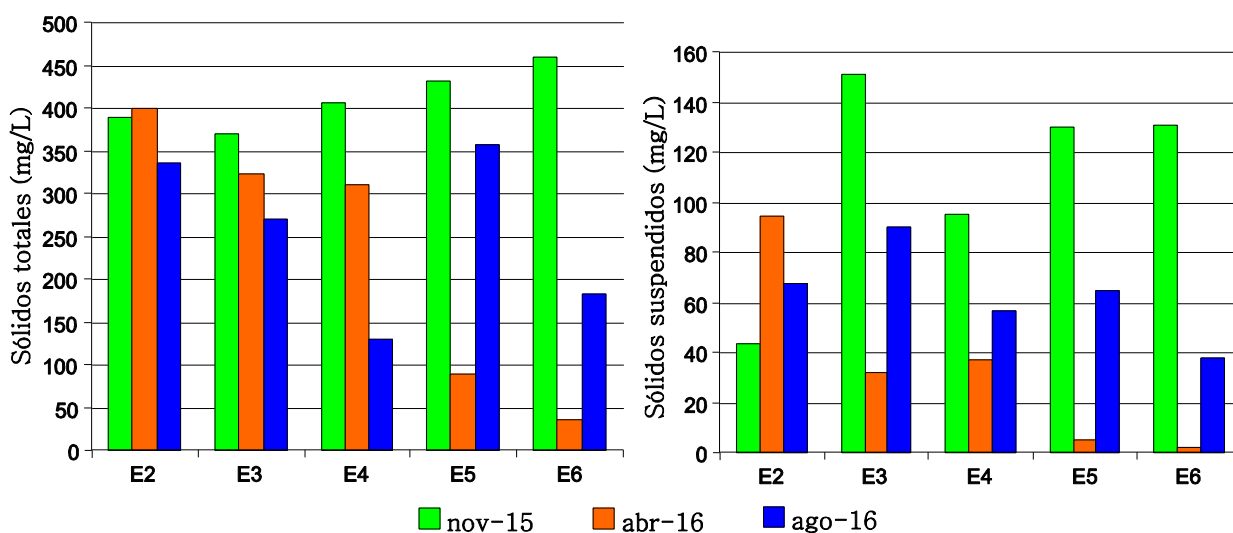


Gráfico 15: Evolución de los sólidos totales y suspendidos.

Sólidos sedimentables 10 minutos – 2 horas (ml/L)

La estación E2 mostró valores medibles en todas las campañas. Los sólidos sedimentables en 10 minutos y dos horas presentaron valores del orden de 1 ml/L o menores. La estación E3 solamente en agosto mostró también valores medibles. El resto de las estaciones y en las diferentes campañas, los valores fueron menores de 0,1 ml/L con excepción de la E6 en noviembre.

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	0,7 – 1,3	0,8 – 1,0	<0,1 – 0,4
E3	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1	0,3 – 0,9
E4	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1
E5	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1
E6	0,3 – 0,3	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1
E7	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1

Tabla 29. Sólidos sedimentables.

Clorofila "a" y feofitina ($\mu\text{g/L}$)

En lo que respecta a la clorofila "a", el mes de noviembre presentó los mayores valores, seguido por el mes de agosto; mientras que en abril se registraron los valores más bajos (Gráfico 16). La feofitina siguió un patrón similar al de la clorofila "a". El comportamiento general refleja que en los meses de primavera e invierno el sistema desarrolla una población importante de fitoplancton, mientras que en otoño predominan los procesos de oxidación de la materia orgánica disminuyendo la concentración de clorofila, que se mantiene con valores por debajo de los $250 \mu\text{g/L}$. Pearson (1996), considera que valores por encima de $300 \mu\text{g/L}$ reflejan un sistema de tratamiento lagunar saludable y ausencia de anaerobiosis.

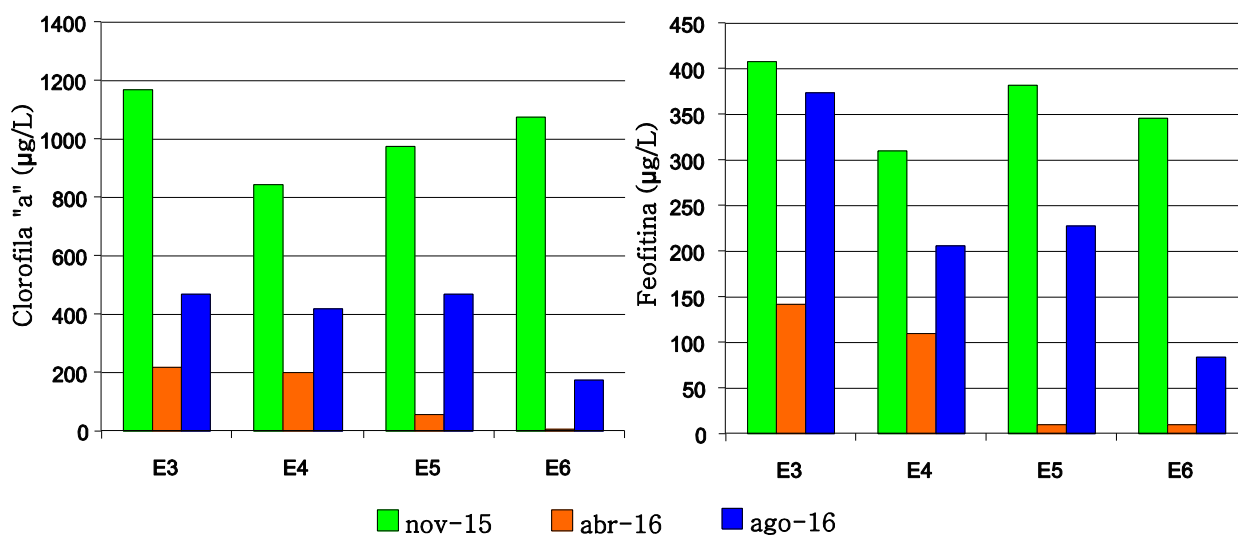


Gráfico 16: Evolución de la clorofila *a* y la feofitina.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (mg/L)

Demanda Bioquímica de Oxígeno total (DBO₅ total) (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	121,9	93,1	80,6
E3	33,0	23,6	27,3
E4	47,7	31,7	48,1
E5	40,5	3,0	36,7
E6	35,6	1,0	19,3

Tabla 30: Demanda Bioquímica de Oxígeno

El líquido tratado ingresó al sistema Nimez (E2) con valores máximos provenientes de la planta de tratamiento (Tabla 30 y gráfico 17). El valor medio y la desviación estándar observada para las tres campañas en la E2, fue de $98,6 \pm 21,2$ mg/L. Con excepción de la estación 2 para las tres campañas y las estaciones E5 y E6 para la campaña de abril de 2016 (3,0 y 1,0 mg/L), en el resto de las estaciones y para todas las campañas, el valor medio y la desviación estándar calculada fue de $34,4 \pm 9,5$ mg/L.

Demanda Bioquímica de Oxígeno filtrada (DBO₅ filtrada) (mg/L)

La DBO₅ filtrada es una indicación de la DBO₅ una vez eliminado el fitoplancton de la muestra por filtración, que aporta a la DBO₅ total. Los valores observados se observan en la Tabla 31 y gráfico 17, encontrándose en todo momento por debajo de 15 mg/L. Los valores mínimos correspondieron al lago Argentino, en las estaciones E5 y E6 de abril de 2016.

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E3	11,1	9,3	7,3
E4	14,8	15,2	12,7
E5	15,1	1,4	9,9
E6	13,3	0,8	6,6

Tabla 31: Demanda Bioquímica de Oxígeno filtrada

Comparando estos valores con la DBO total observada en cada estación, la disminución de la DBO real ha sido de $64,6 \pm 7,7$ mg/L.

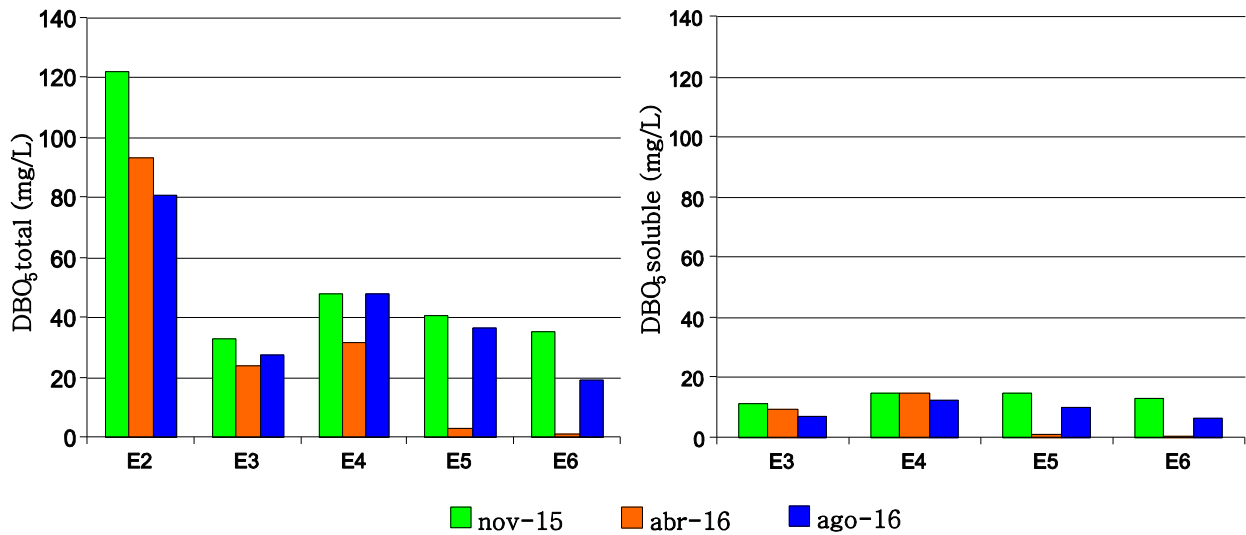


Gráfico 17: Evolución de la DBO₅ total y la DBO₅ filtrada

Bacteriología

Coliformes totales (NMP/100 ml)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	7,50E+06	8,85E+06	6,97E+06
E3	1,00E+01	7,50E+04	1,50E+03
E4	1,24E+05	8,85E+05	1,18E+06
E5	6,40E+01	2,96E+02	1,78E+05
E6	1,64E+02	2,00E+00	>2,00+04

Tabla 32: Coliformes totales

Escherichia coli (NMP/100 ml)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	2,00E+06	3,84E+06	2,38E+06
E3	1,00E+01	5,30E+04	1,64E+02
E4	4,20E+04	2,54E+05	4,06E+05
E5	5,30E+01	3,44E+01	1,24E+05
E6	2,00E+01	1,00E+00	>2,00+04

Tabla 33: *Escherichia coli*

Cómo leer estas concentraciones: 7,50+06 significa $7,50 \times 10^6$.

Como se comentó más arriba, la concentración de coliformes totales en la estación 2, al ingreso al sistema Nimez, se encontró en todas las campañas realizadas en el orden de 10^7 NMP/100 ml (NMP: número más probable). Lo mismo sucedió con la concentración de *Escherichia coli*, cuyas concentraciones se encontraron en el orden de 10^6 NMP/100ml.

La norma chilena (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2000), establece entre otros límites, los máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres. El límite máximo permisible es de 10^3 Colifecales/100 ml (equivalentes a *Escherichia coli* en este estudio). Los mismos valores establece la legislación Brasileira (CONAMA, 2005).

Ya en el sistema de lagunas, las concentraciones medidas de coliformes totales y *Escherichia coli* mostraron valores diferentes dependiendo de la época del año (Tabla 32, 33 y gráfico 18). En noviembre de 2015 (primavera), la atenuación fue notable, con concentraciones menores a 10^2 NMP/100 ml. Excepción: la estación E4 (10^4 NMP/100 ml) frente a la estación 2, con una neta influencia de esta última estación y un menor tiempo de estadía respecto a la estación 3. En abril de 2016 la atenuación fue muy baja y las concentraciones dentro del sistema Nimez disminuyeron a valores del orden de 10^4 y 10^5 NMP/100 ml tanto para coliformes totales como *Escherichia coli*, lo cual puede estar originado en la menor actividad del fitoplancton y en consecuencia valores de pH cercanos a la neutralidad (recordando que valores elevados de pH colaboran en los procesos de mortalidad bacteriana). En las estaciones E5 y E6, ubicadas en este mes en el lago Argentino, los valores fueron mínimos aunque se observaron diferencias entre E5 y E6, reflejando la influencia del sistema Nimez en la zona costera del Lago. En agosto de 2016, la atenuación en este sistema fue la menor encontrada en todos los estudios realizados y del orden de 10^5 NMP/100 ml, llegando a la estación 6 con valores del orden de 10^4 NMP/100 ml. Los valores mínimos observados fueron en la estación E3, que como hemos visto anteriormente presenta el menor flujo desde el canal de ingreso al sistema Nimez y además en agosto, se encontraba congelada (es decir, sin posibilidad de mezcla superficial por viento ni actividad de avifauna).

A partir de estos datos y tomando como un valor de *Escherichia coli* de 1000 NMP/100ml, se concluye que el sistema completo funciona como un eficiente sistema de desinfección en los meses de primavera, otoño y posiblemente verano (no medido), pero no durante el invierno.

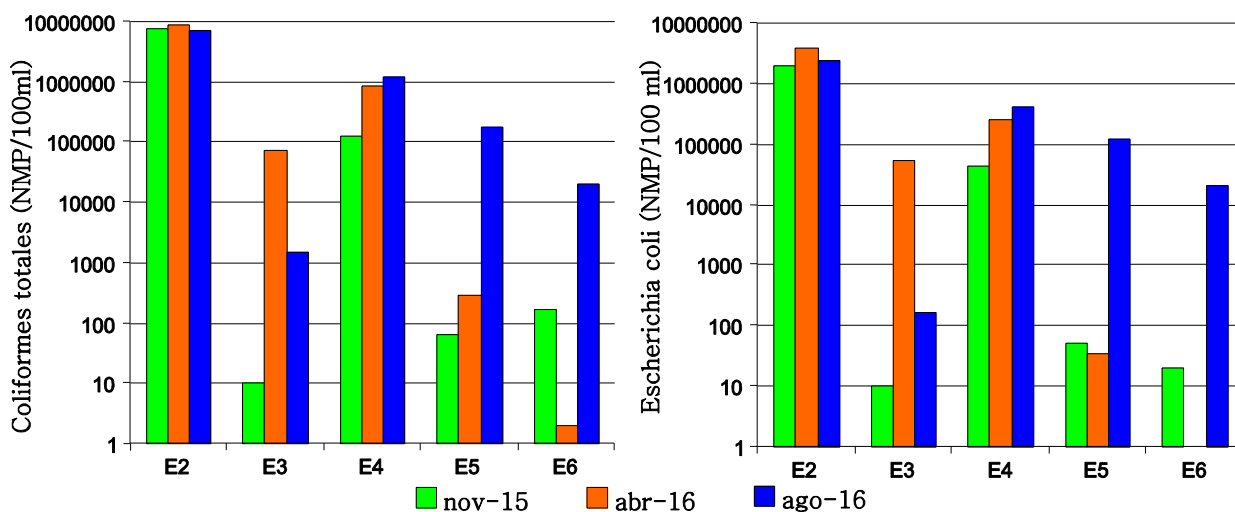


Gráfico 18: Evolución de la concentración de coliformes totales y *Escherichia coli*. Obsérvese que la escala de ordenadas se encuentra en escala logarítmica.

Huevos de parásitos

Desde el sistema de tratamiento, en los meses de noviembre y abril fueron vertidos huevos de parásitos hacia el sistema Nimez (2,5 y 1,2 huevos por litro respectivamente); mientras que no fueron detectados en el muestreo de agosto. A pesar de esto, dentro de los otros dos puntos del sistema Nimez donde se tomaron muestras (E4 y E6), no se detectaron huevos de parásitos en ninguno de los muestreos (Tabla 34). Esto concuerda con lo esperado, ya que el tiempo de estadía prolongado colabora en que los huevos de parásitos que puedan ingresar al sistema, sedimenten debido a su peso específico y sean eliminados del agua superficial.

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	2,5	1,2	nd
E4	nd	nd	nd
E6	nd	nd	nd

Tabla 34: Huevos de parásitos

Nutrientes inorgánicos (Nitrógeno; Fósforo)

Fosfato (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	1,24	1,99	1,22
E3	0,93	2,09	0,85
E4	0,86	2,23	0,89
E5	0,76	0,23	0,78
E6	0,67	0,29	0,71

Tabla 35: Fosfato

Hubo un comportamiento diferente del fosfato de acuerdo a la época del año. En noviembre de 2015, los valores más elevados se observaron en el ingreso al sistema Nimez; luego se consumió en todas las estaciones restantes; comparando con la E2, esta disminución se incrementó desde la un 25% en la E3; 41% en la E4; 56% en E5 y alcanzó 75% en E6, producto probablemente de la combinación de consumo y dilución con agua de la bahía Redonda. En abril la situación fue diferente. Hubo síntesis de fosfato en las estaciones E3 y E4, en el orden del 5% y 12%. La E5 y E6 reflejaron la situación en el lago Argentino con valores menores (Tabla 35 y gráfico 19).

Nitrito (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	0,004	0,028	0,026
E3	0,027	0,005	0,023
E4	0,014	0,004	0,025
E5	0,017	0,010	0,032
E6	0,028	0,002	0,032

Tabla 36: Nitrito

La concentración de nitrito fue baja en noviembre en la E2 (0,004); luego se incrementó a valores de $0,018 \pm 0,010$ mg/L, relacionado con procesos de oxidación de materia orgánica. En abril la situación fue inversa con valores más elevados en E2 (0,028 mg/L) y cierto consumo en las estaciones restantes (E3 y E4). E5 y E6 se encontraron dentro del Lago y las concentraciones reflejaron los valores habituales en aguas del Lago. Se observaron valores más elevados en E5 que en E6 relacionado

probablemente con la influencia de la bahía Redonda. En agosto no hubo variaciones importantes en todas las estaciones. El valor promedio y la desviación estándar para todas las estaciones fue de $0,028 \pm 0,004$ mg/L (Tabla 36 y gráfico 19).

Nitrato (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	0,014	0,017	0,373
E3	0,097	0,023	0,218
E4	0,042	0,005	0,060
E5	0,109	0,024	0,068
E6	0,043	0,008	0,006

Tabla 37: Nitrato

De la misma manera que en el caso de nitrito, en noviembre el nitrato fue bajo en la E2 (0,014 mg/L) y se incrementó en las estaciones restantes con un valor promedio de $0,073 \pm 0,036$ mg/L. En abril las concentraciones fueron menores en todas las estaciones ($0,016 \pm 0,009$ mg/L). Se observó la misma evolución las estaciones E5 y E6, muestreadas en el lago Argentino, con valores de 0,024 y 0,008 mg/L respectivamente. En agosto la concentración en E2 fue máxima (0,373 mg/L); se mantuvo elevada en E3 (0,218 mg/L) que se mantenía congelada y disminuyeron en E4 y E5. En E6 los valores fueron mínimos y comparando con la E5, reflejan la influencia de la bahía Redonda en el lago Argentino (Tabla 37 y gráfico 19).

Nitrato + Nitrito (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	0,02	0,045	0,40
E3	0,12	0,028	0,24
E4	0,06	0,009	0,08
E5	0,13	0,034	0,10
E6	0,07	0,010	0,04

Tabla 38: Nitrato + nitrito

En el mes de noviembre de 2015, el nitrato mostró concentraciones del orden de 78% de la suma de nitrato más nitrito en las estaciones E2 y E3. En la Reserva, se ha observado síntesis de nitrato más nitrito, asociado a procesos de oxidación de materia orgánica ($0,080 \pm 0,046$ mg/L). En abril de 2016 (Estación E2), la concentración de nitrato fue del orden del 39% de la suma de nitrato + nitrito; para el resto de las estaciones, el nitrato fue del orden del 60% de la suma de nitrato + nitrito ($0,025 \pm 0,015$ mg/L). En agosto de 2016, las concentraciones de nitrato fueron muy superiores a la de nitrito

(90 y 93% en las estaciones E2 y E3 respectivamente). Las concentraciones fueron las más importantes observadas en E2 y E3 (0,40 y 0,24 mg/L respectivamente) y disminuyeron en el resto de las estaciones a valores de $0,007 \pm 0,003$ mg/L. En la E6, reflejo del sistema Nimez y bahía Redonda, la concentración observada en todos los muestreos fue de $0,004 \pm 0,003$ mg/L (Tabla 38 y gráfico 19).

Amonio (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016
E2	19,07	18,86	21,37
E3	3,85	12,99	13,59
E4	2,84	17,29	16,13
E5	1,35	1,08	15,25
E6	0,90	0,16	6,3

Tabla 39: Amonio

El amonio se ha consumido de manera importante en noviembre en todo el Sistema (entre 80 y 95% menos en referencia a la estación E2); En abril de 2016, la concentración ha sido más elevada en E2, E3 y E4. Las estaciones E5 y E6, como reflejo de las condiciones del lago Argentino, mostraron valores de 1,08 y 0,16 mg/L respectivamente. En agosto de 2016 se observaron concentraciones elevadas en el sistema Nimez ($16,6 \pm 3,36$ mg/L). Nuevamente la E6 reflejó la condición de toda la bahía Redonda (6,3 mg/L). Como se podía esperar, la participación del amonio a la suma de los compuestos inorgánicos del nitrógeno ha sido superior al 98% en noviembre 2015 en E2, E3 y E4; 91 y 93% en E5 y E6 respectivamente. En abril 2016 prácticamente el 100% ha sido como forma de amonio y en agosto, entre 98 y 99% (Tabla 39 y gráfico 19).

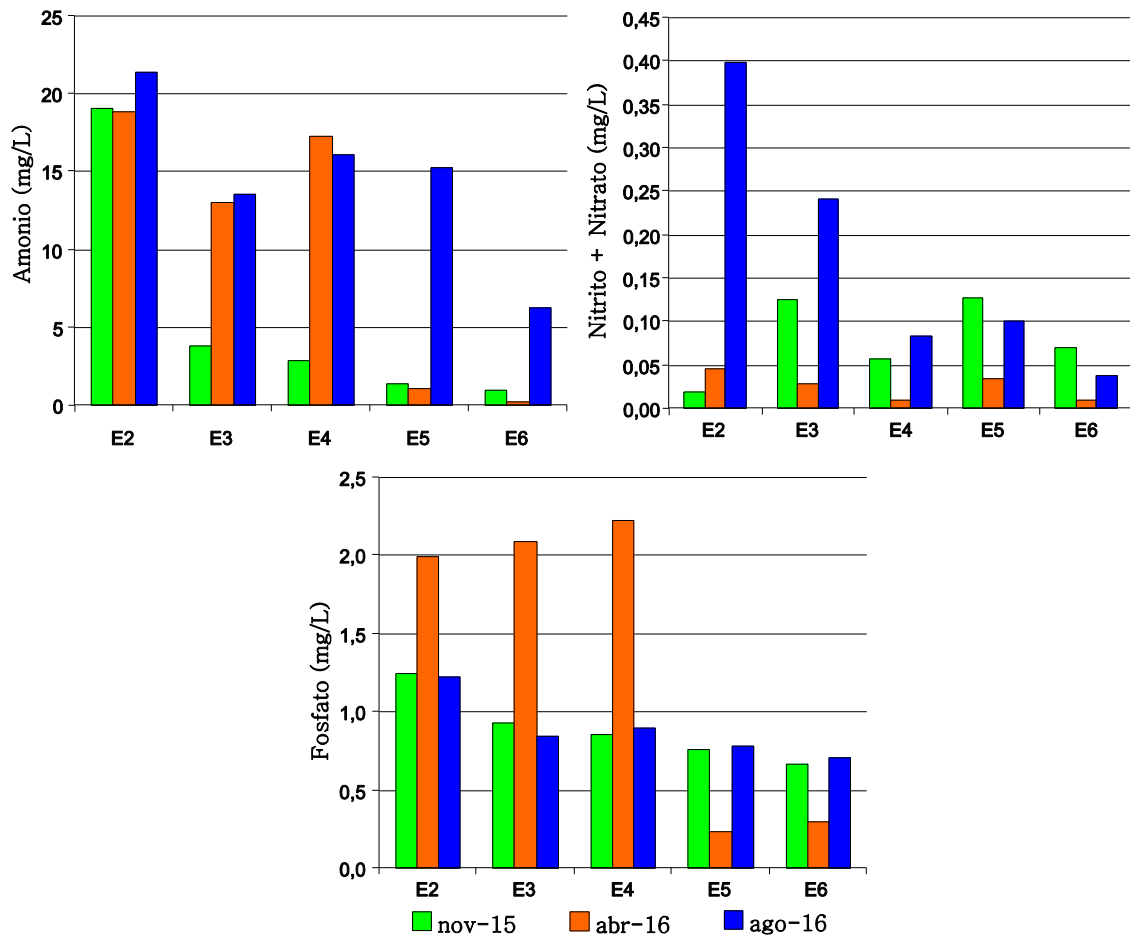


Grafico 19: Evolución de los nutrientes inorgánicos (N y P).

3. Estudios adicionales

a. Arroyo Calafate

La temperatura en las tres campañas ha seguido las condiciones de cada estación analizada. Los valores mínimos (2,2 °C) en invierno, con zonas del arroyo congeladas, el otoño (8,41°C) con valores que reflejan aun los valores elevados del verano y primavera con valores intermedios de 6,4°C y en descenso. El pH no se ha modificado mayormente. Los mayores valores (8) en primavera, se relacionan con el incremento de la productividad primaria. Los mínimos se registraron en invierno (7,85). El potencial redox mostró condiciones aeróbicas con máximos en primavera y mínimos en invierno, siguiendo a los valores de pH. El oxígeno disuelto mostró una ligera insaturación en todas las campañas realizadas, aunque los valores fueron similares en las distintas campañas. La conductividad y los sólidos mostraron una cierta variabilidad en las diferentes campañas, aunque sus valores fueron muy bajos en comparación a los observado en el sistema Nimez. La DBO₅ presentó valores bajos y típicos de un arroyo sin impactos orgánicos notables. La bacteriología marcó sin embargo la existencia de aportes externos, con concentraciones que variaron entre 10³ y 10⁴ NMP/100 ml de coliformes totales y entre 10² y 10³ NMP/100 ml. de *Escherichia coli*. La clorofila y los nutrientes disueltos (nitrato, nitrito, amonio, fosfato), fueron bajos en todas las campañas y reflejaron la existencia de un arroyo en buen estado de salud (Tabla 40).

El arroyo Calafate, como tributario a la bahía Redonda y lago Argentino, transcurre durante parte de su trayecto dentro de la ciudad de Calafate. Sus características químicas generales reflejaron un arroyo en buen estado de salud, si bien algunos parámetros biológicos, como la bacteriología, mostraron ya la influencia de la Ciudad.

E7	Nov-15	Abr-16	Ago-16
Temperatura (°C)	6,4	8,41	2,17
pH	8	7,97	7,85
Redox (mV)	221	145,4	89,3
Oxígeno disuelto (%)	79	80	73
Conductividad específica (µSi/cm)	119	380	286
Sólidos disueltos totales	0,077	0,247	0,33
Sólidos suspendidos (mg/L)	2,7	3,5	3,6
Sólidos totales (mg/L)	108,5	248,8	306,4
DBO total	1,3	1,91	4,1
Coliformes totales (NMP/100 ml)	1,30E+04	1,64E+03	4,06E+04
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	4,53E+03	4,20E+02	2,19E+04
Clorofila (µg/L)	4,8	4,8	4,9
Feofitina (µg/L)	0,9	3,4	1,2
Fosfato (mg/L)	0,10	0,05	0,21
Amonio (mg/L)	0,04	0,14	1,5
Nitrato + Nitrito (mg/L)	0,03	0,052	0,34

Tabla 40: Datos observados en el arroyo Calafate

b. Análisis de Radón

El Radón (^{222}Rn), es un trazador no reactivo y con un bajo tiempo de vida media ($t_{1/2}$: 3,8 días). Hijo del ^{226}Ra ($t_{1/2}$: 1600 años), su movilidad es alterada en función de las propiedades químicas de los gases nobles; siendo así, cualquier aumento en la actividad de este elemento en la región, por encima de la actividad de su padre puede indicar la presencia de procesos advectivos (Moore y Shaw, 2008).

Para analizar la existencia de surgencia de agua subterránea al sistema lagunar, se tomaron muestras de manantiales diferentes en la Reserva o en la bahía Redonda. Se ha analizado la laguna de Shrek y la casa Verde en las tres campañas realizadas, mientras que la denominada lagunita de los patos, dentro de la Reserva, un pozo de agua dulce y el arroyo Calafate antes de su ingreso a la Ciudad.

i. Laguna de Shrek

La denominada Laguna o Pantano de Shrek se ubica dentro de la Reserva. Se trata de un manantial permanente que drena agua hacia el sistema Nimez.

La actividad de radón observada fue similar en los tres muestreos, con niveles de actividad del orden de los 2000 Bq/m³ (Tabla 41). Esta es una indicación de ingreso de agua desde napas más profundas y más lejanas. La temperatura fue similar en noviembre 2015 y abril de 2016 (8,1 y 7,7 °C respectivamente) y algo más baja (3,6°C) en agosto. El oxígeno disuelto mantuvo una insaturación entre 63% y 67%. Esta insaturación y los altos valores de radón confirman la existencia de un flujo importante de agua subterránea que aparece en este manantial. La conductividad específica y los sólidos totales disueltos han mostrado valores muy constantes durante todos los muestreos.

Laguna Shrek	Nov-15	Abr-16	Ago-16
Radon (Bq/m ³)	2.177 ± 179	2.290 ± 810	2560 ± 263
Temp (°C)	8,1	7,69	3,6
Oxígeno disuelto (%)	63	66	67
Cond. Esp. (μS/cm)	450	446	448
SDT (mg/L)	0,293	0,29	0,291
Redox (mV)	283,8	658,5	132,8
pH	8,4	7,73	7,3

Tabla 41: Datos observados en la laguna Shrek

ii. Casa Verde

La actividad de radón observada fue menor que en el manantial de Shrek y con niveles de actividad del orden de 1100 Bq/m³. Las actividades fueron similares en los tres muestreos. Esta es una indicación de ingreso de agua desde napas más profundas y más lejanas. La temperatura mostró mayor

amplitud con valores de 12,5°C en noviembre 2015, 5,85°C en abril de 2016 y 2,56°C en agosto. El oxígeno disuelto se mantuvo entre 80% y 90% de saturación. En este caso, existe un flujo de agua subterránea, aunque este es menor que en el caso anterior. La conductividad específica y los sólidos totales disueltos han mostrado valores constantes durante todos los muestreos (Tabla 42).

Casa Verde	Nov-15	Abr-16	Ago-16
Radon (Bq/m ³)	1.190 ± 183	1520 ± 197	2210 ± 245
Temp (°C)	12,3	5,85	2,56
Oxígeno disuelto (%)	86,8	82,8	90,2
Cond. Esp. (µS/cm)	298	334	291
SDT (mg/L)	0,193	0,217	0,189
Redox (mV)	209,7	546,3	149,2
pH	7,73	7,8	7,24

Tabla 42: Datos observados en Casa Verde

iii. Pozo de agua dulce

Esta muestra fue tomada en el mes de abril de 2016. Los valores de radón, fueron del mismo orden de magnitud que los observados en la casa Verde, reflejando también un flujo de agua subterránea al Lago. La temperatura más elevada (9,4°C), oxígeno disuelto de 78%, conductividad específica algo mayor (800 µS/cm), indican que este flujo es diferente al observado en el mismo mes en casa Verde (Tabla 43).

Pozo agua dulce	
Radon (Bq/m ³)	1.270 ± 203
Temp (°C)	9,4
Oxígeno disuelto (%)	78,3
Cond. Esp. (µS/cm)	799
SDT (mg/L)	0,52
Redox (mV)	557,1
pH	7,96

Tabla 43: Datos observados en pozo de agua dulce

iv. Lagunita de los patos

Esta muestra fue tomada en el mes de noviembre de 2016. Los valores de radón, fueron bajos (354 Bq/m³). La temperatura de 8 °C, oxígeno saturado en 100% y otros valores similares a los observados en aguas superficiales, indican que este manantial toma solamente agua superficial (Tabla 44).

Lagunita de los Patos	
Radon (Bq/m ³)	354 ± 105
Temp (°C)	8,3
Oxígeno disuelto (%)	99,7
Cond. Esp. (μS/cm)	561
SDT (mg/L)	0,365
Redox (mV)	273,8
pH	7,45

Tabla 44: Datos observados en lagunita de los patos

v. Arroyo Calafate arriba

Esta muestra fue tomada en el mes de agosto de 2016, con intenciones de conocer las condiciones del Arroyo antes del ingreso a la Ciudad. Los valores de radón, fueron bajos y del orden de 139 ± 21 Bq/m³. La temperatura reflejó el período del año (0,5 °C), el oxígeno saturado en 100%, la conductividad específica de 326 μS/cm, bajos valores de sólidos totales disueltos. El pH mostró valores algo elevados provenientes probablemente de las capas sedimentarias por donde el arroyo pasa (Tabla 45).

Arroyo Calafate arriba	
Radon (Bq/m ³)	139 ± 21
Temp (°C)	0,47
Oxígeno disuelto (%)	102,8
Cond. Esp. (μS/cm)	326
SDT (mg/L)	0,212
Redox (mV)	252
pH	8,46

Tabla 45: Datos observados en el arroyo Calafate antes de su llegada a la Ciudad.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

1. Sistema cloacal y Planta de Tratamiento.

El tratamiento de los efluentes urbanos en la Planta de Tratamiento es insuficiente. Esto se ha manifestado ya en el año 2005 y se ha confirmado durante las campañas realizadas. El vuelco en el Sistema Nimez llega con alta carga bacteriana, elevada materia orgánica, bajo oxígeno, amonio elevado, olor sui generis, alta turbidez. La carga bacteriana excede los límites establecidos por la legislación ambiental nacional e internacional sobre vertidos a cuerpos de agua naturales. El sistema Nimez completa el tratamiento tanto secundario (degradación de la materia orgánica y mortalidad bacteriana) como terciario (absorción de nutrientes minerales).

Respecto al oxígeno disuelto en el líquido crudo al ingreso a la Planta mostró concentraciones de oxígeno disuelto del orden del 70%, más elevado respecto a lo habitual. Una explicación podría ser el ingreso de pluviales al Sistema y/o un exceso en el consumo de agua en los domicilios.

A la salida, es decir, al ingreso a la laguna Nimez, los valores se incrementaron a más del 80% de saturación, con muy pocas variaciones en las tres campañas. Este incremento del oxígeno disuelto y eficiencias de remoción de la DBO₅ menores del 30% (en agosto solamente del 4%), muestra un tiempo de estadía bajo a muy bajo en la Planta. La atenuación bacteriológica ha sido prácticamente inexistente, debido a la falta de cloración. Contrariamente a lo esperable, el fosfato, el nitrato, el nitrito, el amonio, han mostrado un consumo en la Planta. Esta disminución nos induce a pensar que la oxidación de la materia orgánica es muy baja o inexistente. Esta observación es coincidente con los valores de oxígeno disuelto y DBO₅ comentados más arriba.

La remoción del contenido de barros que se han acumulado desde el inicio de la operación de la Planta (lo cual reducía el volumen efectivo de las cubas) sumado al proceso de modificación del sistema de aireación en las piletas existentes que están en marcha, seguramente mejorará la eficiencia de la Planta, aunque esta mejora debe estar asociada con la puesta en marcha del nuevo sistema de tratamiento para poder tratar de manera eficiente la totalidad de los efluentes urbanos.

2. Sistema laguna Nimez

El sistema Nimez completa el tratamiento tanto secundario (degradación de la materia orgánica y mortalidad bacteriana) como terciario (absorción de nutrientes minerales). Sin embargo, este sistema se ha comportado de manera diferente en los meses analizados. En noviembre (primavera) el funcionamiento fue eficiente en la remoción de materia orgánica, con valores elevados de pH, de oxígeno disuelto, disminución importante de coliformes totales y *Escherichia coli*, consumo de fosfato y amonio y producción de nitrato.

En abril los valores de oxígeno disuelto disminuyeron a valores del orden de 60% y se ha observado una disminución importante de clorofila "a" y menor consumo de nutrientes (nitrógeno y fósforo), reflejando una reducción de la productividad primaria en el Sistema. En esta época en la laguna Nimez (E3), se registró la mayor concentración de coliformes totales y *Escherichia coli* (comparando los tres muestreos), aunque al transcurrir el líquido por la laguna Dos (E5) los valores disminuyeron por debajo de 100 NMP/100ml. No hubo marcadas diferencias en cuanto al contenido de materia orgánica, con valores de DBO₅ total y de DBO₅ soluble por debajo de 40 y 20 mg/L, respectivamente.

Agosto constituyó el mes más frío analizado con temperatura media del agua de 3°C. Algunas estaciones se encontraban congeladas, inhibiendo los procesos de mezcla por viento o por actividad de la avifauna y mostrando las mayores variaciones de oxígeno disuelto entre estaciones. La DBO₅ también reflejó esta variación, con disminución del 40% en la E4, y 66% en la E3, en relación a la E2. Sin embargo, la E3 presentó una remoción bacteriana superior a la del mes de abril mientras que la concentración de coliformes totales y *Escherichia coli*, mantuvo el mismo orden de magnitud entre las estaciones E2 y E4. Los coliformes totales bajaron un orden de magnitud entre las estaciones E4 y E5, mientras que *Escherichia coli* mantuvo los mismos valores.

3. Arroyo Calafate.

El arroyo Calafate, como tributario a la bahía Redonda y lago Argentino, transcurre durante parte de su trayecto dentro de la ciudad de Calafate. Sus características químicas generales reflejaron un arroyo en buen estado de salud, si bien algunos parámetros biológicos, como la bacteriología, mostraron ya la influencia de la Ciudad.

En el agua del arroyo Calafate, fue mínima la presencia de materia orgánica, con una DBO₅ total menor a 1,5 mg/L en noviembre, 2 mg/L en abril y 4 mg/L en agosto. En noviembre los sólidos totales presentaron el valor mínimo (108 mg/L), aunque en abril aumentaron a 250 mg/L y en agosto, 306 mg/L. En noviembre, el arroyo Calafate mostró concentraciones de coliformes totales y de *Escherichia coli*, del orden de 13000 y de 4500 NMP/100 ml, respectivamente; en abril, fueron de 1640 y de 420 NMP/100 ml mientras que en agosto se elevaron nuevamente a 40000 y 22000 coliformes totales y *Escherichia coli*, respectivamente. Si bien estos valores constituyen un indicador de contaminación

bacteriológica aguas arriba del punto de muestreo, muestran una variabilidad importante de su concentración. Los valores de clorofila "a" se han mantenido bajos en ambos muestreos. En cuanto a las concentraciones de amonio, nitrato+nitrito y fosfato, éstas fueron muy bajas en los meses estudiados.

4. Interacción entre el Sistema laguna Nimez, la bahía Redonda y el Lago Argentino

El encuentro entre el sistema Nimez (SN) y la bahía Redonda (BR) se ha detectado claramente en algunos parámetros en las estaciones E6 y E6'. En noviembre el pH fue de 10 en el SN y 8,5 en BR; el oxígeno disuelto se encontraba sobresaturado en SN (127%) y algo menor en BR (82%); la conductividad específica fue de 399 en SN a 120 en BR. Aunque no hubo otros parámetros medidos como la clorofila, la bacteriología, los nutrientes, esta es una indicación clara de alta producción primaria en SN para este mes. La E6'' unifica ambos flujos y homogeneiza estos valores antes de su llegada al lago Argentino. En agosto no se observaron variaciones notables de los parámetros medidos entre la E6, E6' y E6''.

Los únicos muestreos realizados por nosotros en el lago Argentino, han sido en abril de 2016. Los dos lugares seleccionados (Estaciones E5 y E6) correspondían a los mismos lugares en donde se muestreó en el mes de noviembre y agosto. En esos meses, el sistema bahía Redonda – laguna Nimez aporta al Lago, que se encuentra bajo, mientras que en abril el nivel del Lago alcanzó su cota máxima anual, ingresando al sistema bahía Redonda – laguna Nimez y generando procesos de dilución importantes.

El lago Argentino mostró los menores valores de conductividad. La estación E5 con valores que duplicaron los observados en la estación E6 (104 $\mu\text{Si}/\text{cm}$ contra 41 $\mu\text{Si}/\text{cm}$). Lo mismo fue observado con los sólidos totales (89,6 y 36,4 mg/L en las estaciones 5 y 6 respectivamente). La DBO_5 fue mínima, con valores de 3 mg/L para E5 y 1 mg/L para la E6. Desde el punto de vista bacteriológico, los valores se encontraron por debajo de 300 NMP/100 ml; es decir, rendimientos superiores a 99,95 % en ambas estaciones. Los componentes de nitrógeno mostraron también diferencias entre las estaciones E5 y la E6. En la primera se observó la influencia del sistema costero bahía Redonda – laguna Nimez, con valores de amonio de 1 mg/L y de nitrato + nitrito de 0,034 mg/L. En la estación E6, el amonio se encontró un orden de magnitud menor (0,16 mg/L) y el nitrato + nitrito con valores de 0,01 mg/L.

A partir de estos datos, se concluye que el sistema funciona como sistema de tratamiento en los meses de primavera y posiblemente verano (no medido), pero no en otoño o invierno en donde los procesos biológicos son más lentos e impactan en el lago Argentino.

REFERENCIAS

- Ampuero C., Cáceres A.P., Frías P., Sáenz J. L. Y Triviño G. 2014. Percepción de problemas urbanos de El Calafate, Santa Cruz, Argentina. *Contribuciones Científicas GÆA*. Vol. 26 : 49-64. Universidad Nacional de la Patagonia Austral – Unidad Académica Río Gallegos
- APHA, 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington, DC.
- CONAMA, 2005. Conselho nacional do meio ambiente. Resolução No 357, DE 17 DE MARZO DE 2005. http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res_conama_274_00.pdf (revisado setiembre 2005).
- Esteves José Luis y Faleschini Mauricio. 2005. Impacto de la ciudad de Calafate por vertidos provenientes de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Informe Técnico Fundación Patagonia Natural. Noviembre 2005. 19 pp.
- INDEC, 2005. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Argentina. http://www.indec.mecon.ar/censo2001s2_2/datos/780000c111.xls (revisada el 11-2005).
- La Valle, M. (2012). “Laguna Nimez y planta de tratamiento de aguas cloacales: ¿Una simbiosis necesaria?”. Trabajo de materia: Problemática Ambiental y Desarrollo Sustentable. Licenciatura en Geografía.moore
- Mendoza 1996. Resolución N° 35/96 Ente Provincial de Agua y Saneamiento). www.epas.mendoza.gov.ar
- Metcalf & Eddy, 1996. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª edición. Mc Graw Hill ed. Tomo 1. 752 pp.
- Moore W.S. and Shaw T.J., 2008. Fluxes and behavior of radium isotopes, barium, and uranium in seven Southeastern US rivers and estuaries. *Marine Chemistry* 108: 236–254.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2000. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Norma chilena (D.S. N° 90/2000 del (DO 7.03.2001). Máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres. <http://www.leychile.cl/N?i=182637&f=2001-03-07&p=>
- Pearson H.W. (1996). Expanding the horizons of technology and application in an environmentally conscious world. *Water science and technology*, 33 (7) : 1-9.
- Provincia de Santa Cruz, 1996. Ley N° 1451. Estudio, uso y preservación de las aguas públicas provinciales no marítimas. Disposición 4/1996. Anexo II. Tablas de parámetros y sus límites

permisibles de vuelco en cada cuerpo receptor.

<http://www.dsostenible.com.ar/leyes/santacruzdispos4.html> (revisado noviembre 2005).

Unión Europea. 1991. COUNCIL DIRECTIVE. Directive 91/271/EEC. of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC).

<http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-urbanwaste/directiv.html> (revisado: setiembre 2005).

ANEXO 1. ANÁLISIS DE FITOPLANCTON EN CALAFATE.

Dra Norma Santinelli y Lic. Viviana Sastre.

Laboratorio de Hidrobiología. Facultad de Ciencias Naturales. Sede Trelew. Universidad Nacional de la Patagonia

Se analizaron 3 muestras correspondientes a las Estaciones E4, E5 y bahía Redonda. Las muestras fueron fijadas con lugol. La muestra de bahía Redonda se tomó en la rotonda a la altura de los juegos para niños.

La composición de la comunidad fitoplanctónica se observa en la Tabla 1

ESPECIES IDENTIFICADAS	E4	E5	Bahía Redonda
CLASE COSCINODISCOPHYCEAE			
<i>Aulacoseira granulata var angustissima</i>			X
<i>Melosira varians</i>		X	
CLASE MEDIOPHYCEAE			
<i>Cyclotella spp</i>		X	X
CLASE BACILLARIOPHYCEAE			
<i>Ulnaria ulna</i>		X	X
<i>Cocconeis placentula</i>		X	
<i>Cymbella cymbiformis</i>		X	X
<i>Navicula sp</i>		X	
<i>Cocconeis sp</i>			X
<i>Pinnularia sp.</i>			X
<i>Nitzschia sp</i>		X	X
<i>Céntricas s/i</i>		X	
Pennadas s/i (chicas)	X	X	X
CLASE CHLOROPHYCEAE			
<i>Chlamydomonas aff gracilis</i>		XXX	
<i>Ankistrodesmus sp</i>		X	
Clorofíceas Oedogoniales			X
CLASE EUGLENOPHYCEAE			
<i>Euglena sp</i>	XXXX	XXX	X
<i>Euglena sp1</i>		X	
CLASE CYANOPHYCEAE			
<i>Oscillatoria limosa</i>			X
<i>Oscillatoria sp</i>			X

Observaciones: X Presencia. XXX Muy Abundante. XXXX Floración

La composición de la comunidad fitoplanctónica en la estación E4 consiste en una floración de una Euglenophyceae *Euglena* sp que prácticamente se halla en estado unialgal. En la estación E5 sigue siendo muy abundante pero codominante con una especie de Chlorophyceae *Chlamydomonas* aff *gracile*, observándose varias especies de diatomeas. En la estación bahía Redonda se observa una mayor diversidad con más clases algales representadas, con dos especies de Cyanophyceae.

Conclusión

El desarrollo de fitoplancton en el sistema es fundamental para lograr una buena oxigenación del líquido y conseguir así un tratamiento más efectivo. Por este motivo, la radiación solar es un factor clave en el tratamiento, ya que influye directamente en la tasa fotosintética. La estación E4 mostró una dominancia de euglenofíceas características de sistemas de lagunas altamente eutrofizados, con alto contenido de nutrientes. En la estación E5 se agregaron las clorofíceas características de sistemas de lagunas de estabilización altamente eutrofizados con alto contenido en nutrientes.

No se observaron en las muestras, analizadas especies de cianofíceas productoras de toxinas que pudieran representar un riesgo para la fauna.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones más importantes que surgen de este estudio se presentan en forma sumaria para una mejor comprensión. Están basadas en los resultados y conclusiones más importantes obtenidos a lo largo de tres muestreos. Cada una de ellas puede ser tomada de manera aislada o en su conjunto. Algunas son de relativamente fácil implementación; otras, más complejas, requieren del aporte de la comunidad y de presupuestos adecuados. Creemos que Calafate como ciudad en crecimiento continuo y con destino turístico importante, debería poseer una planta de tratamiento que mejore la calidad del líquido tratado, independientemente del destino final que se le dé al mismo.

- Limitar el consumo de agua. Consideramos que el impacto actual de los efluentes urbanos de la ciudad de Calafate sobre el Lago Argentino es incipiente. Sin embargo, a juzgar por el incremento poblacional que está teniendo esta zona, es claro que el impacto se incrementará en igual medida. El sistema Nimez actúa como sistema intermediario obligatorio durante algunos meses de primavera y posiblemente en verano, pero no sucede lo mismo en otoño e invierno. Se hace necesario entonces un control del agua, antes, durante y después del proceso de purificación.

- Reutilizar el agua. Debería reutilizarse toda el agua tratada, dejando fluir hacia el sistema Nimez aquella necesaria para mantener los humedales. Se debe analizar la posibilidad de regar cordones forestales y usos industriales o semi-industriales que no requieran necesariamente una calidad de “riego irrestricto” (fábrica de ladrillos, selección de áridos, riego de calles, por ejemplo). Esto minimizaría a su vez la extracción de agua del Lago, minimizando el volumen a tratar. En este caso, el agua a utilizar se tomaría en la salida de la Planta. Si el requerimiento de calidad es más riguroso, sería posible utilizar el agua que sale del sistema Nimez al Lago (identificado en este estudio como Estación 5).

- Generar proyectos de reuso. La ciudad de Calafate se encuentra ubicada en una zona semiárida. En estas condiciones, pueden generarse proyectos estatales o privados que maximicen el uso del agua tratada (riego de espacios verdes, forestación, agricultura, riego de rutas y calles de tierra, etc.). Esto genera una base genuina de empleo a la vez que elimina la influencia negativa del agua mal tratada en el ambiente. Ciudades argentinas ribereñas a lagos (Bariloche, San Martín de los Andes), han debido realizar inversiones millonarias para construir y mantener plantas de tratamiento terciario

(eliminación de N y P), para mitigar problemas de eutroficación antes de su vertido a los lagos Nahuel Huapi y Lacar, respectivamente.

- Manejar adecuadamente los yeguarizos y otros animales que pastorean en el humedal. Fuera de la época de cría de aves, sería bueno un control de la vegetación por parte de animales que pudieran colaborar a disminuir la carga orgánica. Pastizales muy densos podrían generar – en caso de incendios – problemas mayores sobre el entorno y sobre la avifauna que se desarrolla en la Reserva.

- La implementación de un sistema de aireación desde el fondo en una de las piletas existentes es un paso adelante tendiente a mejorar la calidad del agua tratada. Sería importante en el corto plazo, la puesta en marcha de la nueva planta de tratamiento para satisfacer la demanda de una ciudad en crecimiento. Sin embargo, aún con ambos sistemas de tratamiento en marcha (el actual en mejores condiciones y el nuevo), la capacidad de tratamiento estaría cercana a la población actual de la Ciudad. Esto significa que la obsolescencia del sistema ya sería una realidad con la puesta en marcha del nuevo sistema.

- Reubicar el sistema de tratamiento de agua. El crecimiento de la Ciudad, ha dejado a la planta de tratamiento actual poco espacio para actuar de pulmón y área de transición entre el tratamiento y las urbanizaciones vecinas. Simultáneamente los costos de los terrenos asociados a la zona costera del Lago se incrementan permanentemente. Se debería pensar en una nueva planta alejada del casco urbano. Hay ejemplos de estas: Mendoza: 45 km; Puerto Madryn: 8 km.

- Mantener el humedal. El Sistema laguna Nimez constituye un humedal de gran valor por su alta biodiversidad; su valor paisajístico y estético para la población; su valor turístico para quienes visitan la región. Estos son argumentos fuertes para mantener el sistema en buen estado de conservación.

- Ampliar la extensión geográfica del área protegida. Si bien el sistema laguna Nimez se encuentra bien delimitado y con uso restringido, la zona del humedal está constituida por toda la bahía Redonda. En consecuencia, se podrían establecer categorías de uso del humedal que no inhibieran ciertas actividades humanas, limitando a su vez la construcción de estructuras que pudieran dañar todo el sistema. Por extensión, vale la protección de la costa del Lago argentino lindero a la reserva Nimez y bahía Redonda.

- Implementar la conformación de una Comisión Multisectorial para el análisis de la evolución del sistema lagunar. Esta constituye una herramienta de la democracia que ayuda a la toma de

decisiones de mediano y largo plazo. Ha sido exitosa en varias ocasiones (ej. Planta de tratamiento de Puerto Madryn (“cota 130”); eliminación de contaminantes metálicos en San Antonio Oeste).

- Educar permanentemente sobre el uso correcto sin derroche del agua, mediante programas de educación ambiental en todos los niveles de la sociedad. La Reserva laguna Nimez es un núcleo excelente para llevar adelante estas iniciativas ya que demuestra permanentemente su sobrada experiencia en la difusión del valor y del cuidado del ambiente.

- Educar permanentemente sobre la inconveniencia de vertidos de sustancias ajenas a los líquidos cloacales. Nos referimos a sustancias como aceites, naftas y compuestos químicos. Por el tipo de sistema de tratamiento (tratamiento biológico) y por el destino del agua tratada en un sistema dominado por actividades biológicas, su vertido afecta seriamente el funcionamiento de todo el sistema.

- Llevar tranquilidad a la comunidad que visita el humedal. La visita a la Reserva se hace por un sendero que se encuentra alejado del ingreso del agua a la Laguna (Estación 2), que sería el punto más comprometido, y también alejado del cuerpo de agua de todo el humedal. De acuerdo a nuestras observaciones, la calidad del agua luego de esta estación es buena tanto biológica como químicamente, sobre todo en períodos de máxima afluencia de visitantes. En el mismo sentido, la costanera constituye una alternativa de uso de la costa del Lago al ubicarse frente al humedal que incluye la bahía Redonda.

- El arroyo Calafate, transcurre durante parte de su trayecto dentro de la ciudad de Calafate. Algunos parámetros medidos, como la bacteriología, mostraron ya la influencia de la Ciudad. Se recomienda hacer un seguimiento de los impactos existentes que lo afectan, ya que impactan también sobre la bahía Redonda y el lago Argentino. El camino de sirga, que existe como necesidad de preservar y mantener las riberas de los ríos, podría ser una muy buena alternativa para su puesta en valor y control comunitario de los vertidos clandestinos.

- Existen numerosos manantiales en la zona que drenan agua subterránea al lago Argentino. La medición en cinco localidades en la Reserva Nimez y en la bahía Redonda confirman la existencia de un flujo importante de agua subterránea. Su origen no sería cercano. Se recomienda tener en cuenta su existencia para evitar la contaminación de las napas subterráneas.

- No se observaron en las muestras analizadas de fitoplancton, especies de cianofíceas productoras de toxinas que pudieran representar un riesgo para la fauna. Sin embargo, resulta importante el seguimiento de la composición de la comunidad fitoplanctónica, ya que esto sistemas

presentan características propicias para la proliferación de especies algales que pueden producir floraciones: nutrientes elevados, baja profundidad, insolación adecuada. En el caso de que estas especies puedan producir toxinas (cianofíceas) se pueden generar serios inconvenientes a la fauna; en el caso de que estos ambientes - como las orillas del Lago Argentino - sean utilizados como actividad recreativa, también pueden afectar a los seres humanos.