

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, Febrero 2017



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
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5).....	24
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	33
Sólidos totales (mg/l).	33
Sólidos suspendidos (mg/l).....	34

Sólidos sedimentables 10 minutos – 2 horas (ml/L)	35
Demanda Bioquímica de Oxígeno total (DBO ₅ total) (mg/L).....	37
Demanda Bioquímica de Oxígeno filtrada (DBO ₅ filtrada) (mg/L).....	37
Bacteriología	38
Huevos de parásitos	40
Nutrientes inorgánicos (Nitrógeno; Fósforo).....	41
Fitoplancton	45
3. Estudios adicionales.....	48
a. Arroyo Calafate.....	48
b. Análisis de Radón	49
c. Laguna de Shrek.....	49
d. Casa Verde.....	50
e. Pozo de agua dulce.....	50
f. Lagunita de los patos.....	51
g. Arroyo Calafate arriba.....	51
CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	52
1. Sistema cloacal y Planta de Tratamiento.	52
2. Sistema laguna Nimez	53
3. Arroyo Calafate.	54
4. Interacción entre el Sistema laguna Nimez, la bahía Redonda y el Lago Argentino.....	54
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS.....	60

AGRADECIMIENTOS.

El grupo de trabajo desea agradecer a todo el equipo de la Reserva laguna Nimez: Cada vez que se realizaron las campañas, hicieron de las mismas un trabajo a fondo desde el punto de vista técnico y humano: Laura Estrampes, como responsable de la Reserva, Josefina Ramos, Luis Gabriel Sartori, Enzo Vega Salinas, Julián Taiel Pérez, Cristian Sanhueza y otros que sin nombrarlos, pusieron su granito de arena. En las campañas de abril 2016 y febrero 2017, 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 años, la población estaría en el orden de los 24.292 habitantes para el año 2017 (<http://poblacion.population.city/argentina/el-calafate/>). Con este incremento, los servicios sanitarios requieren su actualización, ya que la obsolescencia y la falta de capacidad de tratamiento generan problemas en el ambiente ubicado en los alrededores de la Ciudad.

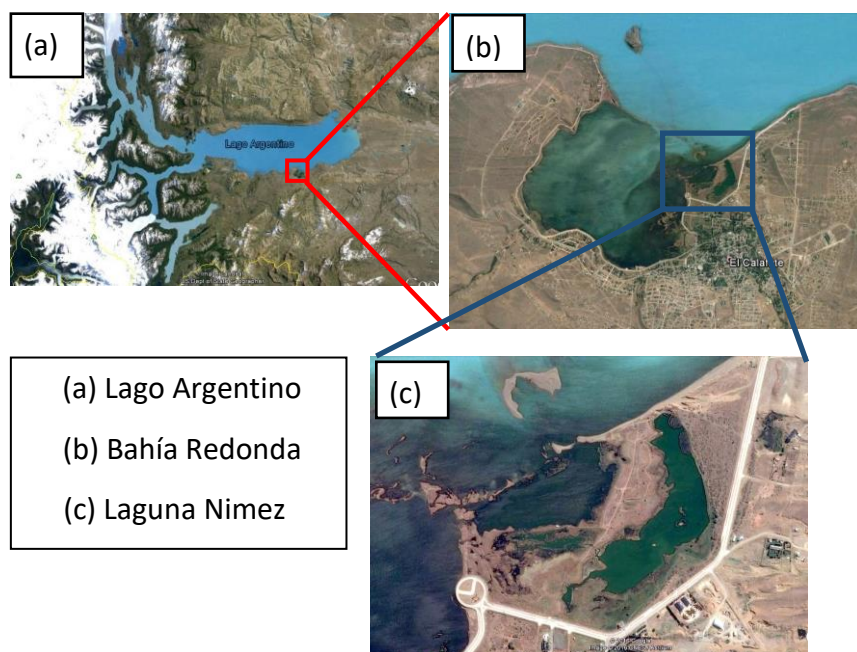


Figura 1. Sistema lago Argentino (a), bahía Redonda (b), laguna Nimez (c).

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, algunas de escorrentía, ya que no en todas las calles hay bocas de tormenta conectadas con los efluentes cloacales (La Valle, 2012) y aguas subterráneas provenientes de la napa freática o de napas más profundas. Recientemente se ha recuperado uno de los trenes de lagunas mediante su vaciado, limpieza y modificación del sistema de aireación. Se encuentra en obra una ampliación 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 la mayor 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), agosto de 2016 (invierno) y febrero 2017 (verano). En cada estación del año, el lago Argentino ha recibido aguas desde la bahía Redonda (noviembre y agosto) o alcanzado su cota máxima (febrero y 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 todas las campañas 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.

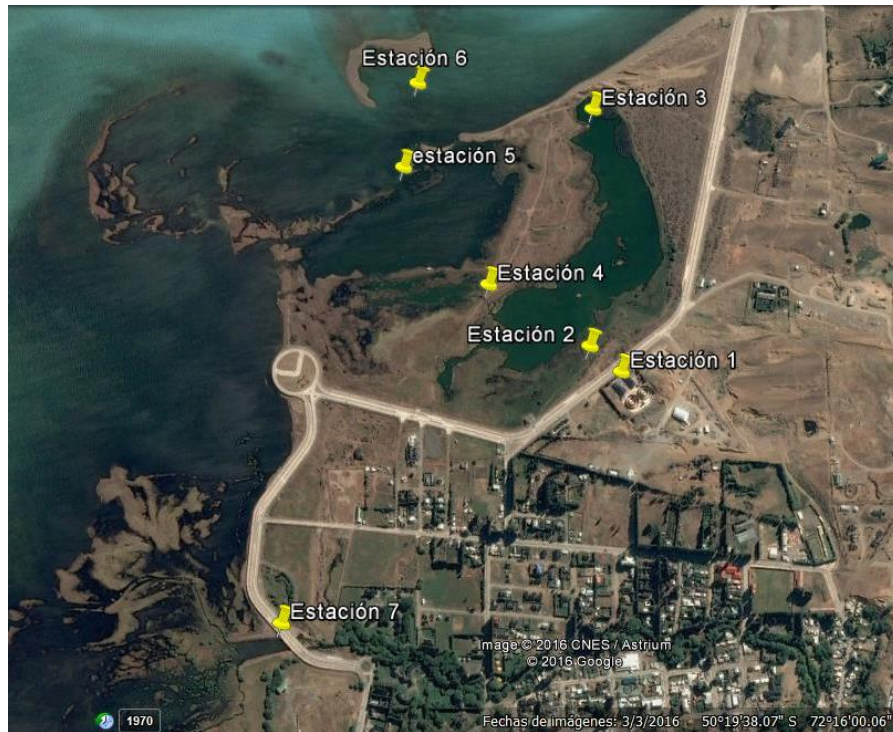


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo. Puede observarse que las estaciones 5 y 6, que en noviembre y agosto reciben las aguas del humedal, se encuentran en febrero y abril dentro del lago Argentino.

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.

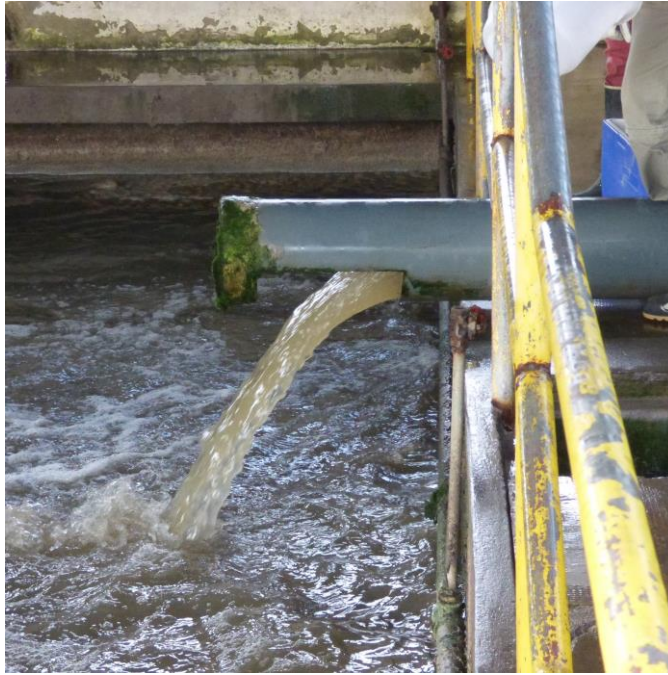
6	50°19'16,12"S	072°16'20,35" W	Zona de intercambio de aguas entre la bahía Redonda y la reserva Nimez antes del ingreso al Lago Argentino o bien estaciones dentro del Lago en el mes de abril.
6´	50°19'05,90"S	072°16'38,26" W	Agua proveniente de la Reserva Nimez muestreadas en agosto y noviembre.
6"	50°19'03,17"S	072°16'27,46" W	Agua proveniente de la bahía Redonda muestreadas en agosto y noviembre.
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 todas las campañas.
Casa Verde	50°20'1.47"S	072°18'53.08"O	Muestreo en todas las campañas.
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. Hendic).



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.



Fotografía 3. Nuevas instalaciones en la planta de tratamiento existente. En la imagen de la derecha, sistema de aireadores funcionando (foto Laura Estrampes).

Estación 2. Corresponde al ingreso del agua tratada proveniente de la planta de Tratamiento a la Laguna 1 del sistema Nimez (fotografías 4 y 5). 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 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 4: Cisterna de ingreso del agua tratada a la laguna Nimez (Estación 2).

A la salida de la cisterna (fotografía 5), 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 5: Ingreso del agua tratada a la laguna Nimez (Estación 2).

Estación 3. Esta estación se ubicó 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 6). En el mes de agosto esta parte de la laguna se hallaba cubierta por una gruesa capa de hielo (fotografía 7).



Fotografía 6: Estación 3, cercana al refugio de observación de aves en la primera laguna del sistema Nimez.



Fotografía 7: 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 8).



Fotografía 8: 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 los meses de febrero y abril, los muestreos se hicieron sobre el lago Argentino (Fotografía 9). En el resto de las campañas (noviembre y agosto), se pudo acceder por tierra.



Fotografía 9. Estación 5 en el lago Argentino.

Estación 6. En los meses de febrero y abril, esta estación se encontraba en el lago Argentino, aproximadamente a unos 500 metros de la costa (fotografía 10). En el resto de las campañas se accedió a esta estación desde tierra.



Fotografía 10: 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 11 y 12).



Fotografía 11



Fotografía 12

Arroyo Calafate. En febrero y abril este se encontraba con mezcla de agua del lago Argentino antes de llegar a la bahía Redonda (Estación 7; fotografía 11), mientras que en agosto el arroyo se encontraba congelado (fotografía 12; 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	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) descripto 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 μ M

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 μ M

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 μ m 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 (²²²Rn).** 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 ²²²Rn se realizaron utilizando un equipo RAD7 (DurrIDGE, Company Inc).
- **Fitoplancton.** En invierno (agosto) y en verano (febrero), se analizaron muestras de fitoplancton. Las muestras fueron fijadas con solución de lugol. En invierno se tomaron tres muestras correspondientes a las estaciones E4, E5 y bahía Redonda. La muestra de bahía Redonda se tomó en la rotonda a la altura de los juegos para niños. En verano se tomaron dos muestras en la estación E4 y en la costa del lago Argentino. Las muestras fueron analizadas por la Lic. Viviana Sastre y la Dra. Norma Santinelli (invierno) y la Dra. Santinelli (verano) del Laboratorio de Hidrobiología, de la Facultad de Ciencias Naturales, Sede Trelew de la Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco".

RESULTADOS

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

Temperatura

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	14,9	15,2	8,6	17,3
E2	13,3	15,0	8,2	17,1

Tabla 3: Evolución de la temperatura

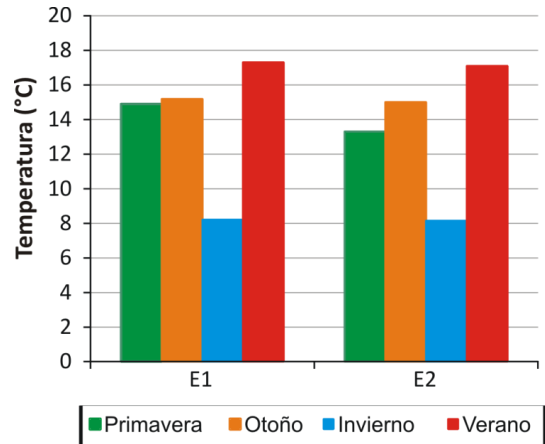


Gráfico 1: Evolución de la temperatura

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 temperatura estuvo entre los 13,3 y 17,3 °C. La tabla 3 y el gráfico 1 muestran la evolución de la temperatura.

pH

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	8,0	7,5	7,9	7,5
E2	7,6	7,4	7,8	7,6

Tabla 4: Variaciones del pH

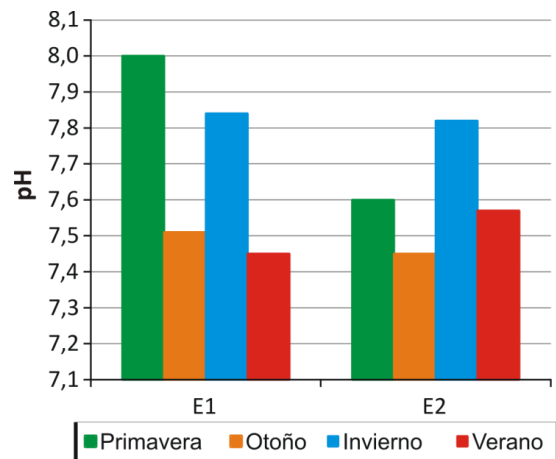


Gráfico 2: Evolución del pH

El pH tuvo valores cercanos a la neutralidad. Con excepción de la campaña de febrero, en el resto de 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	Febrero 2017
E1	-164	106	92	-92,4
E2	189	120	237	-69,4

Tabla 5: Potencial Redox

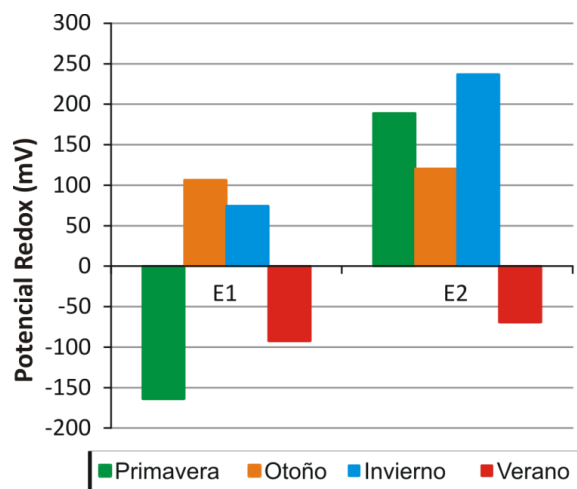


Gráfico 3: Evolución del potencial Redox.

En general, los valores de este parámetro fueron positivos, reflejando condiciones óxicas en el agua de ingreso a la Planta. En noviembre en la Estación 1 y febrero en ambas estaciones, los valores fueron negativos, marcando quizás mayores procesos de degradación durante el transporte, asociado a mayores temperaturas. La estación 2 mostró en tres campañas 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. En agosto y febrero sólo se encontraba operativa una sola de las dos piletas aireadas. La tabla 5 y el gráfico 3 muestran la evolución del potencial Redox.

Oxígeno disuelto (%)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	57	78	72	2,1
E2	81	86	81	3,5

Tabla 6: Oxígeno disuelto

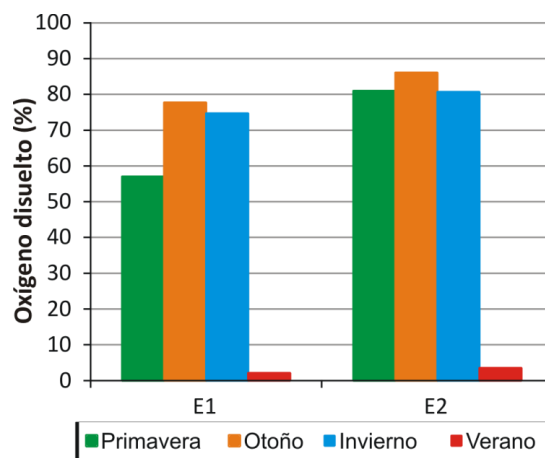


Gráfico 4: Evolución del oxígeno disuelto

Contrariamente a lo que se esperaba, el oxígeno disuelto se incrementó entre las estaciones 1 y 2. Teóricamente, 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 en consecuencia se deberían esperar valores menores en la Estación 2. Este incremento puede 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. En febrero los porcentajes de saturación de oxígeno disuelto fueron muy bajos y un orden de magnitud menores que en el resto de las campañas. En épocas cálidas el consumo de oxígeno es mayor y en esta campaña, sólo funcionaba una sola pileta de aireación. 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	Febrero 2017
E1	613	529	350	593
E2	540	523	502	583

Tabla 7: Conductividad específica

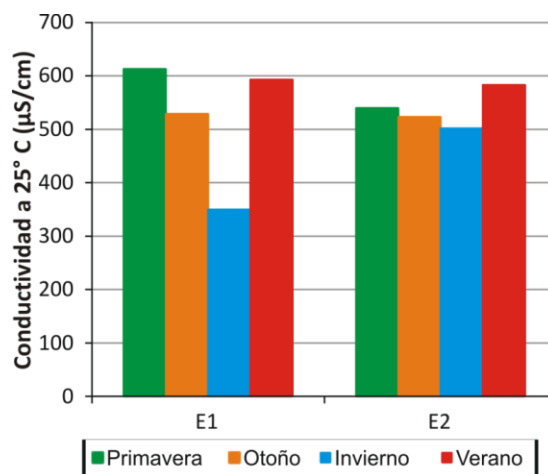


Gráfico 5: Evolución de la conductividad específica

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 y/o hay un exceso de utilización de agua en los hogares y/o hay un aporte extra de agua al correspondiente a los hogares (ej. Agua de napa poco salina que ingrese a las cloacas o aguas de lluvia) y que como consecuencia, generan un líquido cloacal con baja salinidad. Como punto de comparación, en Puerto Madryn el agua cloacal tiene más del doble de sales que en Calafate.

Sólidos totales y suspendidos

Sólidos totales (mg/l).

	Noviembre e 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	376	404	376	368
E2	390	400	336	356

Tabla 8: Sólidos totales

Sólidos suspendidos (mg/l).

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	141	63	77	117
E2	44	94	67	91

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% y 78% en los meses de noviembre 2015 y febrero de 2017 respectivamente; 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. En este caso, los valores superan esta Norma.

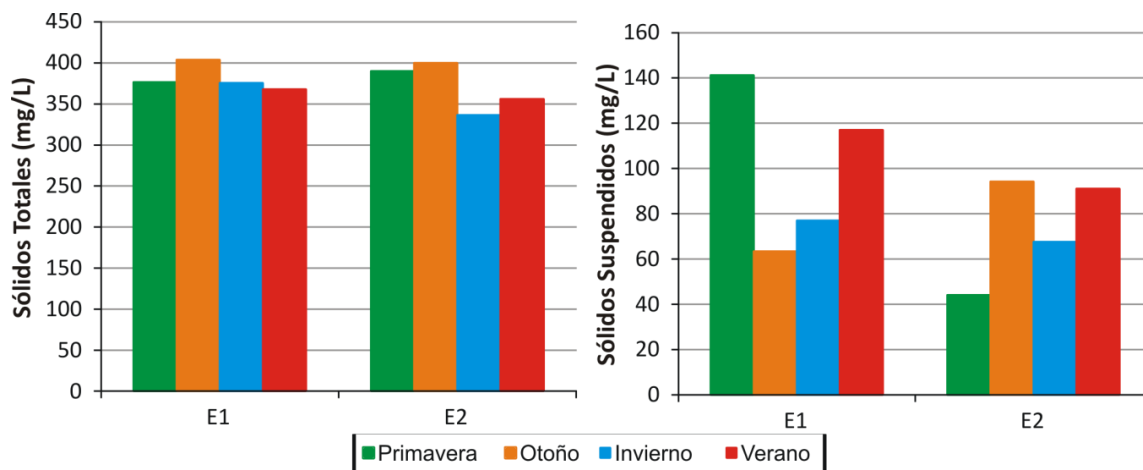


Gráfico 6: Evolución de los sólidos totales y sólidos suspendidos.

Sólidos Sedimentables

En el líquido crudo (E1), los sólidos sedimentables en 10 minutos presentaron valores del orden de 2 ml/L, a excepción del muestreo de invierno que fueron no detectable. Los sólidos sedimentables en 2 hs se encontraron entre 2,5 y 5,5 ml/L. En el líquido tratado (E2), 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	Febrero 2017
E1	1,9 – 5,5	1,9 – 2,5	<0,1 – 2,5	1,3 – 2,5
E2	0,7 – 1,3	0,8 – 1,0	<0,1 – 0,4	0,3 – 0,7

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

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	164	132	84	156
E2	122	93	81	132

Tabla 11: Demanda Bioquímica de Oxígeno

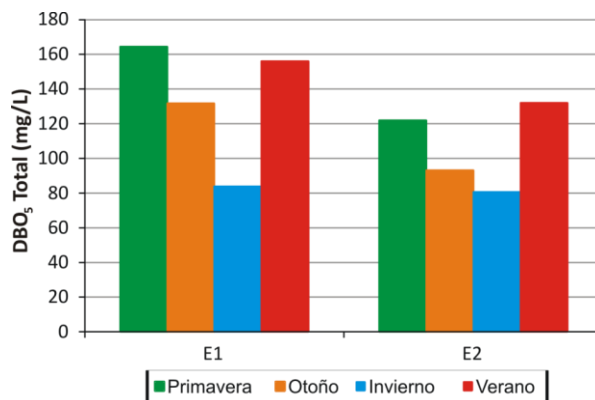


Gráfico 7: Evolución de la DBO₅.

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 y se incrementaron nuevamente en febrero. En la Planta, la remoción fue baja (26% en noviembre, 29% en abril, 4% en agosto, 15% en febrero), 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

A. Coliformes totales

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	7,50E+06	1,78E+07	7,50E+06	2,7E+07
E2	7,50E+06	8,85E+06	6,97E+06	8,7E+06

B. *Escherichia coli*

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	3,10E+06	1,11E+07	1,00E+06	1,11E+07
E2	2,00E+06	3,84E+06	2,38E+06	1,0E+06

Tabla 12: A. Coliformes totales. B. *Escherichia coli*

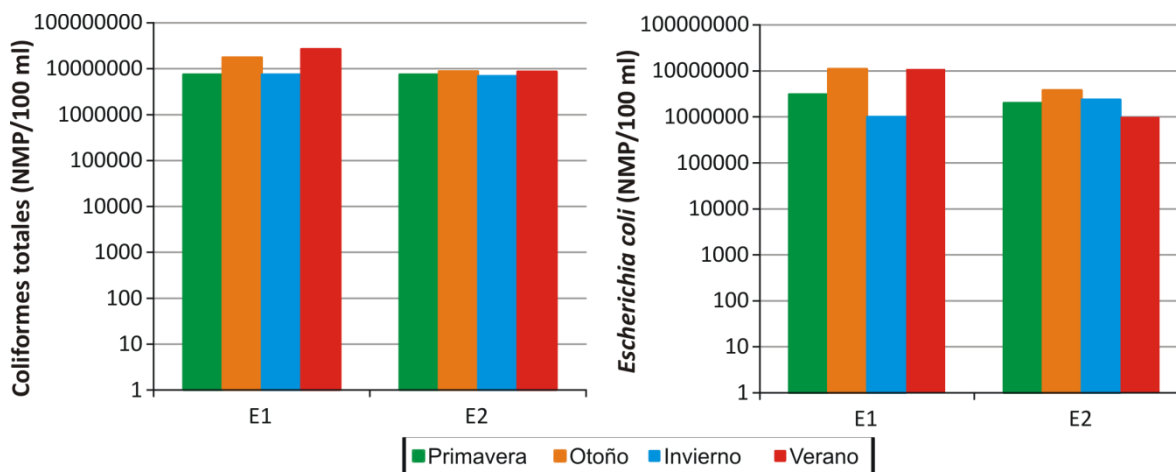


Gráfico 8: Evolución de la concentración de coliformes fecales y *Escherichia coli*.

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 Coliformes fecales/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 media 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 algunos 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, abr-16 y feb-2017. Fue no detectable en el muestreo de ago-16 (Tabla 13).

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	6,0	5,2	4,2	7,6
E2	2,5	1,2	nd	1,8

nd: no detectable

Tabla 13: Huevos de parásitos

Nutrientes inorgánicos

Fosfato (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	1,83	2,34	1,14	1,89
E2	1,24	1,99	1,22	1,55

Tabla 14: Fosfato

Contrariamente a lo esperable, el fosfato ha mostrado un consumo dentro de la Planta. En noviembre éste fue de 32%; en abril, 15%, en febrero, 18%. En agosto la concentración a la salida fue ligeramente superior 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	Febrero 2017
E1	0,004	0,053	0,026	0,006
E2	0,004	0,028	0,026	0,004

Tabla 15: Nitrito

Nitrato (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	0,013	0,037	0,455	0,043
E2	0,014	0,017	0,373	0,041

Tabla 16: Nitrato

Nitrato + Nitrito (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E1	0,02	0,090	0,48	0,048
E2	0,02	0,045	0,40	0,045

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 febrero este valor fue del orden de 90% en ambas estaciones. 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 y una muy débil oxidación de la materia orgánica. 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	Febrero 2017
E1	39,40	18,28	21,44	29,41
E2	19,07	18,86	21,37	33,38

Tabla 18: Amonio

El amonio se ha consumido de manera importante en noviembre (52% menos a la salida (Estación 2) reflejado en una menor concentración en la E2 respecto a la Estación 1; se ha producido ligeramente en abril (3,2% más en E2 que en E1) y en febrero (12% 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, abril 2016 y febrero 2017 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), agosto (21,44 mg/L) y febrero (29,41 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 tres de las cuatro campañas realizadas. El promedio y la desviación estándar de la concentración de amonio fue de $27,1 \pm 9,4$ mg/L en la E1, mientras que para la estación E2 fue de $23,2 \pm 6,90$ mg/L.

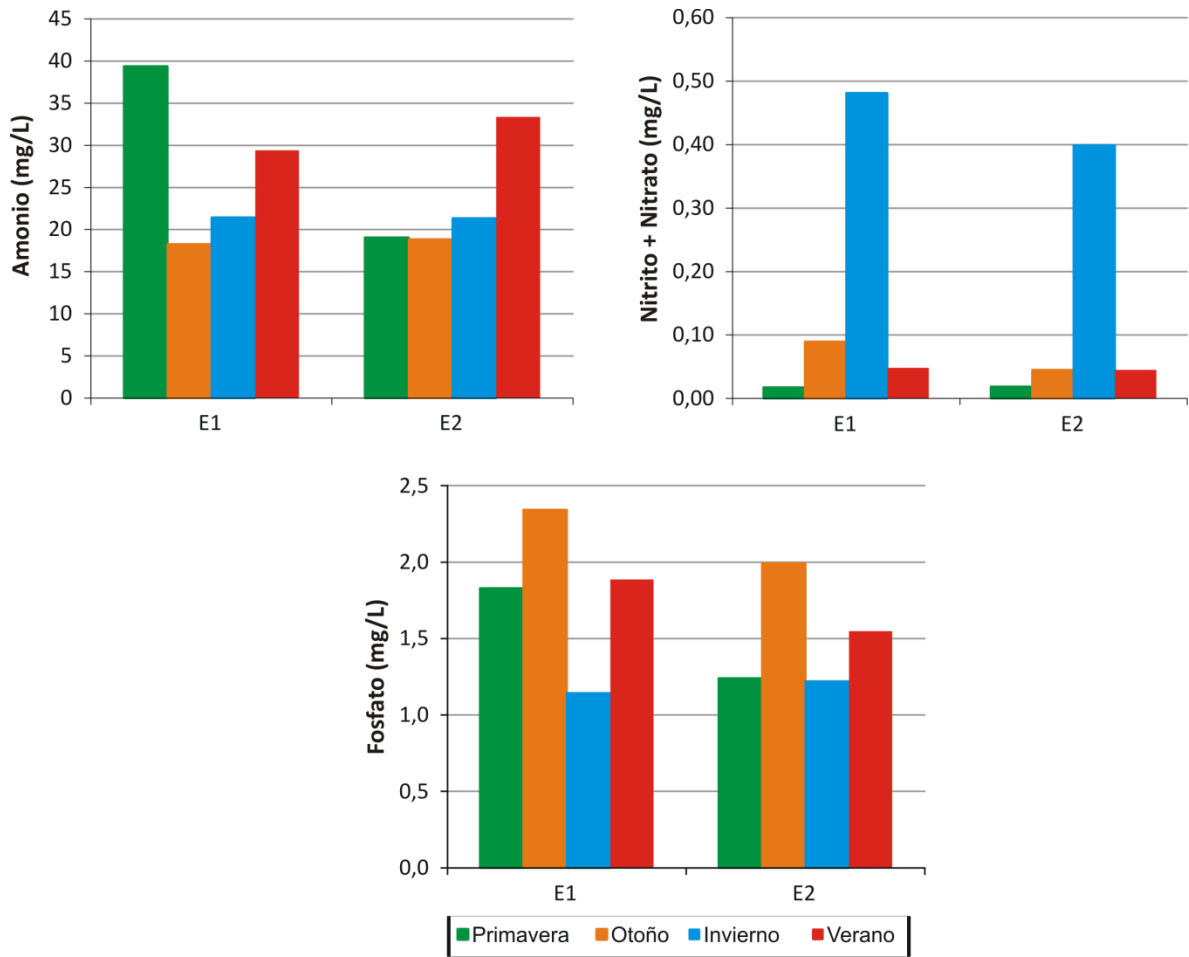


Grafico 9: Evolución de la concentración de nutrientes inorgánicos (Nitrógeno y Fosforo).

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

Temperatura

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	13,3	15,0	8,15	17,1
E3	12,9	8,43	1,67	13,3
E4	13,2	9,34	3,56	13,8
E5	16,5	9,04	3,27	14,6
E6	16,7	9,33	3,26	12,6
E6'	15,6		3,21	
E6''	16,3		3,66	

Tabla 19: Temperatura

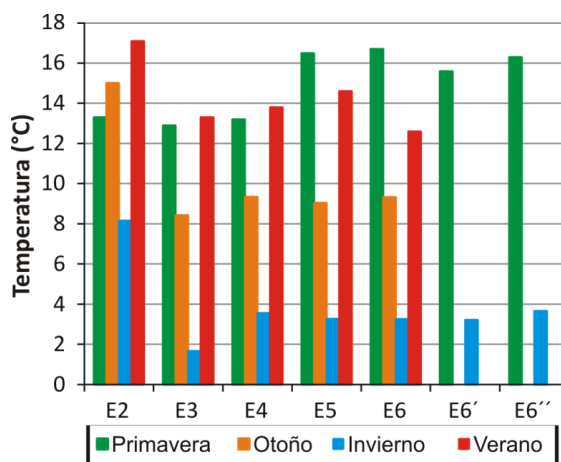


Gráfico 10: Evolución de la temperatura

La temperatura al ingreso de la laguna Nimez (Estación 2) fue igual o menor que en el resto de las estaciones en noviembre y mayor que en el resto de las estaciones en abril, agosto y febrero. 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 $13,4 \pm 3,8$ °C. Es decir, se mantuvo una inercia térmica al ingreso al sistema Nimez. Ya en la laguna, ésta se incrementó hasta 16 °C en noviembre, disminuyó a 13°C en febrero, 9°C en abril y 3°C en agosto (Tabla 19 y gráfico 10).

pH

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	7,6	7,45	7,82	7,57
E3	9,4	7,47	9,52	9,39
E4	9,4	7,4	7,57	8,84
E5	10	7,42	8,02	7,86
E6	10	7,73	8,61	7,99
E6'	8,5		8,61	
E6''	9,6		8,96	

Tabla 20: Evolución del pH.

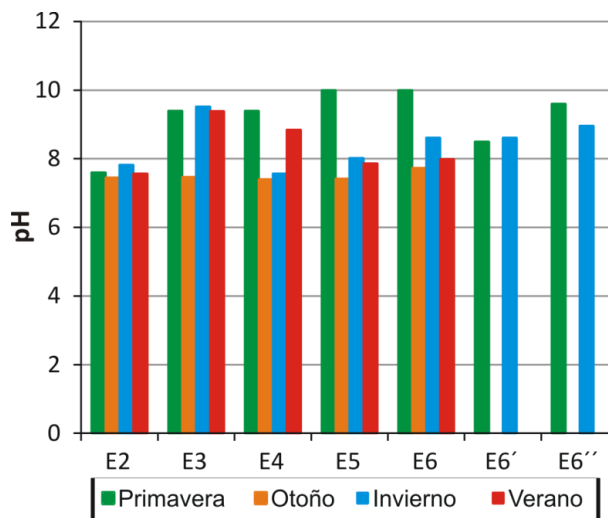


Gráfico 11: Evolución del pH

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 los muestreos restantes se incrementó particularmente en la estación con menor flujo (E3) alcanzando valores por encima de 9,35, aunque también se registró un valor elevado en la E4 durante primavera y verano. Esto implica una actividad/presencia máxima del fitoplancton durante noviembre y febrero, 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	Febrero 2017
E2	189	120,4	237	-69,4
E3	203	143,1	59	177
E4	193	71	180	196
E5	130	130	258	458
E6	128	140	253	571
E6'	188		251	
E6''	147		251	

Tabla 21: Potencial Redox

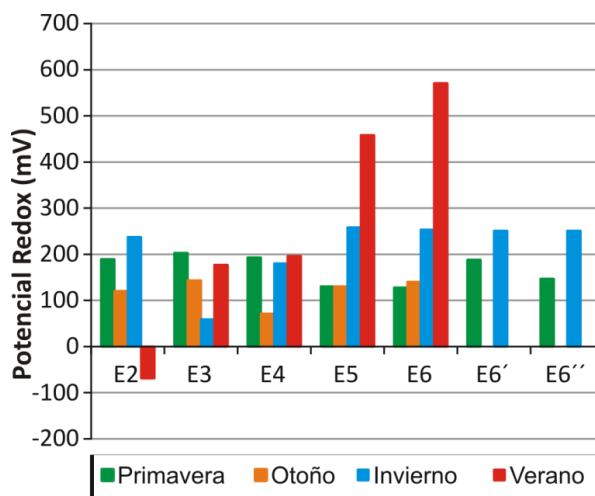


Gráfico 12: Evolución del potencial Redox

Con excepción de la estación 2 en verano, 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 ± 40 mV; en abril 2016, algo más bajos (121 ± 34 mV); en agosto, 209 ± 79 mV. En febrero se observaron las mayores desviaciones: 350 ± 195 mV, por la influencia del lago Argentino en las estaciones E5 y E6.

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

	Promedio	Desviación estándar
E2	119	135
E3	146	63
E4	160	60
E5	244	155
E6	273	206
E6'	220	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	Febrero 2017
E2	81	86	81	3
E3	125	70	173	163
E4	139	56	75	118
E5	149	89	113	101
E6	127	86	99	100
E6'	82		113	
E6''	98		111	

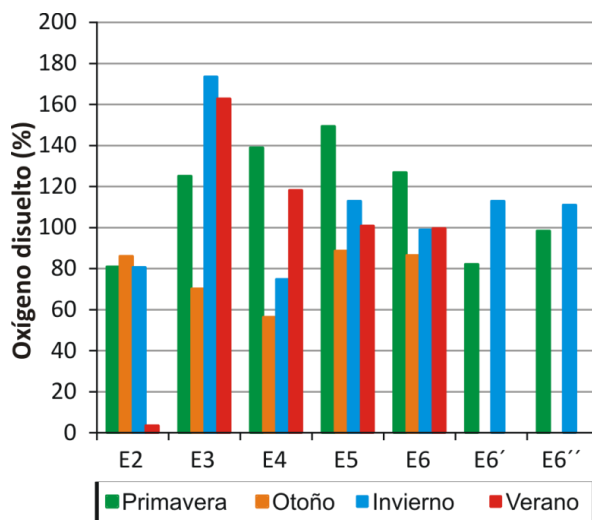


Tabla 23: Oxígeno disuelto

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 primeras tres campañas han sido de $83 \pm 3\%$. La campaña de febrero mostró un consumo muy importante de oxígeno disuelto en la Planta. Desde la E3 en adelante, la concentración de oxígeno disuelto se incrementó con valores de saturación en primavera, invierno y verano. El promedio y la desviación estándar para las estaciones E3 a E6, han sido de $120 \pm 25\%$ en primavera, $75 \pm 15\%$ en otoño, $114 \pm 32\%$ en invierno y $121 \pm 30\%$ en verano. En otoño (abril) se observaron los valores más bajos y en invierno (agosto) las mayores variaciones entre estaciones (Tabla 23 y gráfico 13).

Cuando se analizan las cuatro campañas realizadas, los promedios y las desviaciones estándar de cada estación, mostraron las máximas variaciones en las estaciones $E3 > E2 > E4 > E5$ (Tabla 24).

	Promedio	Desviación estándar
E2	63	40
E3	133	47
E4	97	38
E5	113	26
E6	103	17
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	Febrero 2017
E2	540	523	502	583
E3	460	531	484	433
E4	459	540	523	455
E5	440	104	300	54
E6	399	41	s/d	42
E6'	120		303	
E6''	258		187	

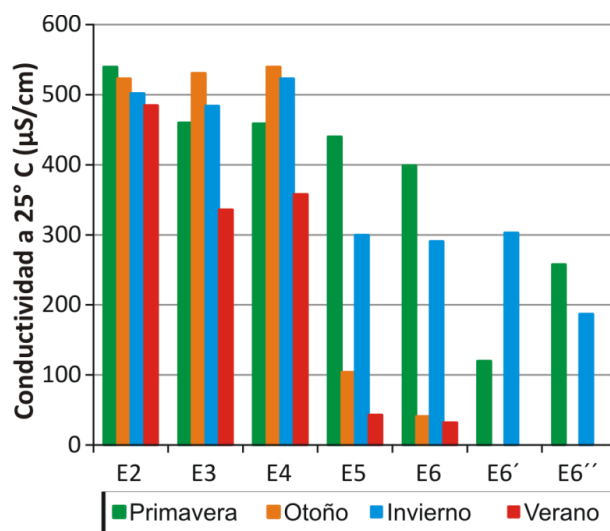


Tabla 25: Conductividad específica

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 cuatro campañas y todas las estaciones han sido de $370 \pm 175 \mu\text{Si}/\text{cm}$. Los valores más bajos se han observado en las estaciones E5 y E6, probablemente por aportes de aguas subterráneas o influencia de la crecida del Lago Argentino (104 y $41 \mu\text{Si}/\text{cm}$ para las estaciones E5 y E6 respectivamente en abril y debajo de $60 \mu\text{Si}/\text{cm}$ en febrero) (Tabla 25 y gráfico 14).

Sólidos

Sólidos totales (mg/l).

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	390	400	336	356
E3	371	323	270	420
E4	406	311	129	488
E5	431	90	358	88
E6	460	36	183	68

Tabla 26: Sólidos totales

En noviembre de 2015, los sólidos totales fueron máximos con concentraciones de $412 \pm 35 \text{ mg/L}$ 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 otoño (abril), 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. Lo mismo sucedió en febrero (verano) con las estaciones E5 y E6 ubicadas en el Lago. Las diferencias entre la E5 (88 mg/L) y E6 (68 mg/L), muestran también la influencia que tiene la bahía Redonda (E5) 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	Febrero 2017
E2	44	94	67	91
E3	151	32	90	138
E4	95	37	57	168
E5	130	5	65	3
E6	131	2	38	3

Tabla 27: Sólidos suspendidos

En lo que respecta a los sólidos suspendidos (Tabla 27 y gráfico 15), los valores máximos en las cuatro campañas se observaron en primavera y verano y se encontraron principalmente en las estaciones E3 y E4 en la laguna 1. Esta observación se relaciona con la mayor densidad de fitoplancton en esta época aprovechando condiciones adecuadas de luz y la oferta de nutrientes desde la Ciudad. En abril de 2016 (otoño), si bien en el ingreso al sistema se observaron los valores más elevados para este mes, se midieron los mínimos de las cuatro campañas analizadas. El lago Argentino presentó los valores más bajos (3 mg/L en verano y 5 y 2 mg/L en otoño en las estaciones E5 y E6 respectivamente). En agosto de 2016 se observaron valores intermedios. La estación E6 mostró los mínimos asociados a la dilución operada 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	Febrero 2017
E2	11	24	20	26
E3	41	10	33	33
E4	23	12	44	34
E5	30	6	18	4
E6	28	6	21	5

Tabla 28: Porcentajes de sólidos suspendidos sobre los sólidos totales

Los valores mínimos de esta relación se observaron en el lago Argentino. 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.

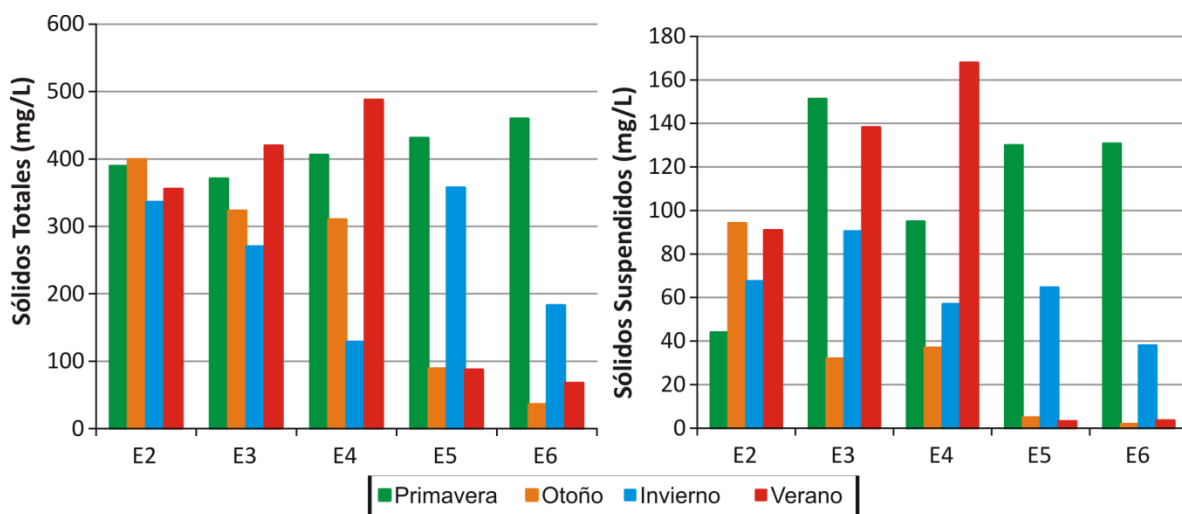


Gráfico 15: Evolución de los sólidos totales y suspendidos.

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	Febrero 2017
E2	0,7 – 1,3	0,8 – 1,0	<0,1 – 0,4	0,3 – 0,7
E3	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1	0,3 – 0,9	<0,1 – <0,1
E4	<0,1 – <0,1	<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	<0,1 – <0,1
E6	0,3 – 0,3	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1	<0,1 – <0,1
E7	<0,1 – <0,1	<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", los meses de primavera (noviembre) y verano (febrero) presentaron los mayores valores, seguidos por el mes de agosto; mientras que en abril se registraron los valores más bajos (Tabla 30 y gráfico 16). La feofitina siguió un patrón similar al de la clorofila "a". El comportamiento general refleja en los meses de invierno, primavera y verano que 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.

A.					B.				
Estación	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017	Estación	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E3	1167	222	467	747	E3	408	142	373	597
E4	846	198	420	1027	E4	309	110	205	1232
E5	972	53	467	1	E5	381	11	229	2
E6	1073	5	173	1	E6	345	10	85	0,4
E7	5	5	5	5	E7	1	3	1	1

Tabla 30. A. Clorofila "a" ($\mu\text{g/L}$). B. Feofitina ($\mu\text{g/L}$).

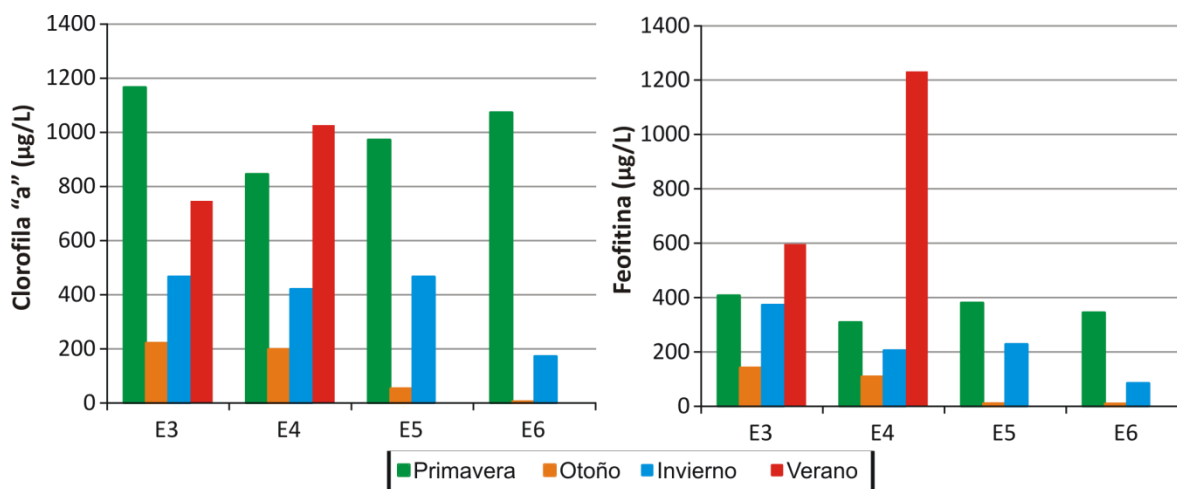


Gráfico 16: Evolución de la clorofila *a* y la feofitina.

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

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

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	121,9	93,1	80,6	132,1
E3	33,0	23,6	27,3	60,6
E4	47,7	31,7	48,1	55,9
E5	40,5	3,0	36,7	4,9
E6	35,6	1,0	19,3	4,1

Tabla 31: Demanda Bioquímica de Oxígeno

El líquido tratado ingresó al sistema Nimez (E2) con valores elevados provenientes de la planta de tratamiento (Tabla 31 y gráfico 17). El valor medio y la desviación estándar observada para las cuatro campañas en la E2, fue de $106,9 \pm 24,1$ mg/L. Analizando las cuatro campañas y las estaciones dentro del sistema (excluyendo la estación E2 y aquellas ubicadas en el lago Argentino; campañas de verano y otoño), el valor medio y la desviación estándar calculada fue de $38,3 \pm 12,7$ mg/L.

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

La DBO₅ filtrada es una indicación de la DBO₅ remanente que aporta a la DBO₅ total, una vez eliminado el fitoplancton de la muestra por filtración. Los valores observados se observan en la Tabla 32 y gráfico 17, encontrándose en todo momento por debajo de 25 mg/L. Los valores mínimos correspondieron a las estaciones ubicadas sobre el lago Argentino, en las estaciones E5 y E6 principalmente en los muestreos coincidentes con la crecida del Lago Argentino.

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E3	11,1	9,3	7,3	18,1
E4	14,8	15,2	12,7	24,4
E5	15,1	1,4	9,9	2,4
E6	13,3	0,8	6,6	1,8

Tabla 32: Demanda Bioquímica de Oxígeno filtrada

Comparando estos valores con la DBO total observada en cada estación, la disminución de la DBO real ha sido del orden de 35%. Si tenemos en cuenta ahora la DBO₅ total que llega al sistema Nimez (E2), con la DBO₅ filtrada en la estación E4, ubicada directamente frente a la E2, a la salida de la laguna 1, la atenuación de la demanda de oxígeno ha sido del orden de 90%. Esto refleja una

importante atenuación del contenido de materia orgánica, que se acentúa aún más luego del paso por la laguna Dos, con valores de DBO₅ soluble por debajo de 18 mg/L.

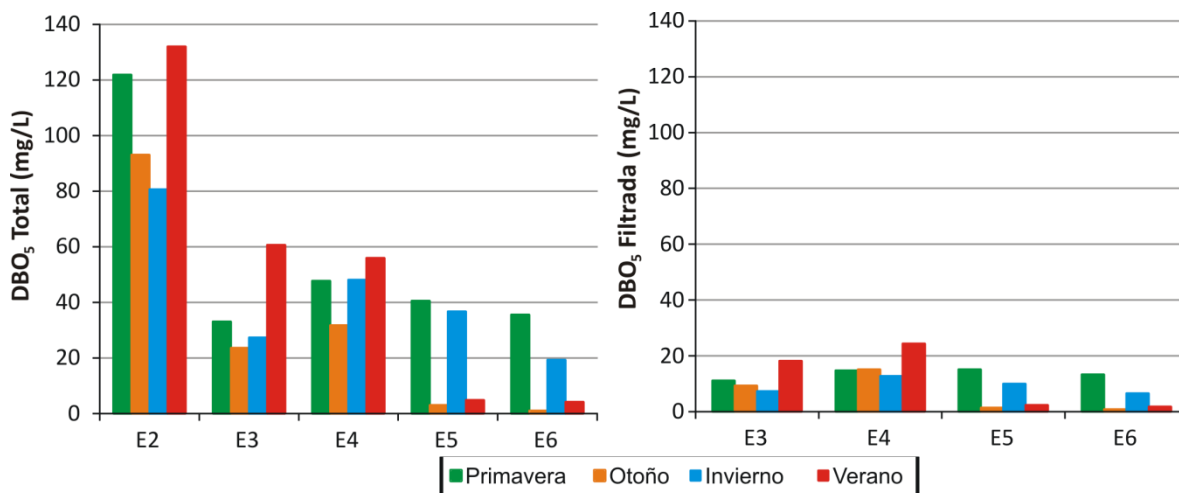


Gráfico 17: Evolución de la DBO₅ total y la DBO₅ filtrada

Bacteriología

Coliformes totales (NMP/100 ml)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	7,50E+06	8,85E+06	6,97E+06	8,70E+06
E3	1,00E+01	7,50E+04	1,50E+03	2,00E+05
E4	1,24E+05	8,85E+05	1,18E+06	1,01E+06
E5	6,40E+01	2,96E+02	1,78E+05	1,64E+02
E6	1,64E+02	2,00E+00	>2,00+04	1,00E+00

Tabla 33: Coliformes totales

Escherichia coli (NMP/100 ml)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	2,00E+06	3,84E+06	2,38E+06	1,00E+06
E3	1,00E+01	5,30E+04	1,64E+02	2,38E+04
E4	4,20E+04	2,54E+05	4,06E+05	1,37E+05
E5	5,30E+01	3,44E+01	1,24E+05	5,30E+01
E6	2,00E+01	1,00E+00	>2,00+04	1,00E+00

Tabla 34: *Escherichia coli*

Cómo leer estas concentraciones: 7,50+06 significa $7,50 \times 10^6$ NMP (Número más probable/100 mL).

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

En primavera (noviembre), la atenuación fue importante, con concentraciones de coliformes totales menores a 10^2 NMP/100 ml y *Escherichia coli* menores a 20 NMP/100 ml en las estaciones E5 y E6. La estación E4, frente a la estación 2, muestra una neta influencia de esta última estación por un menor tiempo de estadía respecto a la estación 3, siempre menos contaminada bacteriológicamente. En otoño (abril), la atenuación fue muy baja y las concentraciones dentro del sistema Nimez disminuyeron a valores del orden de 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 invierno (agosto), 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). En verano (febrero), la atenuación fue muy baja y las concentraciones dentro del sistema Nimez disminuyeron solamente a valores del orden de 10^6 NMP/100 ml para coliformes totales y de 10^5 NMP/100 ml para *Escherichia coli*, a pesar de una fuerte concentración de fitoplancton y de un pH elevado en las estaciones E3 y E4. Las estaciones E5 y E6, se encontraban en el lago Argentino; en consecuencia, si bien los valores fueron mínimos, se observaron diferencias entre E5 y E6, reflejando la influencia del sistema Nimez en la zona costera del Lago.

A partir de estos datos y tomando como un valor de *Escherichia coli* de 1000 NMP/100ml, (10^3 NMP/100ml) se concluye que el sistema completo funciona como un eficiente sistema de desinfección en los meses de primavera, verano y otoño, pero no durante el invierno.

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 Brasilera (CONAMA, 2005).

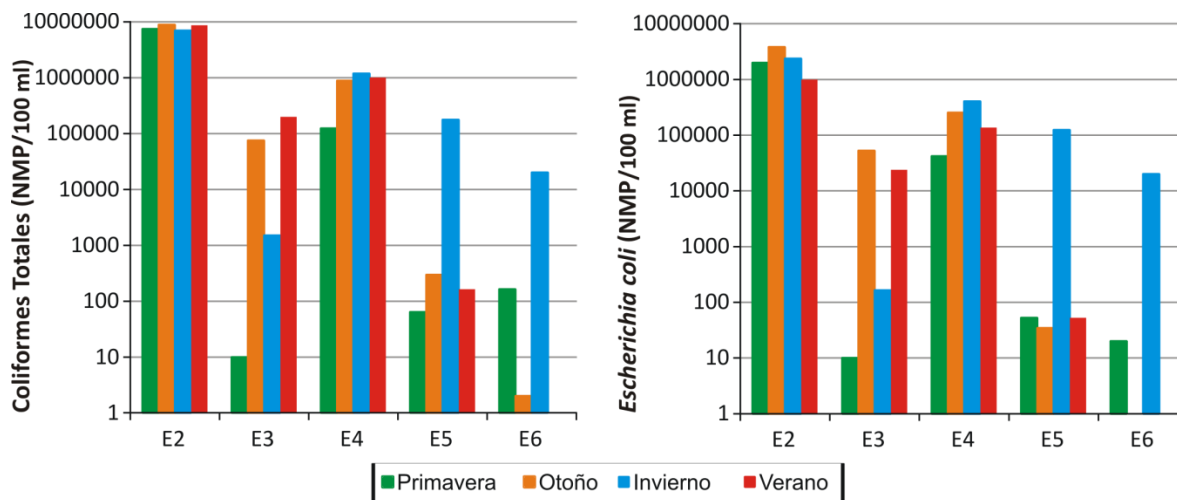


Gráfico 18: Evolución de la concentración de coliformes totales y *Escherichia coli*. Obsérvese que la escala de ordenadas se encuentra en escala logarítmica.

Huevos de parásitos

Desde el sistema de tratamiento, en los meses de primavera, verano y otoño fueron vertidos huevos de parásitos hacia el sistema Nimez (2,5; 1,8 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 35). 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	Febrero 2017
E2	2,5	1,2	nd	1,8
E4	nd	nd	nd	nd
E6	nd	nd	nd	nd

Tabla 35: Huevos de parásitos

Nutrientes inorgánicos (Nitrógeno; Fósforo)

Fosfato (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	1,24	1,99	1,22	1,55
E3	0,93	2,09	0,85	1,06
E4	0,86	2,23	0,89	2,15
E5	0,76	0,23	0,78	0,15
E6	0,67	0,29	0,71	0,07

Tabla 36: Fosfato

Hubo un comportamiento diferente del fosfato de acuerdo a la época del año. En primavera (noviembre), 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 un 25% en la E3; 31% en la E4; 39% en E5 y 46% en E6, producto probablemente de la combinación de consumo y dilución con agua de la bahía Redonda. En verano (febrero) hubo consumo en E3 (31%) y síntesis en la estación E4 (39%). La E5 y E6 reflejaron la situación en el lago Argentino con valores menores. En otoño (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 36 y gráfico 19). En invierno (agosto), el consumo fue desde un 30% en la E3; 27% en la E4; 36% en E5 y 42% en E6, producto probablemente también de la combinación de consumo y dilución con agua de la bahía Redonda.

Nitrito (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	0,004	0,028	0,026	0,004
E3	0,027	0,005	0,023	0,198
E4	0,014	0,004	0,025	0,020
E5	0,017	0,010	0,032	0,003
E6	0,028	0,002	0,032	0,004

Tabla 37: Nitrito

La concentración de nitrito fue baja en primavera (noviembre) y verano (febrero) en la E2 (0,004 mg/L); luego se incrementó a valores de $0,022 \pm 0,007$ mg/L (primavera) y $0,109 \pm 0,126$ mg/L (verano), relacionado con procesos de oxidación de materia orgánica. En verano (febrero) las concentraciones se elevaron en E3 y E4, con valores máximos en E3 (0,198 mg/L). E5 y E6 se

encontraron dentro del Lago y las concentraciones reflejaron los valores habituales en aguas del Lago. En otoño (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 invierno (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 37 y gráfico 19).

Nitrato (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	0,014	0,017	0,373	0,041
E3	0,097	0,023	0,218	0,007
E4	0,042	0,005	0,060	0,180
E5	0,109	0,024	0,068	0,025
E6	0,043	0,008	0,006	0,001

Tabla 38: Nitrato

De la misma manera que en el caso de nitrito, en primavera (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 verano (verano), las concentraciones fueron mínimas en E3 (0,007 mg/L) y máximas en E4 (0,180 mg/L), coincidentes con los valores de nitrito. En E6 los valores fueron mínimos (0,001 mg/L) y comparando con la E5 (0,025 mg/L), reflejan la influencia de la bahía Redonda en el lago Argentino. En otoño (abril) las concentraciones fueron menores en todas las estaciones ($0,015 \pm 0,010$ mg/L). Se observó la misma evolución en las estaciones E5 y E6, muestreadas en el lago Argentino, con valores de 0,024 y 0,008 mg/L respectivamente. En invierno (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 38 y gráfico 19).

Nitrato + Nitrito (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	0,02	0,05	0,40	0,05
E3	0,12	0,03	0,24	0,21
E4	0,06	0,01	0,08	0,20
E5	0,13	0,03	0,10	0,03
E6	0,07	0,01	0,04	0,01

Tabla 39: Nitrato + nitrito

En primavera (noviembre), 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 otoño (abril) en la 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 invierno (agosto), 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 $0,08 \pm 0,03$ mg/L. En la E6, reflejo del sistema Nimez y bahía Redonda, la concentración observada en todos los muestreos fue de $0,04 \pm 0,03$ mg/L (Tabla 39 y gráfico 19).

Amonio (mg/L)

	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
E2	19,07	18,86	21,37	33,38
E3	3,85	12,99	13,59	9,41
E4	2,84	17,29	16,13	12,34
E5	1,35	1,08	15,25	0,34
E6	0,90	0,16	6,3	0,03

Tabla 40: Amonio

El amonio se ha consumido de manera importante en primavera (noviembre) en todo el Sistema (entre 80 y 95% menos en referencia a la estación E2); En otoño (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 invierno (agosto), 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 todas las

estaciones del año en E2, E3 y E4. En primavera, cuando el Lago se encontraba bajo, en las estaciones E5 y E6, el aporte de amonio fue algo menor (91 y 93% respectivamente). En invierno, con el lago también bajo, este aporte fue superior al 99% en E5 y E6. Con el nivel del Lago elevado (E5 y E6 dentro del Lago), la participación de amonio a la suma de los compuestos inorgánicos del nitrógeno ha sido de 92 y 86% para E5 y E6 respectivamente en verano y de 97 y 94% respectivamente en otoño (Tabla 40 y gráfico 19). Como con otros parámetros, el nitrógeno muestra la influencia de todo el sistema Nimez – bahía Redonda (Estación 5) en el lago Argentino.

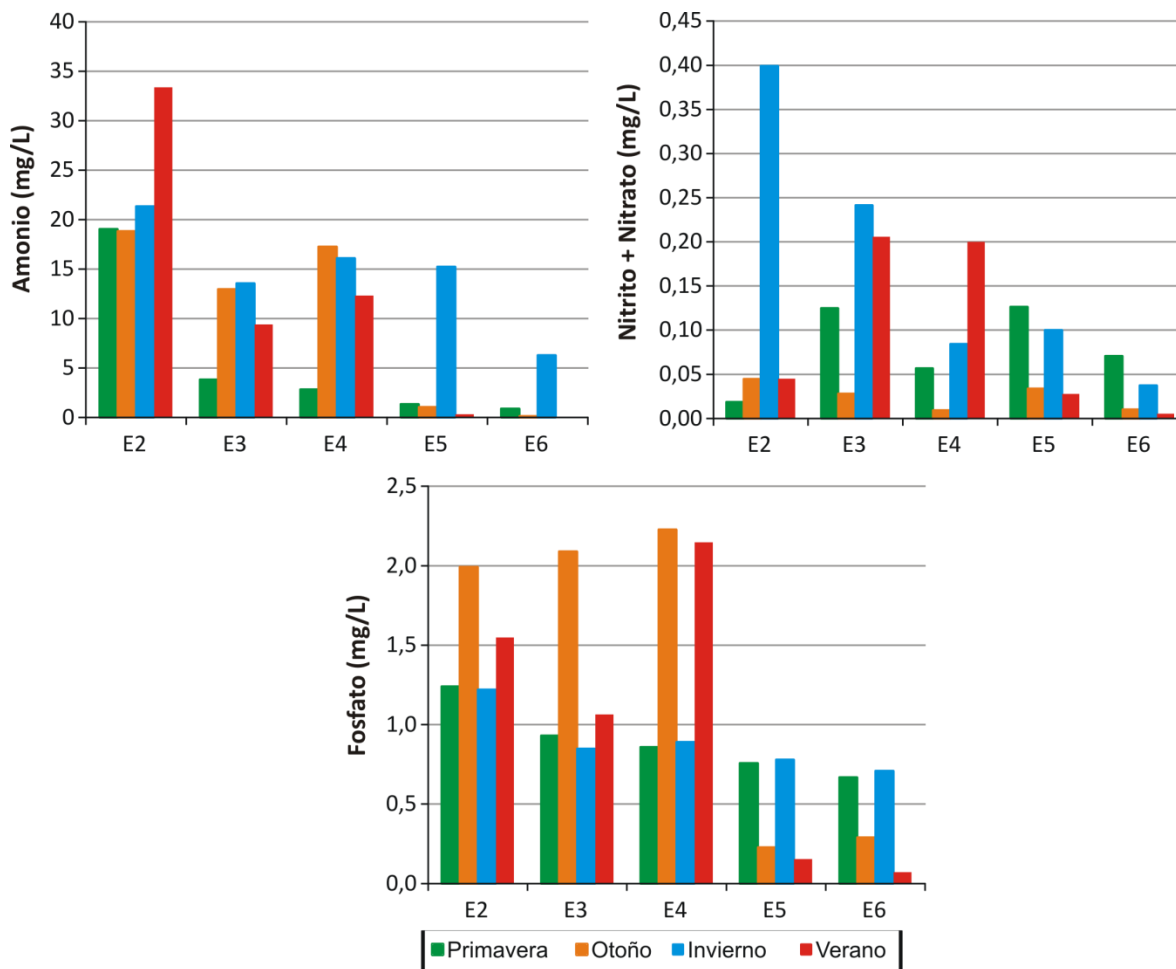


Gráfico 19: Evolución de los nutrientes inorgánicos (N y P).

Fitoplancton

Invierno

Se analizaron en invierno, tres 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 41

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

Tabla 41. Composición del fitoplancton en algunas estaciones del mes de invierno. 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.

Verano

Se analizaron 2 muestras correspondientes a las Estaciones E4, y Costa Lago Argentino en la Bahía Redonda, de botella fijadas con lugol. Se realizó el análisis cualitativo y una ponderación de las especies más abundantes. La composición de la comunidad fitoplanctónica se observa en la Tabla 42.

ESPECIES IDENTIFICADAS	E4 Puente	Costa Lago Argentino
Clase Mediophyceae		
<i>Cyclotella spp</i>		X
Clase Bacillariophyceae		
<i>Ulnaria ulna</i>		X
<i>Cocconeis placentula</i>		
<i>Cymbella cymbiformis</i>	X	X
<i>Navicula sp</i>	X	X
<i>Cocconeis sp</i>		X
<i>Pinnularia sp.</i>	X	X
<i>Nitzschia sp</i>		X
<i>Céntricas s/i</i>	X	
Pennadas s/i (chicas)	X	X
CHLOROPHYCEAE		
<i>Scenedesmus aff obliquus</i>		X
<i>Scenedesmus sp</i>		X
<i>Chlamydomonas aff gracilis</i>	X	

<i>Ankistrodesmus</i> sp		X
<i>Pandorina morum</i>		XXX
<i>Closterium</i> sp		X
Clorofícea colonial	XXX	
Clorofíceas Oedogoniales		X
EUGLENOPHYCEAE		
<i>Euglena</i> sp	X	X
CYANOPHYCEAE		
<i>Oscillatoria</i> sp		X

Tabla 42: Composición de la comunidad fitoplanctónica y estimación de la abundancia relativa
Observaciones: X Presente; XXX Muy abundante.

La composición de la comunidad fitoplanctónica en la estación E4 consiste en una floración de una clorofícea colonial que domina la comunidad fitoplanctónica. La estación Costa Lago Argentino es muy abundante en la comunidad una clorofícea colonial *Pandorina morum*, con una importante diversidad de otras especies de clorofíceas y diatomeas.

Conclusión

Durante esta época del año, fines del verano, dominan las clorofíceas en general en las dos estaciones analizadas, características de sistemas de lagunas de estabilización altamente eutrofizados con alto contenido en nutrientes en particular en la Estación E4. La estación localizada en la costa de Lago Argentino, se observa también una dominancia de clorofíceas, pero con un componente de diversidad más elevado, con especies características de ambientes lacustres, por ejemplo *Ulnaria ulna*.

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

3. Estudios adicionales

a. Arroyo Calafate

La temperatura en las cuatro campañas ha seguido las condiciones de cada estación analizada. Los valores mínimos (2,2 °C) en invierno, con zonas del arroyo congeladas, el otoño (8,4°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 41).

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	Feb-17
Temperatura (°C)	6,4	8,41	2,17	17,15
pH	8	7,97	7,85	8,21
Redox (mV)	221	145,4	89,3	324
Oxígeno disuelto (%)	79	80	73	108
Conductividad específica (µSi/cm)	119	380	286	386
Sólidos disueltos totales	0,077	0,249	0,33	0,251
Sólidos suspendidos (mg/L)	2,7	3,5	3,6	8,4
Sólidos totales (mg/L)	108,5	248,8	306,4	244
DBO total	1,3	1,91	4,1	5,1
Coliformes totales (NMP/100 ml)	1,30E+04	1,64E+03	4,06E+04	1,50E+03
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	4,53E+03	4,20E+02	2,19E+04	3,84E+02
Clorofila (µg/L)	4,8	4,8	4,9	5,2
Feofitina (µg/L)	0,9	3,4	1,2	1,4
Fosfato (mg/L)	0,10	0,05	0,21	0,37
Amonio (mg/L)	0,04	0,14	1,5	0,28
Nitrato + Nitrito (mg/L)	0,03	0,052	0,34	0,61

Tabla 41: 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 cuatro 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, se midieron en una sola oportunidad.

c. 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 cuatro muestreos, con niveles de actividad del orden de los 2000 Bq/m³ (Tabla 42). Esta es una indicación de ingreso de agua desde napas más profundas y más lejanas. La temperatura siguió la evolución de la época del año. Fue similar en primavera (noviembre) y otoño (abril) (8,1 y 7,7 °C respectivamente), más elevada en verano (febrero; 12,2°C) y más baja (3,6°C) en invierno (agosto). El oxígeno disuelto mantuvo una insaturación entre 63% y 67% con excepción del verano cuya concentración descendió a 36%. 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	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
Radon (Bq/m ³)	2.177 ± 179	2.290 ± 810	2560 ± 263	2500 ± 100
Temperatura (°C)	8,1	7,7	3,6	12,2
Oxígeno disuelto (%)	63	66	67	36
Conductividad específica (µS/cm)	450	446	448	451
Sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L)	0,293	0,29	0,291	0,293
Redox (mV)	283,8	658,5	132,8	330
pH	8,4	7,73	7,3	7,02

Tabla 42: Datos observados en la laguna Shrek

d. 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/m^3 . Las actividades fueron similares en los cuatro muestreos. Esta es una indicación de ingreso de agua desde napas más profundas y más lejanas. La temperatura mostró mayor amplitud que en el caso anterior con valores de $18,7^\circ\text{C}$ en verano, $12,5^\circ\text{C}$ en primavera, $5,85^\circ\text{C}$ en otoño y $2,56^\circ\text{C}$ en invierno. El oxígeno disuelto se mantuvo entre 80% y 90% de saturación, con excepción del verano con concentraciones de 70%. 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 43).

Casa Verde	Noviembre 2015	Abril 2016	Agosto 2016	Febrero 2017
Radon (Bq/m^3)	1.190 ± 183	1520 ± 197	2210 ± 245	1710 ± 113
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	12,3	5,85	2,56	18,7
Oxígeno disuelto (%)	86,8	82,8	90,2	69,4
Conductividad específica ($\mu\text{S/cm}$)	298	334	291	309
Sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L)	0,193	0,217	0,189	0,201
Redox (mV)	209,7	546,3	149,2	193
pH	7,73	7,8	7,24	6,94

Tabla 43: Datos observados en Casa Verde

e. 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 ($9,4^\circ\text{C}$), oxígeno disuelto de 78%, conductividad específica algo mayor ($800 \mu\text{S/cm}$), indican que este flujo es diferente al observado en el mismo mes en casa Verde (Tabla 44).

Pozo agua dulce	
Radon (Bq/m^3)	1.270 ± 203
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	9,4
Oxígeno disuelto (%)	78,3
Conductividad específica ($\mu\text{S/cm}$)	799
Sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L)	0,52
Redox (mV)	557,1
pH	7,96

Tabla 44: Datos observados en pozo de agua dulce

f. 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 se alimenta solamente agua superficial (Tabla 45).

Lagunita de los Patos	
Radon (Bq/m ³)	354 ± 105
Temperatura (°C)	8,3
Oxígeno disuelto (%)	99,7
Conductividad específica (µS/cm)	561
Sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L)	0,365
Potencial Redox (mV)	273,8
pH	7,45

Tabla 45: Datos observados en lagunita de los patos

g. 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 46).

Arroyo Calafate arriba	
Radon (Bq/m ³)	139 ± 21
Temperatura (°C)	0,47
Oxígeno disuelto (%)	102,8
Conductividad específica (µS/cm)	326
Sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L)	0,212
Redox (mV)	252
pH	8,46

Tabla 46: 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. Sin embargo, en verano la concentración al ingreso fue solamente de 2,1% de saturación, asociada probablemente a un mayor consumo en esta época del año por mayor temperatura. La débil recuperación en el Sistema (3,5%) puede asociarse probablemente al funcionamiento de una sola pileta ya que la otra se encontraba en reparaciones profundas y a que no se encontraban en funcionamiento los aireadores.

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 primeras tres campañas y valores de 3,5% de saturación en verano, aunque mayores que al ingreso. Este incremento del oxígeno disuelto y eficiencias de remoción de la DBO_5 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 y el nitrito, han mostrado un consumo en la Planta. El amonio ha mostrado poca variación, siendo consumido en primavera e invierno y producido en otoño y verano. La disminución de estos compuestos 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 DBO_5 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, más aún cuando se complete el otro tren de lagunas. La puesta en marcha del nuevo sistema de tratamiento para poder tratar de manera eficiente la totalidad de los efluentes urbanos se encuentra demorada desde hace tiempo.

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). En los cuatro muestreos, es decir en las cuatro estaciones del año, el sistema funcionó eficientemente en lo que tiene que ver con la remoción de materia orgánica, generando un líquido con un incremento del pH y del contenido de oxígeno disuelto. Contemplando las dos lagunas, la atenuación bacteriana fue importante (valores menores a 1000 NMP/100 ml) con excepción del invierno, donde los niveles se encontraron por encima de las 100000 NMP/100 ml. Esto último repercutió en las concentraciones observadas en el Lago (>10000 NMP/100 ml), coincidente con niveles del Lago bajo (por lo tanto, sin dilución) y con condiciones ambientales que no favorecen la mortalidad bacteriana (baja temperatura y radiación solar).

En otoño 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 verano y otoño en la laguna Nimez (E3), se registró la mayor concentración de coliformes totales y *Escherichia coli* (comparando los cuatro 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 32 y 15 mg/L, respectivamente.

Agosto (invierno) 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.

La estación correspondiente al Lago Argentino (E6) se caracterizó por diferenciarse entre las épocas con niveles altos (otoño y verano) en donde las aguas del Lago ingresan al humedal (Sistema Nimez y bahía Redonda), de las épocas con niveles bajos (invierno y primavera) en donde el humedal aporta al Lago. Con niveles bajos, se hizo notoria la calidad de líquido que llegaba desde la laguna Dos: DBO del orden de 27 mg/l, presencia de fitoplancton (más marcado en primavera), conductividad por encima de 300 μ Si/cm, amonio detectable (en particular en invierno, con menores procesos de remoción) y mayor bacteriología. Mientras que en las épocas en las cuales la E6 quedó dentro del Lago crecido, se observó una clara dilución de sus componentes: valores extremadamente bajos de materia orgánica, conductividad, nutrientes, bacteriología y sólidos.

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 primavera (noviembre), 5 mg/L en verano (febrero), 2 mg/L en otoño (abril), 4 mg/L en invierno (agosto). En noviembre los sólidos totales presentaron el valor mínimo (108 mg/L), aunque en febrero y abril aumentaron a 250 mg/L y en agosto, 306 mg/L. En primavera el arroyo Calafate mostró concentraciones de coliformes totales y de *Escherichia coli*, del orden de 13000 y de 4500 NMP/100 ml, respectivamente; en verano, 1500 y 384 NMP/100 ml; en otoño, fueron de 1640 y de 420 NMP/100 ml mientras que en invierno 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 primavera (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 invierno (agosto) no se observaron variaciones notables de los parámetros medidos entre la E6, E6' y E6''.

Los muestreos realizados por nosotros en el lago Argentino, han sido en verano (febrero) y otoño (abril). 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 estos meses (noviembre y agosto), el sistema bahía Redonda – laguna Nimez, aporta al Lago, que se encuentra bajo, mientras que en verano y otoño (febrero y abril), el nivel del Lago alcanza 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 superiores a los observados en la estación E6 (54 µSi/cm contra 42 µSi/cm en verano; 104 µSi/cm contra 41 µSi/cm en otoño). Lo mismo fue observado con los sólidos totales (88 mg/L y 68 mg/L en

verano y 90 y 36 mg/L en otoño para las estaciones 5 y 6 respectivamente). La DBO₅ fue mínima, con valores de 4,9 y 4,1 para la E5 y E6 respectivamente en verano y 3 mg/L para E5 y 1 mg/L para la E6 en otoño. Desde el punto de vista bacteriológico, los valores de coliformes totales se encontraron por debajo de 300 NMP/100 ml para el verano y el otoño; 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 (E5), se observó la influencia del sistema costero bahía Redonda – laguna Nimez, con valores de amonio de 0,71 mg/L y de nitrato + nitrito de 0,03 mg/L. En la estación E6, el amonio se encontró un orden de magnitud menor (0,09 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, verano y otoño, pero no en invierno en donde los procesos biológicos son más lentos e impactan en el Lago Argentino.

El gráfico 20 sintetiza lo más importante observado en las cuatro campañas.

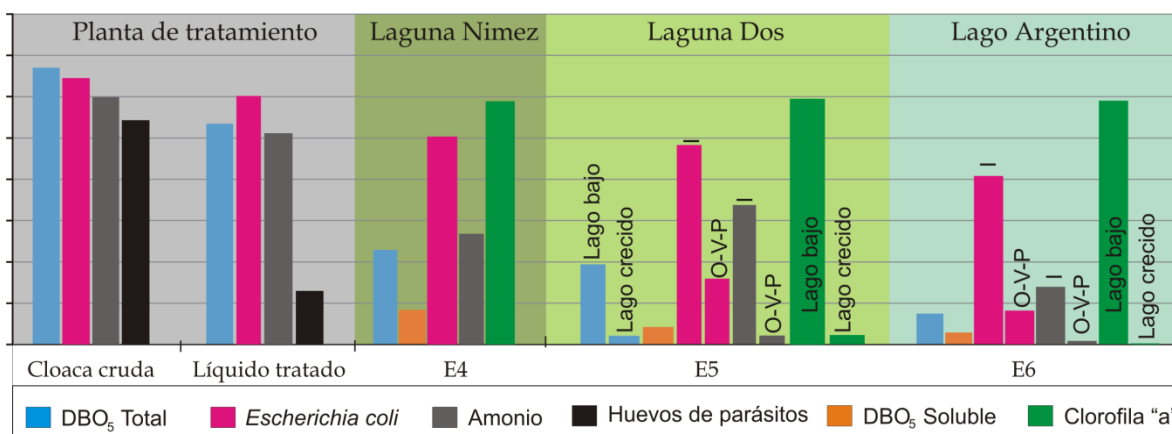


Gráfico 20. Algunos parámetros que reflejan el funcionamiento del sistema. P: primavera; V: verano; O: otoño; I: invierno. Laguna Nimez, corresponde a la laguna 1.

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 cuatro 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 eficiente y obligatorio durante buena parte del año, pero no sucede lo mismo en invierno. Se hace necesario entonces un control del uso del agua por parte de los usuarios (Municipio, Servicios Públicos), para minimizar el aporte al sistema y hacer más efectivo el funcionamiento de la Planta de Tratamiento.

- 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 limpieza profunda y 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. Es recomendable realizar estas mismas actividades sobre el otro tren de lagunas. Sería conveniente conocer los rendimientos actuales del sistema de tratamiento mejorado, de manera de aportar datos ante la nueva inversión realizada. Sería importante en el corto plazo, la ampliación del sistema de tratamiento que se encuentra en obra hace tiempo y que permitiría satisfacer la demanda de una ciudad en crecimiento. Sin embargo, aún con ambos sistemas de tratamiento en marcha (el actual en mejores condiciones y la ampliación), la capacidad de tratamiento estaría cercana a la población actual de la Ciudad. Esto significa que la obsolescencia del sistema ya no sería una realidad con la puesta en marcha del sistema renovado y ampliado.

- 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 a futuro 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 residual 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 confirma 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 estos 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.

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).