

**Impacto de las aguas residuales de la localidad del Calafate sobre la Reserva Municipal Laguna Nimez.**



**Mauricio Faleschini <sup>(1,2)</sup>, Macsen Coronato <sup>(3)</sup> y José Luis Esteves <sup>(1)</sup>**

**Informe Técnico**

**Diciembre 2015**

- 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

---

<b>Agradecimientos</b> .....	3
<b>Introducción</b> .....	3
<b>Materiales y Métodos</b> .....	6
<b>Descripción de cada Estación</b> .....	7
<b>Mediciones realizadas en cada estación de muestreo</b> .....	16
<b>Descripción de las técnicas</b> .....	16
<b>Resultados</b> .....	19
<b>Parámetros medidos <i>in situ</i></b> .....	19
<b>Sólidos</b> .....	22
<b>Sólidos sedimentables</b> .....	22
<b>Sólidos totales y sólidos suspendidos</b> .....	22
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b> .....	25
<b>Bacteriología</b> .....	27
<b>Clorofila "a" y feofitina</b> .....	30
<b>Actividad de Radon-222</b> .....	33
<b>Conclusiones del estudio</b> .....	34
<b>1) Sistema cloacal y Planta de Tratamiento</b> .....	34
<b>2) La bahía Redonda y la laguna Nimez como humedal</b> .....	35
<b>3) Arroyo Calafate</b> .....	35
<b>Recomendaciones</b> .....	36
<b>Alternativa para el actual sistema</b> .....	38

## Agradecimientos.

---

A todo el equipo de la Reserva laguna Nimez, que hicieron de esta campaña un trabajo a fondo desde el punto de vista técnico como humano: Laura Estrampes, Josefina Ramos, Luis Gabriel Sartori, Enzo Vega Salinas, Julián Taniel Pérez, Cristian Sanhueza, María Soledad López Belsue, Pablo Benítez Gaona. Al CENPAT por el uso de algunos equipos compartidos con Fundación Patagonia Natural. El equipo técnico de la Fundación que revisó críticamente este Informe.

## Introducción

---

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

Luego de 10 años de aquel estudio, la población se ha incrementado sustancialmente, pasando de 6.410 habitantes en el 2001 a 18.864 habitantes en el 2010 (<http://www.indec.gov.ar/>). Teniendo en cuenta una proyección en los últimos 5 años de 150% de incremento poblacional, la población estaría en el orden de los 27.000 habitantes para el año 2015. Con este incremento los servicios sanitarios también sufren concomitantemente el mismo proceso, si bien muchas veces en detrimento de las capacidades de tratamiento de residuos urbanos, tanto sólidos como líquidos. En este sentido, el trabajo realizado por Ampuero et al. (2014), marcan como los problemas urbanos más relevantes de El Calafate, al vertedero de residuos urbanos (VRU) y al servicio de cloacas. Ambos se encuentran sobre la margen sur del lago Argentino.

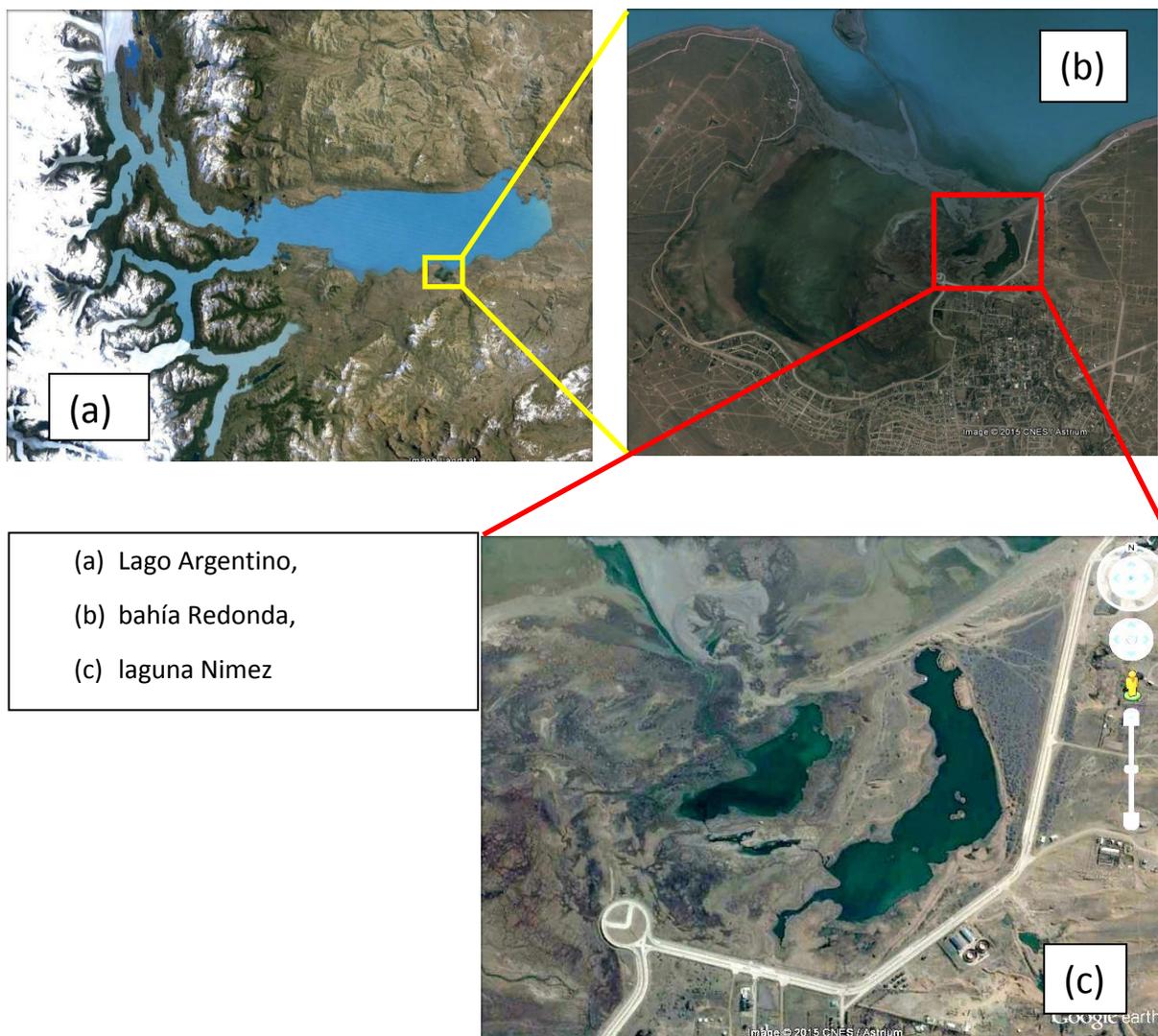


Figura 1. Sistema lago Argentino (a), bahía Redonda (b), laguna Nimez (c).

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 numerosos aves que nidifican, reposan y/o se alimentan en la misma. La Municipalidad de Calafate, con razón, la ha declarado Reserva Municipal. Es por otra parte, Sitio AICA SC12 (Área importante para la Conservación de las Aves o IBA, por su sigla en inglés).

Esta constituye un lugar de visita importante para los turistas que recorren la región. El circuito pedestre de aproximadamente 2500 metros de extensión (Fotografía 1), permite la observación de la avifauna y de la flora del lugar, con refugios para una mejor observación. La figura 1 muestra la posición relativa de la Reserva.



Fotografía 1: Sendero que rodea a la laguna Nimez.

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

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. Se incluyó en el estudio la calidad del agua del arroyo Calafate cuando vuelca a la bahía Redonda y se analizó el ingreso de agua de la bahía Redonda al lago Argentino. Igualmente, se analizaron tres pequeños manantiales, dos en el área de Nimez y el tercero cercano a la Casa Verde con el fin de analizar la surgencia de agua subterránea al sistema lagunar, mediante actividades de gas Radón.

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 nueve 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.



Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo.

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	ingreso de agua a la laguna Nimez (1)
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	Salida laguna 2
6	50°19'06,48"S	072°16'36,84" W	Salida bahía Redonda en zona de mezcla con la salida de laguna 2.

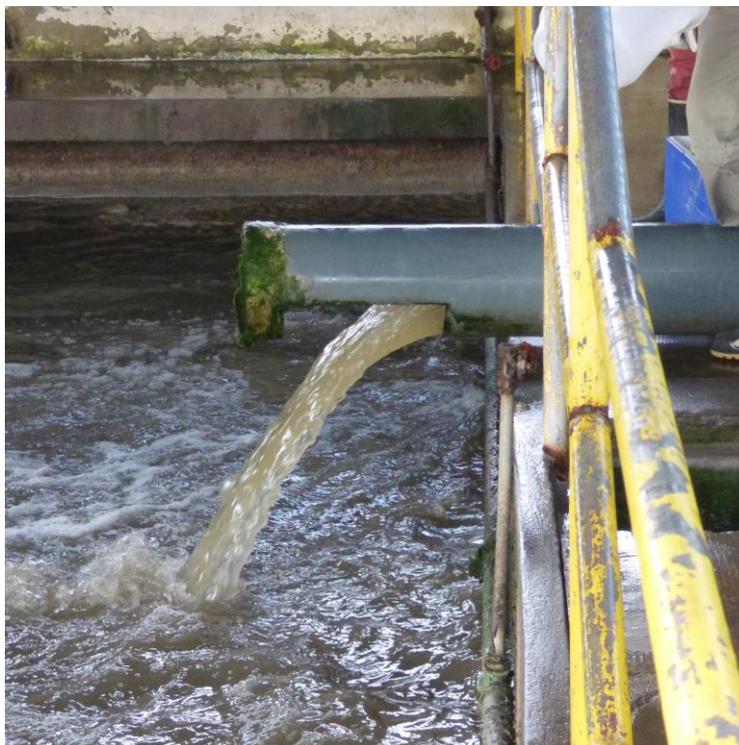
6´	50°19'05,90"S	072°16'38,26" W	Salida bahía Redonda antes de encontrarse con el canal de la laguna 2.
6"	50°19'03,17"S	072°16'27,46" W	Salida de agua de bahía Redonda y laguna 2 al lago Argentino.
7	50°19'59,13"S	072°16'36,57" W	Arroyo Calafate (en el puente del Boulevard Kirchner)

**Surgencia de agua subterránea.** Para analizar la existencia de surgencia de agua subterránea al sistema lagunar, se tomaron muestras en tres sitios diferentes, dos de ellos en el humedal frente a la laguna Nimez y el tercero frente a la Casa Verde en la bahía Redonda. Su ubicación geográfica fue la siguiente:

- 1) Pantano de Shrek: 50°19'28.67"S; 072°15'48.16"O
- 2) Lagunita de los Patos: 50°19'40.65"S; 072°16'4.56"O
- 3) Casa Verde: 50°20'1.47"S; 072°18'53.08"O

#### 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 m<sup>3</sup>/hora (Fotografía 2) (información, Ing. Hentic).



Fotografía 2. Ingreso de agua a la Planta de Tratamiento (Estación 1)

**Estación 2.** Corresponde al ingreso del agua tratada proveniente de la planta de Tratamiento a la Laguna 1 del sistema Nimez (Fotografías 3 y 4). El caño proveniente de la planta de tratamiento desemboca en una cisterna ubicada en el humedal. El caudal es variable y seleccionable desde la Planta. El caudal diario no ha podido determinarse aunque sería bastante menor al ingreso a la Planta ya que una parte de destina a otros usos. El excedente de esta cámara cae a la marisma y se vuelca en la Laguna. La vegetación es densa y formada por arbustos variados fortificados por la alta concentración de nutrientes minerales que se vuelcan en el entorno.



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

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



Fotografía 4: Cisterna de ingreso del agua tratada a la laguna Nimez (Estación 2).

**Estación 3.** Esta estación se ubicó sobre hacia el fondo de la Laguna 1. Corresponde a una zona sin flujo de agua importante y en consecuencia, con un elevado tiempo de estadía en esta zona. La mezcla homogénea es difícil en esta estación al estar alejada del ingreso y del egreso de la Laguna (Fotografía 5 y 6).



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



Fotografía 6: Muestreo en la estación 3 de la laguna Nimez.

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



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

**Estación 5.** Se ubicó en la salida de la laguna 2, a la altura del alambrado que limita la Reserva (Fotografía 8).



Fotografía 8. Estación 5 a la salida de la laguna 2 al lago Argentino, en el límite de la Reserva.

**Estación 6.** Se tomó a unos 10 metros aguas abajo del encuentro entre dos riachos que terminan en el lago Argentino: el que proviene de la laguna Nimez y aquel que viene de la bahía Redonda (Fotografía 9). Para tratar de conocer si existen diferencias entre ambas fuentes, se tomaron dos muestras (marcadas como 6' y 6'') en el riacho a la salida de la bahía Redonda y unos 100 metros aguas abajo de la confluencia de ambos riachos. El primero (estación 6'; fotografía 10), da alguna información de la bahía Redonda; el segundo (6''; fotografía 11) permite conocer la eficiencia de mezcla del agua proveniente de las dos fuentes.



Fotografía 9: Estación 6. Zona de unión de los arroyos provenientes de la laguna Nimez y de la bahía Redonda.



Fotografía 10: Estación 6'. Muestreo en el arroyo que proviene de la bahía Redonda, antes de unirse al arroyo que proviene de la laguna Nimez. Puede observarse el color verde del agua que proviene de la laguna Nimez.



Fotografía 11. Estación 6". Riacho que recibe agua de la laguna Nimez y la bahía Redonda a 100 metros aguas abajo de la confluencia de ambos arroyos.

**Estación 7.** Se tomó en las inmediaciones del puente que cruza el arroyo Calafate a la altura del boulevard N. Kirchner (fotografía 12).



Fotografía 12. Arroyo Calafate, antes de su llegada a la bahía Redonda (Estación 7).

### 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		Sistema Laguna Nimez						Arroyo Calafate
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E6'	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 <sub>5</sub> total									
DBO <sub>5</sub> filtrada									
Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>									
Huevos de parásitos									
Clorofila "a" y feofitina									
Nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, fosfato)									
Actividad de Radón	Ver aparte								

### 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 (DBO<sub>5</sub> 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 **DBO<sub>5</sub> 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) descripto por APHA (1995).

Rango: 0,05 - 45  $\mu\text{M}$

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  $\mu\text{M}$

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  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro. El filtro se congeló a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta el momento de su análisis. Se extrae la clorofila del filtro mediante acetona al 90% durante 24 horas. Se centrifugó y el sobrenadante se leyó en fluorómetro Turner®. Se aplicaron las ecuaciones de acuerdo a la técnica descrita por APHA (1995). Con las ecuaciones se obtiene una concentración de fitoplancton vivo (**clorofila**) y muerto (**feofitina**).
- **Medición de la actividad de Radón-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ).** Para tratar de conocer si existe un flujo de agua subterránea que pudiera aportar a la zona costera del lago Argentino cantidades de agua con características diferentes, se realizaron tres mediciones de la actividad de Radón en dos sitios de la laguna Nimez y en un sitio cercano a la casa Verde en bahía Redonda. La presencia de este elemento químico brinda un indicio de ingreso de agua desde napas subterráneas al sistema lagunar. Las mediciones de la actividad de  $^{222}\text{Rn}$  se realizaron utilizando un equipo RAD7 (DurrIDGE, Company Inc).

## Resultados

### Parámetros medidos *in situ*

Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 3 y en la Figura 3.

La **temperatura** presentó valores normales para la época del año, con el menor valor en el arroyo Calafate (6,4 °C) y los máximos en la Laguna 2 y en las estaciones cercanas al Lago Argentino, con valores que alcanzaron los 16,7°C.

El **pH** fue ligeramente alcalino (8,0) en el líquido cloacal crudo (al igual que en el agua del Arroyo); mientras que el líquido tratado (E2; 7,6) mostró una disminución respecto al líquido crudo; esto refleja procesos de degradación de materia orgánica en la Planta y como consecuencia se provoca una acidificación del líquido. Por otro lado, como es de esperar para un sistema lagunar con una alta carga de fitoplancton, las estaciones de las lagunas tuvieron un pH elevado (superior a 9,3), ocasionado por un activo proceso de fotosíntesis.

El **potencial Redox** fue negativo únicamente en el líquido crudo (-164 mV), lo cual es coherente por su composición. Lo interesante es que el líquido tratado a la salida de la Planta, alcanza a revertir esta situación, alcanzando un valor de +189 mV. En el resto de las estaciones de muestreo, se mantiene el signo positivo en este parámetro, reflejando un correcto funcionamiento.

**Tabla 3.** Temperatura, pH y potencial Redox en los sitios de muestreo

	<b>Temp.</b> <b>(°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Redox</b> <b>(mV)</b>
<b>E1</b>	14,9	8,0	-164
<b>E2</b>	13,3	7,6	+189
<b>E3</b>	12,9	9,4	+203
<b>E4</b>	13,2	9,4	+193
<b>E5</b>	16,5	10,0	+130
<b>E6</b>	16,7	10,0	+128
<b>E6'</b>	15,6	8,5	+188
<b>E6''</b>	16,3	9,6	+147
<b>E7</b>	6,4	8,0	+221

En lo que respecta al oxígeno disuelto (Figura 3), el líquido crudo presentó llamativamente un valor de saturación algo elevado. Esto podría estar ocasionado por procesos de dilución de su

composición sumados al transporte turbulento, lo que permite que ingrese a la Planta con una saturación superior al 55%. El líquido a la salida de la Planta mostró un 80% de saturación de oxígeno disuelto (20 % más respecto al crudo); esto puede ser un reflejo de un tiempo de estadía del agua en la planta insuficiente para un proceso activo de degradación de la materia orgánica. En las estaciones E3 a E6, los valores observados estuvieron sobresaturados (> 120%) y se relacionaron con una activa fotosíntesis. En la estación E6' la concentración fue del orden del 80% y en la mezcla de agua proveniente de la laguna Nimez y de la bahía Redonda, (E6'') fue de 100%. La Estación E7 (arroyo Calafate), mostró valores de 80% de saturación.

La conductividad (Figura 3) mostró valores bajos indicando el bajo contenido en sales de los cuerpos de agua en la zona. El arroyo Calafate presentó valores de 119  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el ingreso a la Planta la conductividad fue del orden de 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (a modo de comparación, el líquido cloacal en la ciudad de Puerto Madryn presenta valores que duplican esta cifra). En las lagunas, la conductividad fue bastante homogénea con valores del orden de 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; esta disminución podría estar asociada al aporte de agua de napa con menor conductividad, diluyendo el agua que se aporta desde la Planta de Tratamiento. El contenido de sales permitiría utilizar el líquido en emprendimientos de riego, sin presentar riesgos de salinización del suelo (por marcar una comparación, el líquido en las lagunas tiene prácticamente 3 veces menos contenido salino que el de las aguas de reuso de Puerto Madryn, la cual se utiliza en riego).

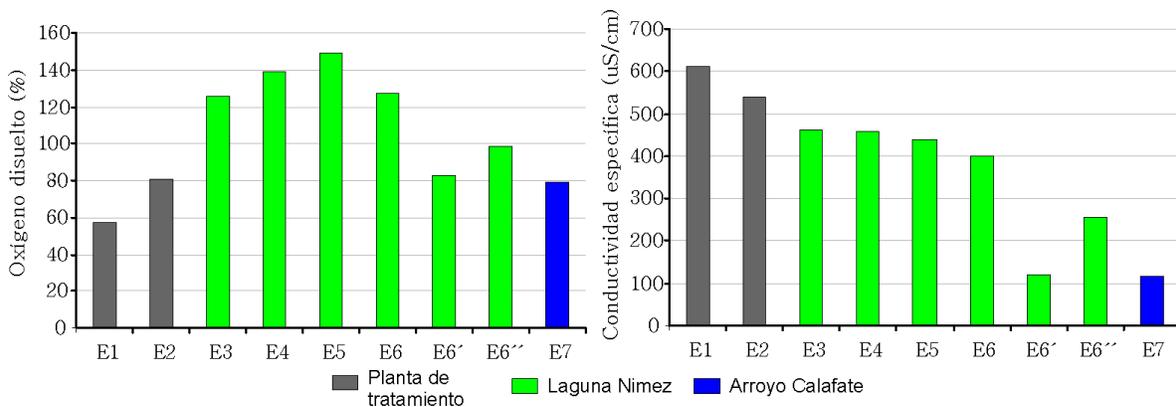


Figura 3: Oxígeno disuelto y Conductividad eléctrica en las estaciones analizadas.

### ¿Qué se observó en el 2005?

La temperatura se mantuvo prácticamente constante en las cuatro estaciones analizadas y del orden de los 17°C. El pH presentó valores típicos de un líquido cloacal (7,3 y 7,2 en las estaciones E1 y E2, respectivamente) y se registró un incremento en las estaciones E3 y E4, con 8,9 y 8,4 respectivamente. Este incremento se relacionó directamente con la producción primaria (microalgas, plantas acuáticas y terrestres). Se observó un mayor valor en la E3, lo cual estaría nuevamente relacionado a la acción predominante del viento Oeste.

El líquido crudo ingresó a la Laguna con valores de saturación de oxígeno disuelto del orden de 60%; esto es un reflejo del tratamiento secundario previo que se realiza en la Planta de Tratamiento, en donde tiene lugar un proceso de aireación mecánico. Cuando el agua pasó de la estación 1 a la 2 a través del canal, ya sobre la Laguna, se observó una disminución importante en la concentración de oxígeno disuelto. Esto puede asociarse a la marisma como un sistema consumidor de oxígeno, evidenciado por una densa vegetación y por lodos anóxicos que se ponen en resuspensión por la presencia de pisadas de animales como caballos, por ejemplo.

#### **¿Se observaron cambios en estos parámetros entre el primer (2005) y segundo muestreo (2015)?**

Hubo diferencias de casi 4 °C en la temperatura al ingreso a la laguna Nimez, siendo más fría en el último muestreo. Los valores de pH a la salida de la Planta en el primer muestreo (7,3) fueron menores a los registrados en el último muestreo (7,6). Ya en las lagunas, el pH siguió el mismo patrón en ambas ocasiones aunque fueron mayores en el 2015, lo que indicaría una mayor actividad fitoplanctónica.

Respecto al muestreo del 2005, el oxígeno disuelto a la salida de la Planta fue del 60% mientras que en el 2015 se elevó al 80%, producto posiblemente de un menor tiempo de estadía en la Planta. En ambos muestreos el oxígeno disuelto se incrementó en la Laguna (aunque en el muestreo de 2015 el aumento fue mayor, alcanzando valores por encima de 14 mg/L).

La conductividad presentó valores semejantes entre muestreos.

## Sólidos

### Sólidos sedimentables.

Como era de esperar, el líquido cloacal crudo presentó los mayores valores de sólidos suspendidos (1,9 y 5,5 ml en 10 minutos y 2 horas respectivamente). En el líquido tratado (E2) se detectaron sin embargo valores remanentes (0,7 y 1,3 ml en 10 minutos y 2 horas respectivamente), indicando que el tiempo de tratamiento no ha alcanzado a remover la totalidad de estos sólidos. No se observaron indicios de que los sólidos correspondiesen a arenas u otros sólidos inorgánicos, sino que los sólidos detectados tuvieron la apariencia de ser de origen orgánico. En las lagunas no se detectaron presencia de estos tipos de sólidos, aunque sí fueron detectados en la estación E6; estos sólidos no se asociaron a sólidos provenientes del sistema de tratamiento sino a generados en las lagunas (material fitoplanctónico). (Ver tabla 4 y fotografía 13).

**Tabla 4.** Valores obtenidos de sólidos sedimentables

	Sólidos sedimentables	
	10 minutos	2 Horas
E1	1,9	5,5
E2	0,7	1,3
E3	<0,1	<0,1
E4	<0,1	<0,1
E5	<0,1	<0,1
E6	0,3	0,3
E7	<0,1	<0,1



Fotografía 13. Medición de sólidos sedimentables mediante conos de Imhoff.

### Sólidos totales y sólidos suspendidos.

Los **sólidos totales** presentaron el valor mínimo en el arroyo Calafate (108 mg/L), en la Planta de Tratamiento (ingreso y entrada a la laguna Nimez) del orden de 380 mg/L y algo mayores en las estaciones de las lagunas (entre 400 y 460 mg/L). Este último incremento se asoció a la presencia de fitoplancton (Figura 6).

En lo que respecta a los **sólidos suspendidos**, se observó una interesante remoción en la Planta de Tratamiento: de 141,2 mg/L (E1) a 44,0 mg/L (E2). En las lagunas se observó un esperado

incremento, explicado por la presencia de fitoplancton y nuevamente el menor valor en el arroyo Calafate (2,7 mg/L) (Figura 4 y fotografía 14).

Cuando se discriminó entre sólidos suspendidos **volátiles y fijos**, se observó que la mayor presencia de sólidos fijos, o sea material inorgánico, se dio en el líquido crudo (ya que provoca el arrastre de arenas, por ejemplo) con un valor del 36,7% de sólidos fijos y el resto de volátiles (o sea, materia orgánica). De la Planta de Tratamiento, el 91% salió en forma orgánica (**volátiles**) y el 9% como sólidos **fijos**. En las lagunas y en la mezcla con el agua de la Bahía (E6), debido al gran desarrollo de fitoplancton, los sólidos volátiles representaron entre el 96 y el 99% del total de sólidos suspendidos. Por último, si bien los sólidos suspendidos en el arroyo Calafate fueron muy bajos, el 87% de estos fueron volátiles (predominando la materia orgánica por sobre el arrastre de material inorgánico).

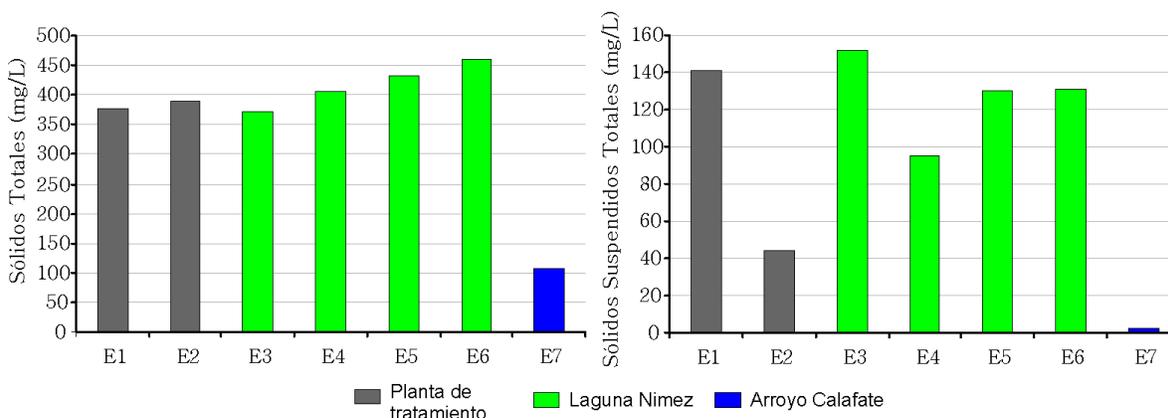
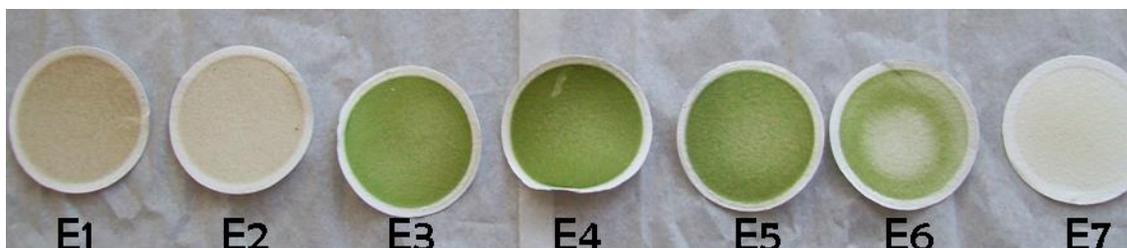


Figura 4. Concentraciones de sólidos totales (izquierda) y de sólidos suspendidos totales en las muestras analizadas.



Fotografía 14. Vista de la evolución de los sólidos suspendidos totales. Puede observarse a través de la coloración verde en las estaciones E3 a E6, la presencia de fitoplancton.

#### ¿Qué se observó en el 2005?

**Sólidos sedimentables.** Los valores observados fueron insignificantes en 10 minutos y bajos en 2 horas. Marca claramente la inexistencia de sólidos pesados (tipo arena).

**Sólidos suspendidos, totales, fijos y volátiles.** Fueron mayores en las estaciones 1 y 2 y disminuyeron en las estaciones 3 y 4. Las variaciones más notables se observaron en los sólidos suspendidos,

constituidos mayormente por elementos orgánicos provenientes del proceso de depuración en la Planta de Tratamiento.

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos en aquella oportunidad.

**Tabla 5.** Sustancias sólidas observadas en los muestreos del año 2005.

	Sólidos Sedimentables		Sólidos			
	10´ (ml/l)	2 Hs. (ml/l)	Suspendidos (mg/l)	Totales (mg/l)	Fijos (mg/l)	Volátiles (mg/l)
<b>Estación 1</b>	<0,1	0,7	184,0	613	342	271
<b>Estación 2</b>	<0,1	0,7	191,4	584	325	259
<b>Estación 3</b>	<0,1	0,9	31,0	448	287	161
<b>Estación 4</b>	<0,1	<0,1	32,0	416	283	133

**¿Se observaron cambios en estos parámetros entre el primer (2005) y segundo muestreo (2015)?**

Comparando ambos muestreos, en el 2015 se observó un menor contenido de sólidos suspendidos totales en el ingreso a la Laguna (44 mg/L contra 184 mg/L en el 2005). En la laguna Nimez se midieron entre 31 mg/L y 191 mg/l en 2005 y entre 95 y 150 mg/L en el 2015. Los valores aparentemente mayores en el último muestreo se explican por el mayor desarrollo de fitoplancton. En cuanto a los sólidos totales los valores observados se encontraron dentro del mismo orden de magnitud.

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.

## Demanda Bioquímica de Oxígeno

El líquido cloacal crudo ingresó a la planta de Tratamiento con valores débiles (164 mg/L), de acuerdo a lo que establece la clasificación de Metcalf & Eddy (1996). En la Planta la remoción fue baja (25%), reflejado en una concentración de DBO<sub>5</sub> en el ingreso a la Laguna de 122 mg/L; este valor se encontró por encima del límite establecido para ser volcado a un cuerpo receptor (algunos ejemplos: 50 mg/L (Santa Cruz); 30 mg/L (Mendoza); 35 mg/L (Chile)). Una vez en el sistema de la Laguna Nimez el valor de la DBO<sub>5</sub> total disminuyó por debajo de los 50 mg/L (entre 30 mg/L y 45 mg/L). En el agua del arroyo Calafate, fue mínima la presencia de materia orgánica, con una DBO<sub>5</sub> total menor a 1,5 mg/L (Figura 5).

Cuando se analiza la DBO<sub>5</sub> filtrada (es decir, habiendo filtrado el fitoplancton), los valores observados se encontraron por debajo de 15 mg/L (Figura 5).

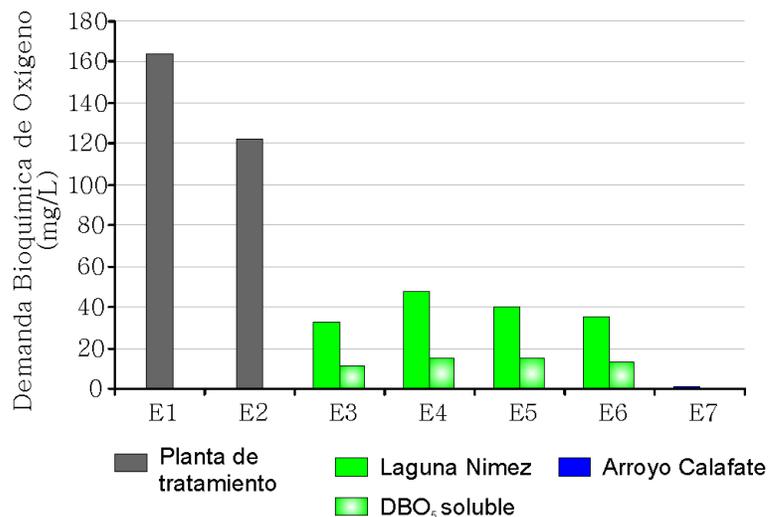


Figura 5. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

### ¿Qué se observó en el 2005?

En el muestreo del 2005, la DBO<sub>5</sub> total en el ingreso a la Laguna (salida de la planta de tratamiento), fue de 129 mg/l, representando prácticamente un líquido crudo con poca degradación. En la Laguna Nimez los valores disminuyeron hasta 22 mg/L.

**¿Se observaron cambios en este parámetro entre el primer (2005) y segundo muestreo (2015)?**

En el muestreo del 2005, la DBO<sub>5</sub> total en el ingreso a la Laguna (salida de la planta de tratamiento), fue similar al 2015 (~125 mg/L); al igual que en la Laguna Nimez (del orden de 27 mg/L), por lo que no se han detectado cambios en la planta de Tratamiento a la luz de este parámetro analizado, mientras que la Laguna por el momento alcanza a adaptarse y a tratar el líquido que recibe.

La Provincia de Santa Cruz (1996), establece en su Ley 1451, un límite de 50 mg/l de DBO<sub>5</sub> 20°C para el vertido en canales de desagüe. La Unión Europea (1991) establece un máximo de DBO<sub>5</sub> 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.

## Bacteriología

Los niveles bacteriológicos del líquido tratado (ingreso a la laguna Nimez) han sido similares a los del líquido cloacal crudo (del orden de  $2 \times 10^6$  NMP/100ml). A la salida de este sistema de tratamiento no hay desinfección adicional por lo que estos resultados eran esperables (Figura 6). 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.

En la Laguna 1 se establecieron dos situaciones bien marcadas: en el punto E3 se registraron los valores más bajos ( $10$  NMP/100ml); esto se asocia a un flujo muerto del líquido en esa dirección por una cuestión de hidrodinámica y morfología de la laguna; este rincón quedaría aislado del recorrido principal del líquido. En el camino más directo del líquido desde la E2, se encuentra la estación E4 (ver figura 2); aquí los valores fueron superiores a E3, aunque menores a los de la E2. La remoción bacteriana fue de 94 y 99,9 % para coliformes totales y *Escherichia coli* respectivamente. El proceso de remoción bacteriana continuó en la Laguna 2, alcanzándose valores inferiores a 100 NMP/100 ml; es decir, rendimientos superiores a 99,95 % (Figura 6).

El arroyo Calafate mostró concentraciones de coliformes totales y de *Escherichia coli*, del orden de 13000 y de 4500 NMP/100 ml, respectivamente; estos valores constituyen un indicador de contaminación bacteriológica aguas arriba del punto de muestreo. La bahía Redonda recibe la carga de este Arroyo así como de manantiales de agua surgente (Figura 6).

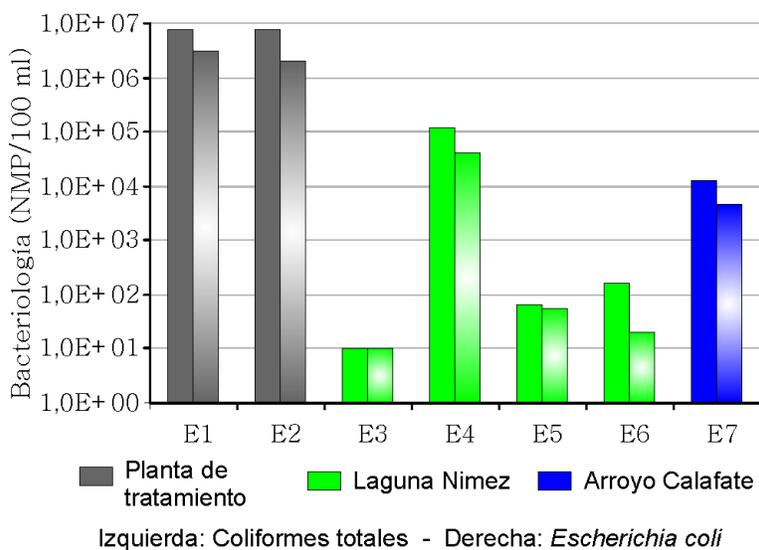


Figura 6. Concentraciones de coliformes totales y *Escherichia coli* en las estaciones de muestreo.

### ¿Qué se observó en el 2005?

Se observaron concentraciones elevadas de coliformes totales, tanto en la estación 1 (ingreso a la Laguna) como en la estación 2, del orden de  $10^8$  NMP/100 ml. *Escherichia coli* mostró valores del orden de  $10^6$  NMP/100 ml. Aunque menores, superaron los límites establecidos por la legislación para vertidos en cuerpos de agua dulce. Por otro lado, se observaron diferencias entre las estaciones 3 y 4. La 3, ubicada al Este de la desembocadura del canal, mantuvo las concentraciones elevadas ( $10^6$

NMP/100 ml para coliformes fecales y  $10^5$  NMP/100 ml para *Escherichia coli*). La estación 4, ubicada al oeste de la desembocadura del canal mostró valores dos órdenes de magnitud inferiores en los dos componentes bacteriológicos analizados (Tabla 6). De estos datos se concluye que dentro de la Laguna y sobre el sector sur, existe posiblemente una deriva del agua hacia el Este por acción del viento.

**Tabla 6:** Concentración media (NMP/100 ml) de coliformes totales y de *Escherichia coli* en el año 2005.

	<b>Coliformes Totales (NMP/100ml)</b>	<b><i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)</b>
<b>Estación 1</b>	$2,22 \times 10^8$	$5,31 \times 10^6$
<b>Estación 2</b>	$6,40 \times 10^7$	$6,24 \times 10^6$
<b>Estación 3</b>	$1,45 \times 10^6$	$3,64 \times 10^5$
<b>Estación 4</b>	$6,4 \times 10^4$	$6,97 \times 10^3$

**¿Se observaron cambios en los parámetros bacteriológicos entre el primer (2005) y segundo muestreo (2015)?**

La bacteriología no ha mostrado variaciones significativas en los dos muestreos realizados. Se observó el mal funcionamiento de la planta de tratamiento en relación a la capacidad de tratamiento bacteriológico. Los valores en ambos casos superaron las normas nacionales e internacionales relacionadas con el vertido a cuerpos de agua lacustres. Dentro de la Laguna Nimez, se mantuvo el mismo comportamiento: mayores valores en la dirección del puente que une ambas lagunas, hacia donde se dirige el flujo predominante del líquido (en el 2005 fue:  $1,45 \times 10^6$  NMP de coliformes totales cada 100 ml y de  $3,64 \times 10^5$  NMP de *Escherichia coli* cada 100 ml). Mientras que en el extremo con menor flujo, los valores en el 2005 fueron más elevados:  $6,4 \times 10^4$  de coliformes totales cada 100 ml y de  $6,97 \times 10^3$  NMP de *Escherichia coli* cada 100 ml). Aunque hay que aclarar que ésta última estación en el 2005 fue tomada más cerca del ingreso del líquido tratado que en el 2015. En consecuencia, la Laguna continuó siendo una continuidad del tratamiento y – al menos en esta época del año – evita el ingreso al lago Argentino de agua con alta carga bacteriológica. En este sentido su función es clave como laguna de estabilización.

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

### **Huevos de parásitos**

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

El líquido cloacal crudo de la localidad de Calafate presentó una concentración de 6 huevos de parásitos por litro (lo cual es un valor bajo, comparado, por ejemplo, con Puerto Madryn (26) y más aún si se compara con zonas de gran proliferación de este tipo de enfermedades y con buena parte de la población en malas condiciones sanitarias, como por ejemplo en países de África, registrando hasta 3000 huevos de parásitos por litro). En el líquido tratado (ingreso a la laguna Nimez), la concentración fue de 2 huevos de parásitos por litro.

Debido a que los huevos de parásitos son más densos que el agua, la manera más eficiente de ser eliminados ocurre en sistemas lagunares, donde un mayor tiempo de estadía provoca su sedimentación y en consecuencia, su eliminación del agua superficial. Esto fue lo observado, ya que no se registraron huevos de helmintos en las muestras luego del paso por la Laguna Nimez (E4) ni luego del paso por la Laguna Dos (E6).

Este parámetro no fue medido en el trabajo del 2005.

### Clorofila "a" y feofitina

La clorofila "a" es un parámetro biológico que nos permite conocer la biomasa vegetal (en general de fitoplancton), que hay en el sistema. Por este motivo, el análisis de clorofila "a" no se realizó en las estaciones 1 ni 2, ya que el agua proveniente de la planta de Tratamiento no presenta clorofila por ausencia de fotosíntesis. Debido a que las dos lagunas del sistema Nimez están funcionando como parte del tratamiento del agua residual de Calafate, la concentración de pigmentos son también indicadores del funcionamiento del sistema. El rango de las concentraciones de clorofila "a" se encontró entre 846 y 1167  $\mu\text{g/L}$ . Pearson (1996), considera que valores por encima de 300  $\mu\text{g/L}$  reflejan un sistema de tratamiento lagunar saludable y ausencia de anaerobiosis. Las concentraciones de feofitina indican los niveles de fitoplancton muerto. En el muestreo de 2015 estos valores fueron menores a la mitad del contenido de clorofila "a", reflejando un sistema saludable (Figura 7). En el arroyo Calafate los valores fueron bajos (4,8  $\mu\text{g/L}$  de clorofila "a" y 0,9  $\mu\text{g/L}$  de feofitina). Esto refleja un origen diferente en el agua que llega a la bahía Redonda.

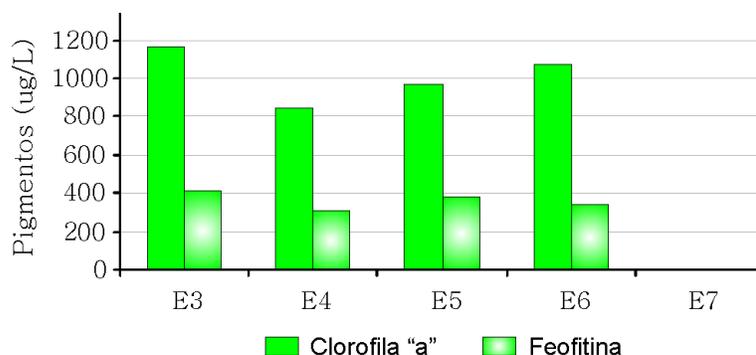


Figura 7. Concentraciones de clorofila "a" y feofitina.

### ¿Qué se observó en el 2005 en cuanto a concentración de Clorofila "a"?

En la estación 2 –la desembocadura del canal en la Laguna – su concentración fue relativamente baja (7,7  $\mu\text{g/L}$ ), mientras que aumentó significativamente en las estaciones 3 y 4. En la estación 4, el valor observado (52,5  $\mu\text{g/L}$ ), fue aún menor que en la estación 3 (466,7  $\mu\text{g/L}$ ). Este comportamiento coincide con lo observado para otros parámetros y se lo relaciona con la influencia de este canal (y de sus constituyentes) sobre la Laguna, por la deriva del agua que sale de la planta de Tratamiento. En la estación 3, el tiempo de permanencia del agua en la Laguna ha sido suficientemente grande y se refleja con una concentración elevada de clorofila "a".

### ¿Se observaron cambios en estos pigmentos fotosintéticos entre el primer (2005) y segundo muestreo (2015)?

Comparando con el muestreo del 2005, en el último muestreo de 2015 la concentración de clorofila "a" ha superado significativamente los registrados hace 10 años (E3= 467  $\mu\text{g/L}$  y E4= 52  $\mu\text{g/L}$ ), con concentraciones del orden de 1000  $\mu\text{g/L}$ . Estos datos, más la concentración de oxígeno disuelto y el pH, indican una mayor actividad del fitoplancton en el último muestreo.

## Nutrientes inorgánicos

Dentro de la planta de Tratamiento, el nitrógeno inorgánico fue dominado por el amonio (40 mg/L). Se detectó una disminución entre el líquido crudo y el tratado (18 mg/L de amonio) que induciría a pensar en una oxidación a formas oxidadas dentro del sistema. Sin embargo, el tiempo de estadía es muy limitado para una nitrificación intensa que permita consumir los 22 mg/L del amonio faltantes. Una posible explicación es que puede haber una variabilidad diaria en el amonio que ingresa al sistema por las diferentes actividades humanas que se desarrollan a lo largo del día. Una vez en la Planta, estas concentraciones se homogeneizan (Figura 8).

En el ingreso a la laguna Nimez (líquido recientemente tratado), fue mínima la presencia de las formas oxidadas del nitrógeno; esto reafirma el mal funcionamiento de la Planta que se encuentra trabajando con exceso de carga. En las lagunas ha sido notable la disminución del amonio y del fosfato, alcanzando valores por debajo de 4 mg/L y de 1,2 mg/L, respectivamente. Al mismo tiempo se hizo notoria la presencia de nitrificación ( $\sim 0,13$  mg/L de nitrato + nitrito). En el arroyo Calafate no se detectó presencia de amonio y una baja concentración de nitrato+nitrato y de fosfato (0,03 mg/L y 0,1 mg/L, respectivamente) (Figura 8).

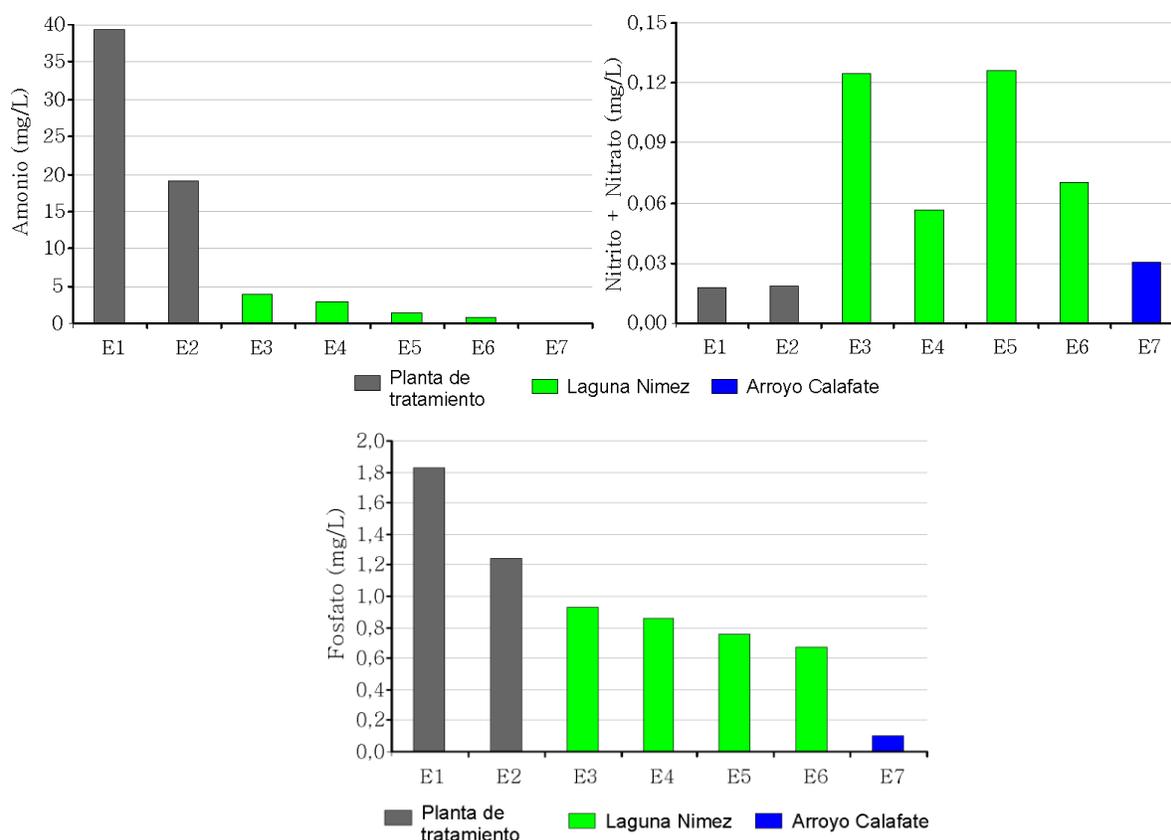


Figura 8. Concentraciones de nutrientes en el sistema bajo estudio

(Arriba – izquierda: amonio; arriba – derecha: nitrito+nitrato; abajo: fosfato).

**¿Qué se observó en el 2005 en cuanto a concentración de nutrientes inorgánicos?**

**Amonio.** Los valores fueron máximos en las estaciones 1 y 2. Su concentración (41 mg/L), es un indicio de que existe un tratamiento previo; en caso de anoxia total este valor debería haber sido más elevado. En la Laguna, las concentraciones disminuyeron sensiblemente; la estación 3 (13,6 mg/L) algo más elevada que la 4 (11,9 mg/L), reflejando la deriva del agua en ese sector de la Laguna.

**Nitrito y Nitrato.** Sus valores fueron bajos o no detectables en las estaciones 1 y 2. En este caso, el amonio es el componente más estable en un ambiente con alta hipoxia (disminución de oxígeno disuelto), por lo que las bajas concentraciones de nitrito y nitrato son normales. En la Laguna, ambos compuestos incrementaron su concentración por la existencia de procesos de nitrificación (E3: 0,1 mg/L; E4: 0,04 mg/L, para nitrato+nitrito en ambas estaciones).

**Fosfato.** Este compuesto se mantuvo con concentraciones relativamente elevadas en todo el sistema, con valores entre 4,0 y 5,0 mg/L.

#### **¿Se observaron cambios en estos nutrientes entre el primer (2005) y segundo muestreo (2015)?**

Comparando con el muestreo de 2005, las concentraciones de amonio y fosfato fueron menores en el último muestreo (para el líquido tratado y para las estaciones de la Laguna Nimez). Las menores concentraciones de amonio en el líquido tratado podrían estar asociadas a una mayor dilución dentro de la Planta o un menor tiempo de estadía. La baja concentración de fosfato también puede relacionarse en la diferente formulación de detergentes que han disminuido la concentración de fosfato en su composición. En el sistema Nimez, una mayor presencia de fitoplancton (la clorofila duplicó los valores observados en el 2005) significa también un mayor consumo de estos nutrientes. En el muestreo de 2015, se registró una mayor nitrificación (oxidación del amonio a nitrito+nitrato).

### Actividad de Radon-222.

El Radón ( $^{222}\text{Rn}$ ), es un trazador no reactivo y con un bajo tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ : 3,8 días). Hijo del  $^{226}\text{Ra}$  ( $t_{1/2}$ : 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).

En las mediciones realizadas en lo que denominamos lagunita de los patos (muy cerca del SUM de la Reserva), la actividad medida fue relativamente baja con valores de  $354 \pm 105 \text{ Bq/m}^3$ . La temperatura ( $8,3^\circ\text{C}$ ) más baja que en el resto del sistema Nimez y algo mayor que en el arroyo Calafate. El oxígeno disuelto estuvo cercano a la saturación, con baja conductividad y sólidos totales (Tabla 7).

En el denominado Pantano de Shrek la actividad de radón se incrementó en un orden de magnitud obteniendo valores de  $2.177 \pm 179 \text{ Bq/m}^3$ . La temperatura ( $8,1^\circ\text{C}$ ) fue similar a la estación anterior. El oxígeno disuelto fue de 63%. Esta insaturación y los altos valores de radón indicarían un flujo de agua subterránea que aparece en este manantial. El resto de los parámetros analizados fue similar a los valores obtenidos en la estación anterior (Tabla 7).

Fuera de la zona de la laguna Nimez y cercana a la denominada Casa Verde, las actividades de radón medidas fueron de  $1.190 \pm 183 \text{ Bq/m}^3$ , tres veces superior a la lagunita de los patos y la mitad de la laguna de Shrek. La temperatura ( $12,3^\circ\text{C}$ ) fue similar a las observadas en el sistema Nimez. El oxígeno disuelto estuvo ligeramente insaturado (87%). La conductividad específica ( $298 \mu\text{S/cm}$ ), los sólidos disueltos totales ( $0,193 \text{ mg/L}$ ) y el pH (7,73), fueron los menores en estas tres estaciones (Tabla 7).

**Tabla 7.** Datos físicos y químicos encontrados en los manantiales del humedal.

	Radon (Bq/m <sup>3</sup> )	Temp (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Oxígeno disuelto (%)	Cond. Esp. (μS/cm)	SDT (mg/L)	Redox (mV)	pH
Laguna Shrek	$2.177 \pm 179$	8,1	7,44	63	450	0,293	283,8	8,4
Lagunita de los Patos	$354 \pm 105$	8,3	11,69	99,7	561	0,365	273,8	7,45
Casa Verde	$1.190 \pm 183$	12,3	9,28	86,8	298	0,193	209,7	7,73

Estos resultados confirman que una parte del origen del agua que fluye en el humedal proviene de napas subterráneas. Estas afloran en manantiales que drenan al lago Argentino. Aunque no se ha medido el caudal de los mismos, a la luz del número de pequeños manantiales que se observan en la bahía Redonda, el mismo no sería despreciable.

Este parámetro no fue medido en el trabajo del 2005.

## Conclusiones del estudio

---

### 1) Sistema cloacal y Planta de Tratamiento.

El incremento poblacional de la ciudad de Calafate, genera un impacto ambiental sobre su entorno, que también se encuentra acrecentado. El funcionamiento de una Planta de Tratamiento de efluentes urbanos, si bien minimiza este impacto, está relacionado con la capacidad de tratamiento real. A la luz de la información obtenida en la estación 2 (ingreso del agua a la laguna Nimez), su tratamiento no es completo en la Planta y la Laguna completa el tratamiento tanto secundario (degradación de la materia orgánica y mortalidad bacteriana) como terciario (absorción de nutrientes minerales). Las características del agua que se vierte en la Laguna reflejan su origen: alta carga bacteriana, bajo oxígeno, pH neutro, 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.

Los altos valores de caudales en relación a la población de la Localidad, comunicados desde la Inspección de Obras de Servicios Públicos (ing. Hendic) inducen a pensar en un exceso de consumo de agua en los domicilios y/o filtración desde el manto freático. Esto se confirma ya que el líquido cloacal se encontró bastante diluido en varios de los parámetros analizados.

Relacionado con el sistema cloacal, un tema a tener en cuenta es el seguimiento del circuito de agua dulce desde la captación, los usos en los hogares hasta la llegada al tratamiento. Como es natural, existe una variabilidad horaria en las concentraciones de parámetros analizados y esta se refleja en la calidad del agua que ingresa al sistema de tratamiento. En el ingreso a la laguna Nimez (salida del sistema de tratamiento) la variabilidad es menor y refleja las reales condiciones de tratamiento, así como la eficiencia del sistema.

De acuerdo a la información aquí obtenida, la Planta de tratamiento presenta un mal funcionamiento. La puesta en marcha de la ampliación del sistema de tratamiento debería ser prioritaria.

La materia orgánica (medida como la DBO<sub>5</sub> total) mostró, tanto en el muestreo de noviembre de 2015 como en el de noviembre de 2005 valores elevados con una eficiencia de remoción muy baja, generando un líquido tratado que ingresa a la laguna Nimez con más de 120 mg/L. Este valor excede toda normativa de vuelco a un cuerpo de agua natural.

La Laguna Nimez constituye entonces un ecosistema perturbado antrópicamente y no cambiará su situación por la existencia misma en su entorno de la ciudad de Calafate. Sin embargo, el objetivo a perseguir debe ser mitigar el impacto negativo de la Ciudad, haciendo un manejo adecuado de los efluentes, de los residuos sólidos, del manejo de la vegetación.

## 2) La bahía Redonda y la laguna Nimez como humedal.

La existencia de flujos de agua permanente a la laguna Nimez a través de la Planta de tratamiento, o a la bahía Redonda a través del arroyo Calafate, colabora con el mantenimiento del humedal, su flora y – por extensión – la permanencia de la fauna silvestre en el lugar. Si hipotéticamente se eliminara el agua que llega a la Laguna, posiblemente entraría en un ciclo natural de sequía – humedad, tal como habría existido antes de la existencia de la Ciudad. Se debería analizar la situación de la Laguna también a la luz de esta realidad.

A los fines del mantenimiento del humedal, tanto el arroyo Calafate como el aporte desde la Planta de Tratamiento son claves. Parte del agua tratada, con mejores condiciones físicas, químicas y biológicas, podría seguir derivándose hacia la Laguna, para mantener el humedal. El resto, podría destinarse al reuso, con riego de forestaciones, usos industriales, etc.

La laguna Nimez está funcionando como el sistema principal de tratamiento de las cloacas de la ciudad de Calafate. Este sistema remueve más del 70% de la materia orgánica que ingresa. Si analizamos la DBO<sub>5</sub> soluble (eliminación del fitoplancton), la eficiencia de remoción total asciende al 90%. Se debe sumar también la importante eficiencia en la remoción bacteriana y de nutrientes, que transforman al sistema en altamente eficiente.

Existen numerosos manantiales en el humedal que drenan al Lago. A la luz de los resultados obtenidos mediante análisis de la actividad de radón-222, podemos concluir que su origen proviene de napas subterráneas que drenan desde zonas más alejadas que la propia ciudad de Calafate.

## 3) Arroyo Calafate.

El arroyo Calafate constituye un sistema totalmente diferente de la laguna Nimez. Varios parámetros permiten caracterizarlo como un arroyo con origen natural y que debería mantenerse en esas condiciones: La temperatura, la conductividad, los sólidos totales, los suspendidos, los nutrientes como nitrato + nitrito y el fosfato, fueron bajos; no se detectó amonio. Sin embargo se debe tener en cuenta la presencia importante de coliformes totales y de *Escherichia coli*; estos valores constituyen un indicador de contaminación bacteriológica aguas arriba del punto de muestreo. Igualmente un ligero déficit de oxígeno disuelto que mostró valores de 80% de saturación.

## 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. 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 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. Si bien se desconoce el impacto actual de la ciudad de Calafate sobre el Lago Argentino - en este momento la laguna Nimez actúa como sistema intermediario obligatorio -, estimamos que éste debe ser bajo por la relativamente escasa población. Sin embargo, a juzgar por el incremento poblacional que está teniendo esta zona, es claro que el impacto se incrementará en igual medida. Se hace necesario entonces un control del agua, antes, durante y después del proceso de purificación.

- Reutilizar el agua. Debería reutilizarse toda el agua tratada, dejando para la Laguna aquella necesaria para mantener los humedales. Se debe analizar la posibilidad de regar cordones forestales y usos industriales o semi-industriales que no requieran una calidad "potable" (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.

- 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.

- Analizar la microflora de la Laguna. Los problemas de eutroficación implican también el desarrollo de poblaciones microalgales adaptadas a las nuevas condiciones; muchas veces, se generan especies nocivas para la salud animal. Hay información nacional e internacional que asocian el desarrollo de algas tóxicas al vertido de nutrientes (nitrógeno, fósforo) en concentraciones elevadas y con relaciones entre ellos diferentes de lo natural. Estas algas han generado mortalidades importantes en la avifauna. Conocer la evolución de los componentes de esta microflora ayudará a tomar determinaciones sobre qué calidad de agua debería llegar a la Laguna para mantener las poblaciones animales en buen estado de salud.

- Controlar el sistema lagunar. En base a los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda ampliar los mismos en dos épocas diferenciadas: 1. Cuando el lago Argentino alcanza su mayor nivel en donde el agua de la laguna Nimez se mezcla con la del Lago (Marzo-Abril). Se podrá

conocer aquí la influencia directa de la ciudad de Calafate en el lago Argentino y proponer soluciones correctivas. 2. Cuando la actividad biológica se encuentra disminuida por bajas temperaturas e irradiación (Junio-Julio). Se podrá conocer cómo se modifican las variables ambientales en el cuerpo de agua de la laguna Nimez y como colabora el sistema lagunar en el mantenimiento de un ecosistema ambientalmente equilibrado.

- 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 que podrían generar – en caso de incendios – problemas mayores sobre el entorno.

- Implementar en el corto plazo, la puesta en marcha de la nueva planta de tratamiento para satisfacer la demanda de una ciudad en crecimiento. Sin embargo, aún con ambos sistemas de tratamiento en marcha (el actual en mejores condiciones y el nuevo), la capacidad de tratamiento estaría cercana a la población actual de la Ciudad. Esto significa que la obsolescencia del sistema ya sería una realidad con la puesta en marcha del nuevo sistema.

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

- Mantener el humedal. La 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 humedal. 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.

- 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 innumerables 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 tiene sobrada experiencia en la difusión del valor y del cuidado del ambiente.

- Llevar tranquilidad a la comunidad que visita el humedal. La visita al lugar se hace por un sendero que se encuentra alejado del ingreso del agua a la Laguna (Estación 2) 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. No encontramos en consecuencia, ningún impedimento para que las visitas a la zona continúen como se realizan habitualmente.

#### Alternativa para el actual sistema

Queda claro a la luz de las conclusiones y recomendaciones, que el Sistema de la Laguna Nimez debería recibir un líquido tratado de buena calidad. Alimentar el humedal con líquido bien tratado en la Planta de Tratamiento, al mismo tiempo que el sistema natural (humedal) completa el tratamiento de aquellos parámetros que son difíciles de remover en plantas de tratamiento convencionales, como son la de barros activados. Estos parámetros son principalmente la bacteriología y los huevos de parásitos. Otra alternativa sería incorporar procesos de desinfección adicional, aunque la desinfección con cloro genera subproductos complicados para el ambiente y la desinfección mediante luz UV es actualmente costosa. Para el caso de los huevos de parásitos es aún más complejo, ya que no se remueven con los mecanismos de desinfección antes mencionados.

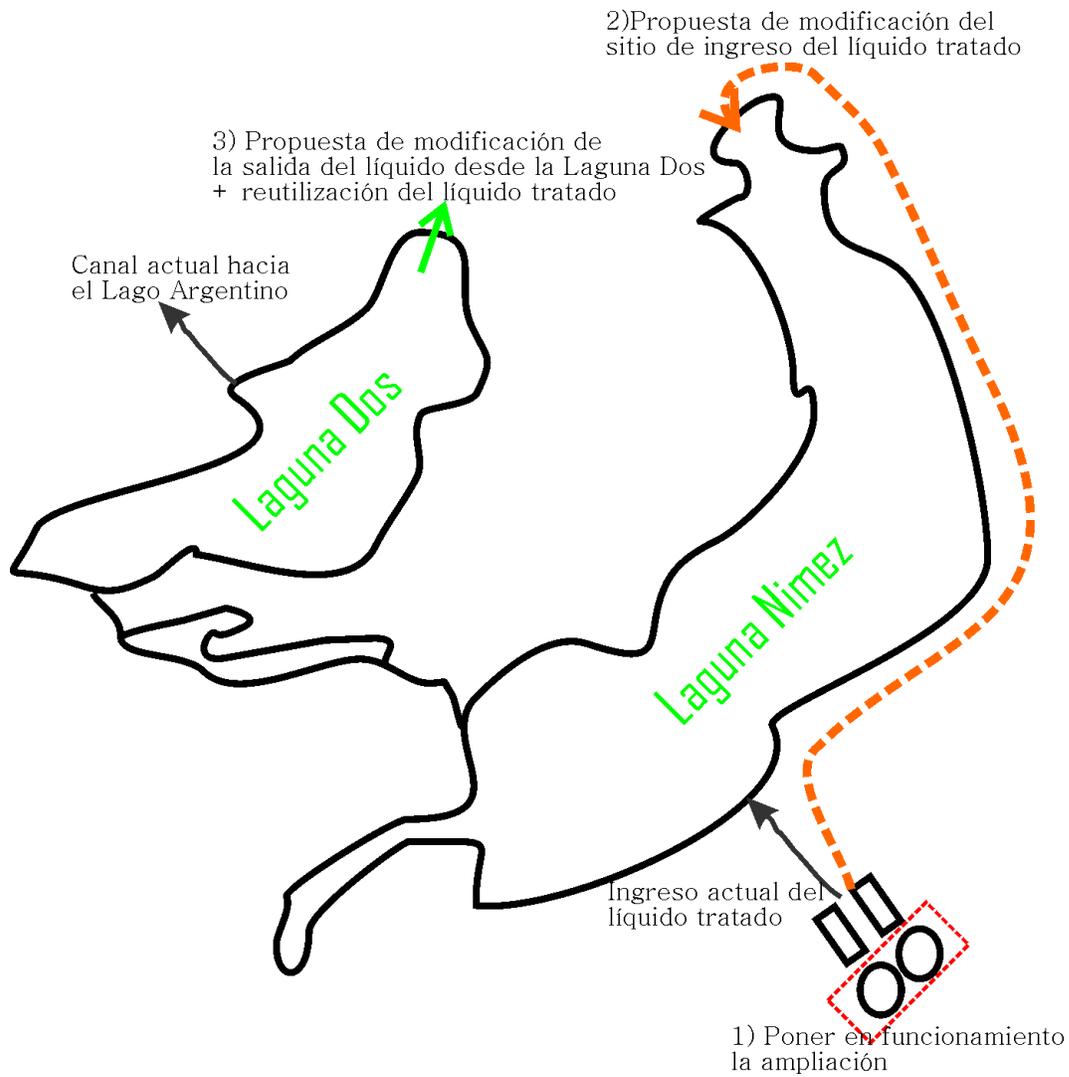
Una posible modificación, de manera de aprovechar la totalidad del sistema lagunar, es llevar el ingreso del líquido desde la Planta de Tratamiento a un punto en las cercanías donde se estableció la estación de muestreo E3. Esto aumentaría el tiempo de estadía y reduciría las posibles zonas “muertas” o anóxicas en el extremo Este de la laguna Nimez. Otra recomendación, sería la de trasladar el punto de salida de la Laguna Dos, de manera de aprovechar la totalidad de esta Laguna, pensando en maximizar el tratamiento (ver esquema 1).

Nuestra experiencia y nuestra vocación nos llevan a recomendar el reuso como destino final del líquido tratado. Es una discusión que creemos se debe dar en la comunidad. Si bien hacen falta ciertas obras sencillas, (cañerías, cambios en las estructuras de ingreso/salida, cisternas de almacenamiento), sabemos que puede resultar fructífera.

Es importante destacar, que si contrastamos el líquido tratado a la salida de la Laguna Dos (tal como está actualmente, es decir sin las modificaciones propuestas) con las directrices de la Organización Mundial de la Salud para riego con agua residual tratada, el líquido clasifica dentro de la Categoría “A”. Esta categoría permite el riego sin restricciones: riego de espacios públicos, campos de deportes, cultivos comestibles e industriales, forestaciones, etc.

Un aspecto a tener en cuenta, es que buena parte de los pobladores de la Localidad aún no cuentan con cobertura cloacal. Consideramos apropiado dejar asentado que se debería contemplar al momento en que llegue dicha obra, un sistema de tratamiento independiente al existente, ya que aún con la ampliación en funcionamiento, debería pensarse en otro sistema de tratamiento para los nuevos líquidos cloacales que se generarán y no pensar en que el sistema de la laguna Nimez reciba estos futuros líquidos.

Es probable que los líquidos que aún no están siendo recolectados por una red cloacal, sean los que están incrementando los niveles bacteriológicos en las aguas del arroyo Calafate.



Esquema 1. Alternativas sencillas de implementar para mejorar el flujo de agua en el sistema laguna Nimez.

## 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](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.
- Imberti Santiago y Albrieu Carlos, 2004. El Calafate – Argentina. Aves de la Laguna Nimez. Convenio Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Municipalidad de El Calafate. 32 pp.
- INDEC, 2005. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Argentina. [http://www.indec.mecon.ar/censo2001s2\\_2/datos/780000c111.xls](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.
- 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. Nº 90/2000 del (DO 7.03.2001). Máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres.
- 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 Nº 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).