

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

### II. Campaña Abril 2016



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

### Informe Técnico

Abril 2016

- 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> .....	8
<b>Mediciones realizadas en cada estación de muestreo</b> .....	15
<b>Descripción de las técnicas</b> .....	15
<b>Resultados</b> .....	18
<b>Parámetros medidos <i>in situ</i></b> .....	18
<b>Sólidos</b> .....	21
<b>Sólidos sedimentables.</b> .....	21
<b>Sólidos totales y sólidos suspendidos.</b> .....	21
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b> .....	24
<b>Bacteriología</b> .....	26
<b>Huevos de parásitos</b> .....	28
<b>Clorofila "a" y feofitina</b> .....	29
<b>Nutrientes inorgánicos</b> .....	30
<b>Actividad de Radon-222.</b> .....	32
<b>Conclusiones del estudio</b> .....	33
<b>1) Sistema cloacal y Planta de Tratamiento.</b> .....	33
<b>2) Sistema laguna Nimez</b> .....	33
<b>3) Arroyo Calafate.</b> .....	34
<b>4) Lago Argentino</b> .....	34
<b>Referencias</b> .....	36

## Agradecimientos.

---

Nuevamente el grupo de trabajo desea agradecer a todo el equipo de la UNPA de la Reserva laguna Nimez, que como siempre, hicieron de esta campaña un trabajo a fondo desde el punto de vista técnico y humano: Laura Estrampes, Josefina Ramos, Luis Gabriel Sartori, Enzo Vega Salinas, Julián Taniel Pérez, Cristian Sanhueza, Pablo Benítez Gaona. A José Pera por su muy buena disposición de llevarnos en su embarcación para el muestreo 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.

## Introducción

---

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

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

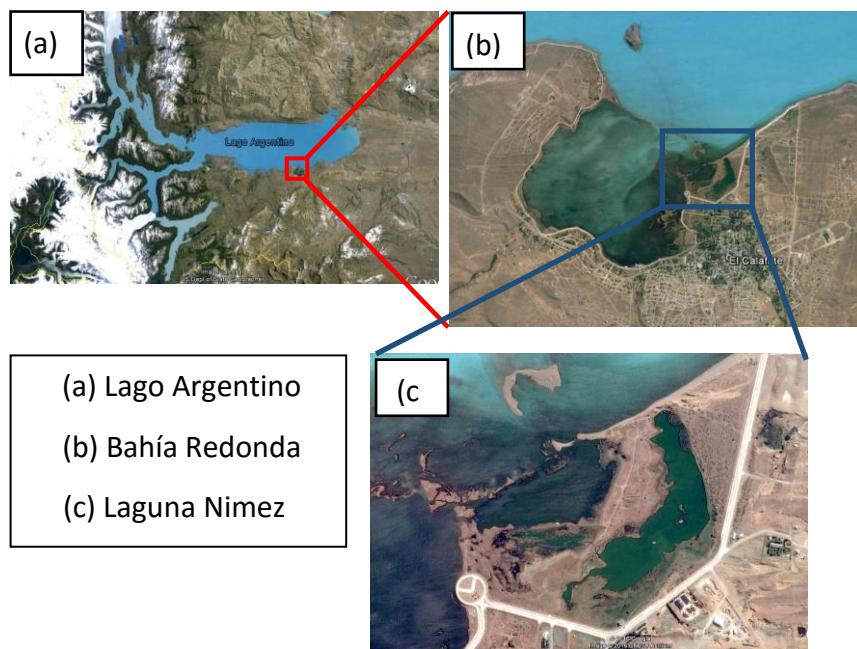


Figura 1. Sistema lago Argentino (a), bahía Redonda (b), laguna Nimez (c).

En este sentido, el trabajo realizado por Ampuero et al. (2014), marcan al vertedero de residuos urbanos (VRU) y al servicio de cloacas, como los problemas urbanos más relevantes de El Calafate.

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 (Imberti y Albrieu, 2004). 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 – aunque detenida por el momento - de una ampliación del sistema de tratamiento que incrementaría en 20.000 habitantes más la población servida. Actualmente se estima entre el 40 y el 60% la población conectada al sistema cloacal (Ing. Ricardo Hendic, comunicación personal) y existen pozos absorbentes en varios sectores de la Ciudad. La planta de tratamiento descarga una parte de los efluentes tratados a la Laguna.

El objetivo de este estudio ha sido caracterizar el líquido crudo, el rendimiento del sistema de tratamiento, la calidad del agua que ingresa a la laguna Nimez, el funcionamiento de la Laguna como

humedal, la calidad del agua que drena al lago Argentino. El estudio se llevó adelante en el mes de abril de 2016. En esta época, el lago Argentino alcanza su cota máxima, ingresando sus aguas a los humedales formados por la denominada bahía Redonda y la Reserva laguna Nimez.

Una vez más se incluyó en estos estudios la calidad del agua del arroyo Calafate cuando vuelca a la bahía Redonda y se analizó la calidad del agua del lago Argentino en dos estaciones que durante el mes de noviembre reciben agua desde tierra, mientras que en abril el lago las cubre por completo. Igualmente, se analizaron dos manantiales que drenan a la Bahía; uno en el área de Nimez y otro cercano a la Casa Verde y un pozo de agua dulce cercano a la Bahía. El objetivo fue 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 siete 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. Puede observarse que las estaciones 5 y 6, que en noviembre recibían las aguas del humedal, se encuentran en este mes 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	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	Lago Argentino cercano a la Reserva.
6	50°19'16,12"S	072°16'20,35" W	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 cercano a la Casa Verde en la bahía Redonda. El tercero fue un pozo de agua dulce. Su ubicación geográfica fue la siguiente:

- 1) Pantano de Shrek: 50°19'28.67"S; 072°15'48.16"O
- 2) Casa Verde: 50°20'1.47"S; 072°18'53.08"O
- 3) Pozo de agua Dulce: 50°20'06"S; 072°18'57"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 se ha podido determinar, 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 (fotografía 4), se observa un canal de aproximadamente 25 metros de largo y una profundidad media de unos 40 cm, que presenta sedimentos limo-arcillosos. A ambos lados de este canal la vegetación es densa, aunque baja, formada por arbustos variados. Los sedimentos son anóxicos en prácticamente todo el trayecto; el color y el olor de esta agua es indicativa de agua proveniente de una planta de tratamiento.



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

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



Fotografía 5: Estación 3, cercana al refugio de observación de aves en la primera laguna del sistema 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 6).



Fotografía 6: Muestreo en la estación 4, en el canal que une las lagunas 1 y 2.



**Estación 5.** Se ubicó en el lago Argentino, cercano al alambrado que limita la Reserva (Fotografía 7). En noviembre, el agua proveniente del sistema Nimez (Lagunas 1 y 2), drenaba en esta estación. En abril en cambio, recibe una mezcla de agua proveniente de este sistema y del lago Argentino.



Fotografía 7. Estación 5 en el lago Argentino.

**Estación 6.** Se tomó en el lago Argentino, aproximadamente a unos 500 metros de la costa. (fotografía 8). En noviembre, el agua provenía de dos arroyos cuyo origen era el sistema Nimez y la bahía redonda; estos se juntaban en uno solo por lo que el análisis incluyó los dos arroyos y el resultante del encuentro entre los dos. En abril en cambio, el agua proviene particularmente del lago Argentino.



Fotografía 8: 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 9).



Fotografía 9. Arroyo Calafate, con mezcla de agua del lago Argentino antes de 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		Laguna Nimez		Lago Argentino		Arroyo Calafate
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Parámetros <i>in situ</i> (Temperatura, oxígeno disuelto, pH, Redox, conductividad)							
Sólidos sedimentables (10 minutos y 2 horas)							
Sólidos totales							
Sólidos suspendidos							
DBO <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							

### 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) descrito por APHA (1995).

Rango: 0,05 - 45  $\mu$ 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  $\mu$ 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  $\mu$ 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 (<sup>222</sup>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 <sup>222</sup>Rn se realizaron utilizando un equipo RAD7 (Durrige, Company Inc).

## Resultados

---

### Parámetros medidos *in situ*

Los resultados obtenidos se observan en las tablas 3 a 5 y en la figura 3.

La **temperatura** presentó valores de 15°C en el ingreso y egreso de la planta de tratamiento, mientras que disminuyó en el sistema Nimez a valores entre 8,4 y 9,3°C. En el lago Argentino, los valores fueron de 9,0 y 9,3 °C. En el arroyo Calafate, la temperatura fue de 8,4°C.

El **pH** fue prácticamente neutro (7,5) en el líquido cloacal crudo y en todo el sistema Nimez. Se incrementó en el lago Argentino (7,73) y en el arroyo Calafate (7,97). Comparando con la campaña de noviembre, los valores observados han sido significativamente menores.

El **potencial Redox** fue positivo en todas las estaciones analizadas.

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

	Temp. (°C)	pH	Redox (mV)
<b>E1</b>	15,2	7,51	106
<b>E2</b>	15,0	7,45	120
<b>E3</b>	8,4	7,47	143
<b>E4</b>	9,3	7,40	71
<b>E5</b>	9,0	7,42	130
<b>E6</b>	9,3	7,73	140
<b>E7</b>	8,4	7,97	145

En lo que respecta al oxígeno disuelto (tabla 4 y figura 3), el líquido crudo presentó valores de saturación algo bajos (78%) que se incrementó paradójicamente a la salida de la Planta (86% de saturación); esto puede ser un reflejo de la inexistencia de un proceso de degradación debido a un tiempo de estadía muy escaso. A diferencia del muestreo de noviembre, la estación 3 mostró valores menores de saturación (70%), que disminuyeron aún más en la estación 4 (56%). Esto refleja el funcionamiento de la laguna Nimez como planta de tratamiento secundaria, al consumir el oxígeno disuelto. Las estaciones 5 y 6, tomadas en el lago Argentino, mostraron concentraciones de oxígeno disuelto mayores de 89% y 86% respectivamente. La Estación E7 (arroyo Calafate), mostró igualmente concentraciones del orden de 80% de saturación.



**Tabla 4.** Oxígeno disuelto en los sitios de muestreo.

	<b>Oxígeno disuelto (mg/l)</b>	<b>Oxígeno disuelto (%)</b>
<b>E1</b>	7,8	78
<b>E2</b>	8,67	86
<b>E3</b>	8,22	70
<b>E4</b>	6,46	56
<b>E5</b>	10,25	89
<b>E6</b>	9,91	86
<b>E7</b>	9,37	80

La conductividad (Tabla 5) mostró valores muy estables en la Planta de Tratamiento y en el sistema Nimez;  $531 \pm 7\mu\text{S/cm}$ . Las conductividades observadas fueron similares a la campaña de noviembre tanto en la Planta como en el sistema Nimez. No ocurrió lo mismo en las estaciones 5 y 6 (Lago), en donde la conductividad en la estación 5 fue de  $104 \mu\text{S/cm}$  mientras que en la estación 6 fue aún más baja ( $41 \mu\text{S/cm}$ ). El arroyo Calafate presentó valores de  $380 \mu\text{S/cm}$ .

**Tabla 5.** Conductividad específica en los sitios de muestreo.

	<b>Conductividad específica (<math>\mu\text{Si/cm}</math>)</b>
<b>E1</b>	529
<b>E2</b>	523
<b>E3</b>	531
<b>E4</b>	540
<b>E5</b>	104
<b>E6</b>	41
<b>E7</b>	380

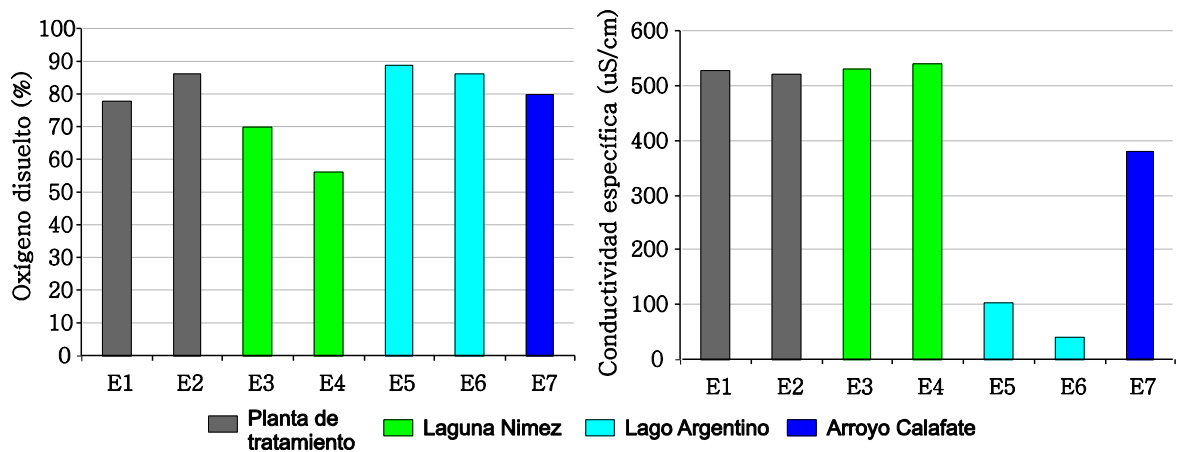


Figura 3: Oxígeno disuelto (%) y conductividad específica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en las estaciones analizadas.

### ¿Se observaron cambios en estos parámetros entre el muestreo de noviembre de 2015 y el muestreo de abril de 2016?

La temperatura en la estación 1 se mantuvo en el orden de los  $15^{\circ}\text{C}$ , con una variación de  $0,3^{\circ}\text{C}$  entre noviembre y abril, siendo más fría en noviembre. En la estación 2, esta variación fue de  $1,7^{\circ}\text{C}$  ( $13,3^{\circ}\text{C}$  en noviembre;  $15^{\circ}\text{C}$  en abril). En Nimez, en el lago Argentino y en el arroyo Calafate, los valores en abril fueron similares ( $8,9 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ), mientras que se observaron valores más elevados en noviembre y diferentes entre el sistema Nimez ( $13^{\circ}\text{C}$ ) y la bahía Redonda ( $16,5^{\circ}\text{C}$ ). Los valores de pH en todas las estaciones han sido dos o más unidades más bajas en abril que en noviembre, reflejando menor productividad primaria en abril y un buen proceso de mezcla con el lago Argentino.

Respecto al oxígeno disuelto al ingreso a la Planta fue menor de 60% en noviembre mientras que en abril se elevó a 78%; a la salida, los valores se incrementaron de 80% en noviembre a 86% en abril, producto posiblemente de un menor tiempo de estadía en la Planta. En la Laguna los valores fueron superiores a 120% de saturación en noviembre y cayeron a 70% y 56% en las estaciones 3 y 4 respectivamente, confirmando una disminución importante de la productividad primaria.

En abril, la conductividad presentó valores semejantes en la planta de tratamiento y en el sistema Nimez, con concentraciones del orden de  $530 \mu\text{Si}/\text{cm}$ ; en noviembre, se observaron diferencias entre la Planta de tratamiento ( $> 500 \mu\text{Si}/\text{cm}$ ) y el sistema Nimez ( $> 400 \mu\text{Si}/\text{cm}$ ). El lago Argentino mostró los menores valores de conductividad en abril.

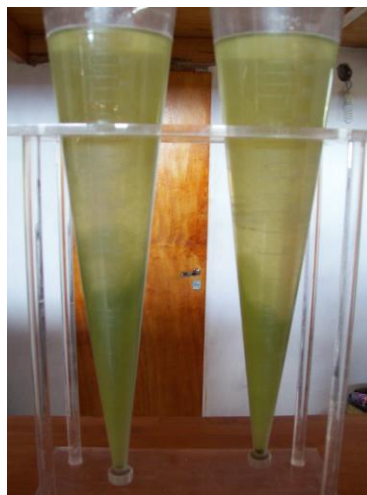
## Sólidos

### Sólidos sedimentables.

Como era de esperar, el líquido cloacal crudo presentó los mayores valores de sólidos sedimentables (1,9 y 2,5 ml en 10 minutos y 2 horas respectivamente). En el líquido tratado (E2) se detectaron sin embargo valores remanentes (0,8 y 1,0 ml en 10 minutos y 2 horas respectivamente), indicando que el tiempo de tratamiento no ha alcanzado a remover la totalidad de estos sólidos. En las lagunas no se detectó la presencia de estos tipos de sólidos (tabla 6 y fotografía 10).

**Tabla 6.** Valores obtenidos de sólidos sedimentables

	Sólidos sedimentables	
	10 minutos	2 Horas
<b>E1</b>	1,9	2,5
<b>E2</b>	0,8	1,0
<b>E3</b>	<0,1	<0,1
<b>E4</b>	<0,1	<0,1
<b>E5</b>	<0,1	<0,1
<b>E6</b>	<0,1	<0,1
<b>E7</b>	<0,1	<0,1



Fotografía 10. Medición de sólidos sedimentables mediante conos de Imhoff.

### Sólidos totales y sólidos suspendidos.

Los **sólidos totales** presentaron el valor mínimo en el lago Argentino (89,6 y 36,4 mg/L en las estaciones 5 y 6 respectivamente), mientras que los máximos fueron observados en la Planta de Tratamiento, con valores del orden de 400 mg/L en el ingreso y en la entrada a la laguna Nimez. En la laguna, los valores algo menores y del orden de los 300 mg/L (Figura 4).

En lo que respecta a los **sólidos suspendidos**, no hubo remoción en la Planta de Tratamiento en donde se observó incluso un incremento: 63,3 mg/L (E1) a 94,2 mg/L (E2). En las lagunas hubo una disminución de más del 50% con valores entre 32 y 37 mg/L. En el Lago Argentino y en el arroyo Calafate se observaron los valores más bajos (5,0 (E5), 2,0 (E6) y 3,5 (E7) (Figura 4 y fotografía 11).

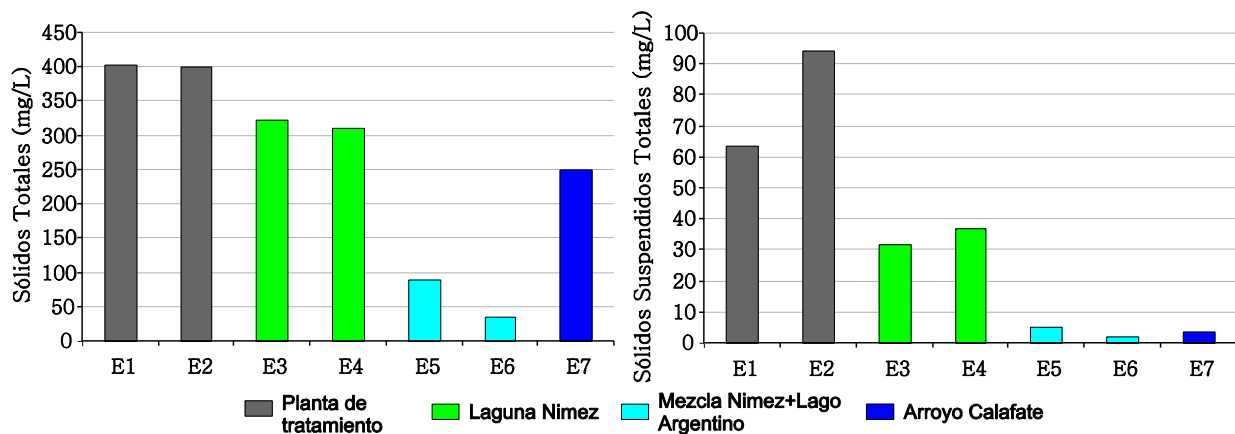
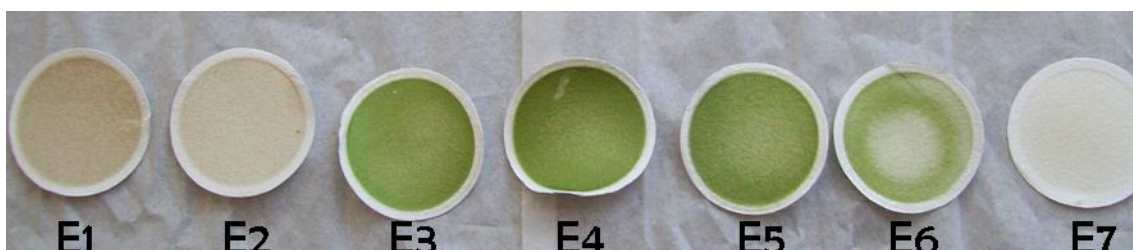
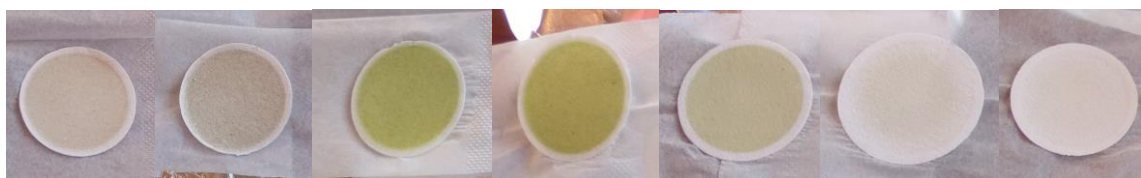


Figura 4. Concentraciones de sólidos totales (izquierda) y de sólidos suspendidos totales en las muestras analizadas.



Noviembre 2015



**E 1      E 2      E 3      E 4      E 5      E 6      E 7**

Abril 2016

Fotografía 11. Vista de la evolución de los sólidos suspendidos totales en noviembre 2015 y abril 2016. Puede observarse a través de la coloración verde en las estaciones E3 a E6, la presencia de fitoplancton en noviembre y la disminución de esta coloración en abril.

**¿Se observaron cambios en estos parámetros entre el muestreo de noviembre de 2005 y el muestreo de abril de 2016?**

En noviembre en la estación E1, se observó el mismo valor de **sólidos sedimentables** en 10 minutos, pero el doble de estos en 2 horas (5,5 ml contra 2,5 ml) que en abril. En el ingreso a la laguna

Nimez (E2), los valores fueron similares en noviembre y en abril. En el resto de las estaciones, sólo la E6 en noviembre presentó valores positivos asociados a sólidos provenientes de las lagunas (material fitoplanctónico). Los **sólidos totales** presentaron en noviembre valores del orden de 450 mg/L en las estaciones de las lagunas (entre 400 y 460 mg/L), asociados a la presencia de fitoplancton; en abril en cambio, estos fueron del orden de los 300 mg/L. En noviembre los **sólidos totales** presentaron el valor mínimo en el arroyo Calafate (108 mg/L), aunque en abril aumentaron a 250 mg/L. En la Planta de Tratamiento (ingreso y entrada a la laguna Nimez) en noviembre, se observaron valores del orden de 380 mg/L y algo menores (del orden de los 300 mg/L) en abril. Los valores mínimos se midieron en el lago Argentino (89,6 y 36,4 mg/L en las estaciones 5 y 6 respectivamente). Mientras que en noviembre se observó una interesante remoción de los **sólidos suspendidos**, en la Planta de Tratamiento (141,2 mg/L (E1) a 44,0 mg/L (E2)), no sucedió lo mismo en abril en donde se observó incluso un incremento: 63,3 mg/L (E1) a 94,2 mg/L (E2). En noviembre se observó en las lagunas un incremento de sólidos suspendidos, explicado por la presencia de fitoplancton; en abril en cambio, hubo una disminución de más del 50% con respecto a la E2, con valores entre 32 y 37 mg/L. Los menores valores se observaron en el arroyo Calafate en ambas ocasiones (noviembre y abril), con concentraciones de 2,7 mg/L y 3,5 mg/L respectivamente. En el Lago Argentino en abril, se observaron valores bajos (5,0 (E5) y 2,0 (E6)).

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 (131,8 mg/L), de acuerdo a lo que establece la clasificación de Metcalf & Eddy (1996). En la Planta la remoción fue baja (29%), reflejado en una concentración de DBO<sub>5</sub> en el ingreso a la Laguna de 93,1 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 35 mg/L. En el agua del arroyo Calafate, fue mínima la presencia de materia orgánica, con una DBO<sub>5</sub> total menor a 2 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).

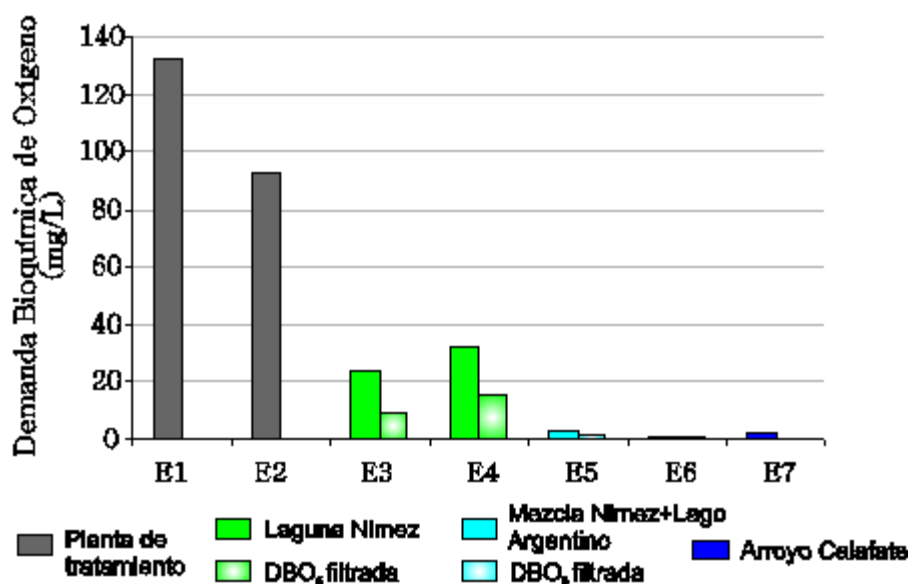


Figura 5. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

**¿Se observaron cambios en este parámetro entre el muestreo de noviembre de 2005 y el muestreo de abril de 2016?**

En la planta de tratamiento el comportamiento de este parámetro fue similar en noviembre y abril. En el ingreso, (estación E1), los valores fueron de 164 mg/L y 131,8 mg/L en noviembre y abril respectivamente. Al ingreso a la laguna Nimez (E2), de 122 mg/L en noviembre y 93,1 mg/L en abril, con eficiencias menores de 30% en ambos casos. En la laguna Nimez, en noviembre, 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) con una eficiencia en la remoción entre 66 y 75%. En abril, la eficiencia de remoción fue apreciablemente menor, con valores de 44%. 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 en noviembre y 2 mg/L en abril. En abril, la DBO<sub>5</sub> en el lago Argentino, fue mínima, con valores de 3 mg/L para E5 y 1 mg/L para la E6. En el caso de la DBO<sub>5</sub> filtrada (es decir, habiendo filtrado el fitoplancton), los valores observados en el sistema Nimez se encontraron por debajo de 15 mg/L, con un porcentaje de remoción de 89% en noviembre, mientras que en abril fue menor (59%).

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  $1 \times 10^7$  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. Para coliformes totales: 75000 NMP/100ml y para *Escherichia coli*: 53000 NMP/100 ml; esto se asocia a un menor flujo 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 ( $8,8 \times 10^5$  NMP/100 ml y  $2,5 \times 10^5$  NMP/100 ml, con una remoción bacteriana de 90 y 93 % para coliformes totales y *Escherichia coli*, respectivamente). En el lago Argentino (Estación E5), los valores fueron de 296 NMP/100 ml y 34 NMP/100 ml para coliformes totales y *Escherichia coli* respectivamente; en la E6, los valores fueron de 2 NMP/100 ml y 1 NMP/100 ml para coliformes totales y *Escherichia coli* respectivamente (Figura 6).

El arroyo Calafate mostró concentraciones de coliformes totales y de *Escherichia coli*, del orden de 1640 y de 420 NMP/100 ml, respectivamente; estos valores constituyen un indicador de contaminación bacteriológica aguas arriba del punto de muestreo (Figura 6).

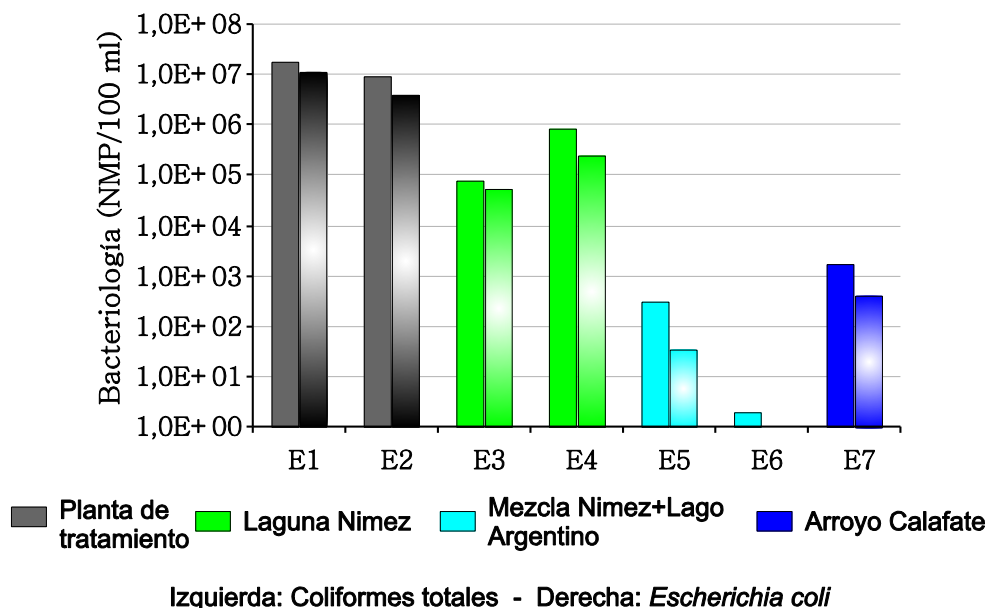


Figura 6. Concentraciones de coliformes totales y *Escherichia coli* en las estaciones de muestreo. Abril 2016.

### **¿Se observaron cambios en los parámetros bacteriológicos entre el muestreo de noviembre de 2005 y el muestreo de abril de 2016?**

En noviembre la E1 (ingreso a la planta de líquido cloacal crudo), mostró concentraciones del orden de  $2 \times 10^6$  NMP/100ml y algo mayores en abril (del orden de  $1 \times 10^7$  NMP/100ml). Al ingreso a la laguna Nimez, estos valores prácticamente no se han modificado, observándose concentraciones del orden de  $10^6$  NMP/100ml de coliformes totales y *Escherichia coli* en noviembre y  $9 \times 10^6$  y  $4 \times 10^6$  de coliformes totales y *Escherichia coli* en abril.

En la laguna Nimez (E3) se registraron en noviembre valores de 10 NMP/100ml, mientras que en abril fueron de 75000 NMP/100ml y 53000 NMP/100 ml para coliformes totales y *Escherichia coli* respectivamente. Esta estación se encuentra en el extremo noreste de la laguna 1 y alejada de su salida hacia la laguna 2. Las diferencias entre ambos muestreos pueden estar relacionadas con procesos físicos como la hidrodinamia asociada al viento predominante y/o procesos biológicos como cierta dificultad en la generación de sustancias bactericidas por parte del fitoplancton en abril. En la estación 4, la remoción bacteriana fue de 94 y 99,9 % para coliformes totales y *Escherichia coli* respectivamente, en noviembre y entre 90 y 93 % para coliformes totales y *Escherichia coli*, respectivamente en abril. Tanto en la estación 5 y 6 en noviembre, cuando el agua sale del sistema Nimez, como en las mismas estaciones en el mes de abril, tomadas en el lago Argentino, los valores se encontraron por debajo de 300 NMP/100 ml; es decir, rendimientos superiores a 99,95 %. En noviembre, el arroyo Calafate mostró concentraciones de coliformes totales y de *Escherichia coli*, del orden de 13000 y de 4500 NMP/100 ml, respectivamente, mientras que en abril, fueron de 1640 y de 420 NMP/100 ml 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.

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

## Huevos de parásitos

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

El líquido cloacal crudo de la localidad de Calafate presentó una concentración de 5 huevos de parásitos por litro (lo cual es un valor bajo, comparado, por ejemplo, con Puerto Madryn (26) y más aún si se compara con zonas de gran proliferación de este tipo de enfermedades y con buena parte de la población en malas condiciones sanitarias, como por ejemplo en países de África, registrando hasta 3000 huevos de parásitos por litro). En el líquido tratado (ingreso a la laguna Nimez), la concentración fue de 1 huevo 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 en las muestras del lago Argentino (E5 y E6).

### **¿Se observaron cambios en los parámetros bacteriológicos entre el muestreo de noviembre de 2005 y el muestreo de abril de 2016?**

La densidad de huevos de parásitos observados en el agua cloacal cruda y en el ingreso a la laguna Nimez fue muy similar, tanto en noviembre como en abril. En ninguno de los dos muestreos se registraron huevos de helmintos en las muestras correspondientes a la estación E4, E5 ni E6.



## 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. Las concentraciones de clorofila "a" en la laguna 1 (E3) y en el ingreso a la laguna 2 (E4) fueron de 222 y 198  $\mu\text{g/L}$  respectivamente. 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, que en estos casos fueron del orden del 50% (Figura 7). En el lago Argentino la concentración de clorofila "a" en la estación E5 fue de 53  $\mu\text{g/L}$  y de feofitina de 11  $\mu\text{g/L}$ . En la estación E6 la concentración de clorofila "a" fue de 5  $\mu\text{g/L}$  y de feofitina menor de 10  $\mu\text{g/L}$ . Esta es una clara indicación de la influencia del sistema Nimez – bahía Encerrada en el lago Argentino. En el arroyo Calafate los valores fueron bajos (4,7  $\mu\text{g/L}$  de clorofila "a" y 3,4  $\mu\text{g/L}$  de feofitina), reflejando un origen diferente en el agua que llega a la bahía Redonda.

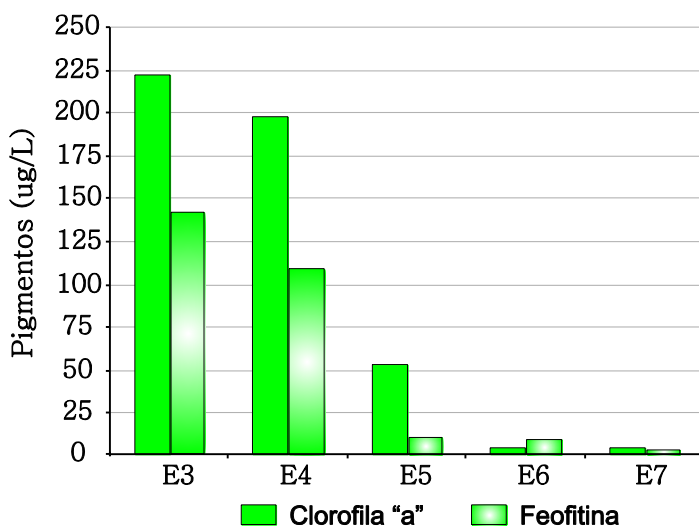


Figura 7. Concentraciones de clorofila "a" y feofitina.

### ¿Se observaron cambios en estos pigmentos fotosintéticos entre el muestreo de noviembre de 2005 y el muestreo de abril de 2016?

Se ha observado una disminución importante en estos pigmentos entre noviembre y abril. En el primer mes, las concentraciones de clorofila "a" se encontraron entre 846 y 1167  $\mu\text{g/L}$ ; es decir una atenuación de clorofila "a" del orden del 80% y de feofitina del orden de 65% para las estaciones E3 y E4. En cambio, las estaciones E5 y E6 reflejaron la influencia neta del sistema Nimez- bahía Encerrada en noviembre, mientras que en abril, la dilución generada por el ingreso de agua del lago Argentino ha sido evidente. En el arroyo Calafate los valores se han mantenido bajos en ambos muestreos.

## Nutrientes inorgánicos

Nuevamente en este muestreo de abril, dentro de la planta de Tratamiento, el nitrógeno inorgánico fue dominado por el amonio (18,3 mg/L). Se detectó un ligero incremento en este parámetro, entre el líquido crudo y el tratado (18,9 mg/L) (Figura 8). Aunque la concentración de nitrato es relativamente baja comparada con el amonio, el nitrato disminuyó más del 50% entre el ingreso a la Planta (0,09 mg/L) y el ingreso a la laguna Nimez (0,045 mg/L). Las concentraciones de fosfato fueron de 2,3 mg/L en el ingreso a la Planta y disminuyó ligeramente en el ingreso al sistema Nimez (2,0 mg/L).

En la laguna Nimez la concentración de amonio ha disminuido ligeramente; la E3 – alejada del flujo directo del agua proveniente de la Planta – mostró concentraciones de 13 mg/L, mientras que en la E4 fue de 17 mg/L. El nitrato disminuyó igualmente; se midió una concentración de 0,03 mg/L en E3 y de 0,01 en E4. El fosfato se mantuvo en concentraciones similares al ingreso al sistema Nimez, con concentraciones de 2,1 en E3 y 2,2 mg/L en E4.

En el lago Argentino, el amonio mostró un valor de 1,07 mg/L en la E5, reflejo de la influencia del sistema Nimez- bahía Encerrada, mientras que en la E6 ésta fue de 0,17 mg/L. La concentración de nitrato fue de 0,03 (E5) y de 0,01 (E6). El fosfato mostró concentraciones de 0,2 y 0,3 mg/L para la E5 y la E6 respectivamente.

En el arroyo Calafate la concentración de amonio fue de 0,14 mg/L; el nitrato de 0,52 mg/L y el fosfato de 0,01 mg/l (Figura 8).

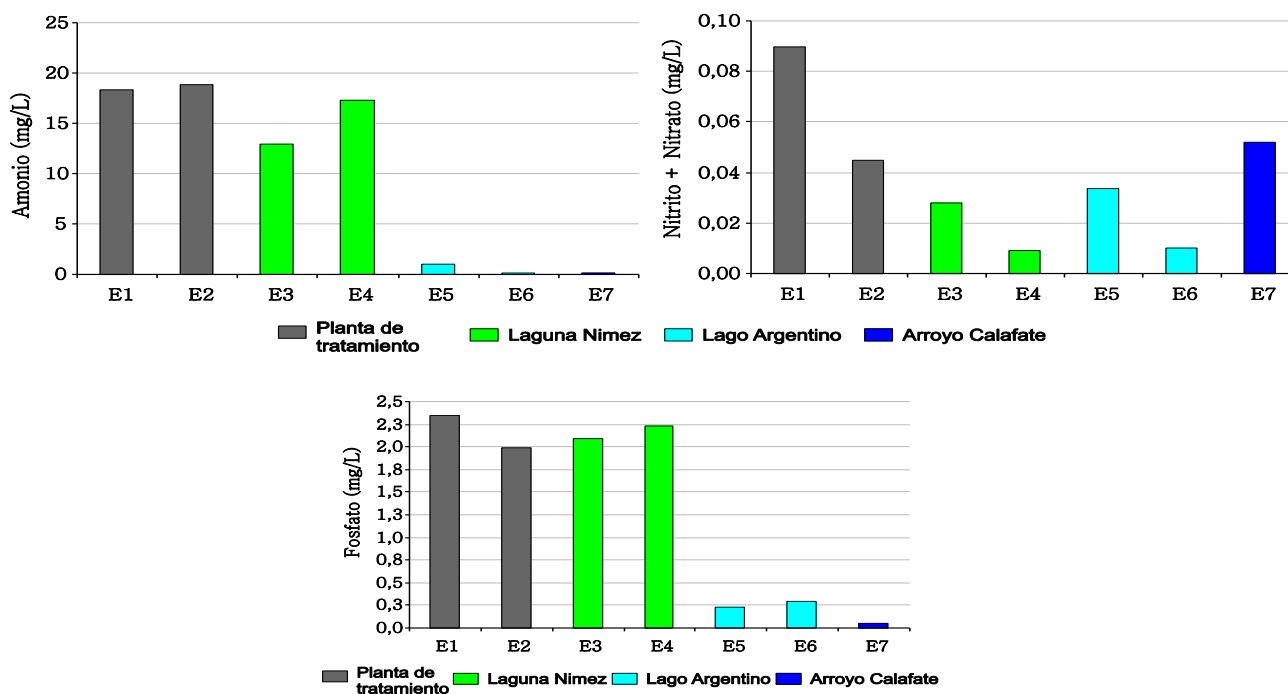


Figura 8. Concentraciones de nutrientes en el sistema bajo estudio.

**¿Se observaron cambios en estos nutrientes entre el muestreo de noviembre de 2015 y el muestreo de abril de 2016?**

En noviembre, la concentración de amonio en el ingreso a la Planta (E1) (40 mg/L) fue mayor que en abril (18,3 mg/L). 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, con concentraciones del orden de los 18 mg/L en ambos muestreos. Tanto en E1 como en E2, y en ambos muestreos de noviembre y abril, la presencia de las formas oxidadas del nitrógeno (nitrato + nitrito) fue mínima, con concentraciones por debajo de 0,1 mg/L. Las concentraciones de fosfato en el ingreso a la Planta (E1) fueron de 1,8 mg/L en noviembre y 2,3 mg/L en abril. Teniendo en cuenta las concentraciones de fosfato en E2 (ingreso a la laguna Nimez), hubo un 31% de disminución en noviembre y 17 % en abril. Esta variación puede relacionarse a la temperatura del agua en el sistema de tratamiento.

En las lagunas se observan también claras variaciones relacionadas con la temperatura. Mientras que en noviembre ha sido notable la disminución de amonio y fosfato, con valores por debajo de 4 mg/L y de 1,2 mg/L, respectivamente, en abril el amonio disminuyó a valores de 13 y 18 mg/L en la E3 y E4 respectivamente y el fosfato prácticamente no tuvo variación. En noviembre se observó procesos de nitrificación (~0,13 mg/L de nitrato + nitrito), mientras que en abril el nitrato fue consumido en ambas estaciones (E3 y E4).

En el arroyo Calafate tanto en noviembre como en abril, las concentraciones de amonio, nitrato+nitrito y fosfato fueron muy bajas.

### 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 el denominado Pantano de Shrek la actividad de radón observada fue similar a la de noviembre, con valores de  $2290 \pm 810 \text{ Bq/m}^3$ . La temperatura ( $7,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) fue algo menor, mientras que el oxígeno disuelto mantuvo una insaturación (66%). Esta insaturación y los altos valores de radón confirman la existencia de 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  $1.520 \pm 197 \text{ Bq/m}^3$ , muy similar a los valores obtenidos en noviembre en el mismo lugar. La temperatura ( $5,85 \text{ }^\circ\text{C}$ ), el oxígeno disuelto ligeramente insaturado (83%), la conductividad específica ( $334 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ), los sólidos disueltos totales ( $0,217 \text{ mg/L}$ ) y el pH ( $7,8$ ) fueron menores a los observados en noviembre.

El pozo de agua dulce se muestreó por primera vez ya que la estación anterior (lagunita de los patos), no había mostrado un flujo de agua subterránea. En esta estación, la actividad de radón mostró valores de  $1.270 \pm 203 \text{ Bq/m}^3$ , temperatura ( $9,42 \text{ }^\circ\text{C}$ ), conductividad específica ( $799 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ), sólidos disueltos totales ( $0,52 \text{ mg/L}$ ) y pH ( $7,96$ , más elevados que en las dos estaciones anteriores.

**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	$2.290 \pm 810$	7,69	7,82	65,6	446	0,29	658,5	7,73
Casa Verde	$1520 \pm 197$	5,85	10,34	82,8	334	0,217	546,3	7,8
Pozo agua dulce	$1.270 \pm 203$	9,42	8,94	78,3	799	0,52	557,1	7,96

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.

## Conclusiones del estudio

---

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

A la luz de la información obtenida en la estación 2 (ingreso del agua a la laguna Nimez) y comparando la información con los datos obtenidos en la estación E1, su tratamiento es – por lo menos - insuficiente 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.

Respecto al oxígeno disuelto en el líquido crudo al ingreso a la Planta mostró concentraciones de oxígeno disuelto más elevadas que lo habitual para este tipo de Planta. A la salida, es decir, al ingreso a la laguna Nimez, los valores se incrementaron hasta más de 20%. Este incremento muestra un bajo a muy bajo tiempo de estadía en la Planta. Ésta mostró eficiencias de remoción de la DBO<sub>5</sub> menores de 30% tanto en noviembre como en abril. No sucedió lo mismo en la laguna Nimez, en noviembre, en donde la eficiencia en la remoción fue entre 66 y 75%. En abril, en cambio, la eficiencia de remoción fue apreciablemente menor, con valores de 44%. Esta es una indicación de los efectos de las bajas temperaturas en el sistema. No se ha observado en la Planta una atenuación en la concentración de coliformes totales o *Escherichia coli* en ninguno de los dos muestreos realizados. Las concentraciones al ingreso a la laguna Nimez, prácticamente no se han modificado en ambos muestreos. Analizando los compuestos de nitrógeno y fósforo, se ha observado una variabilidad diaria en la calidad del agua que ingresa a la Planta (E1), relacionada con las diferentes actividades humanas que se desarrollan a lo largo del día. Una vez en la Planta, estas concentraciones se homogeneizan. Tanto en E1 como en E2, y en ambos muestreos de noviembre y abril, se han medido concentraciones importantes de amonio, mientras que las formas oxidadas del nitrógeno (nitrito + nitrato) fue mínima. Analizando el fosfato, la disminución de este parámetro en la Planta nos induce a pensar que la oxidación de la materia orgánica es muy baja o inexistente.

### 2) Sistema laguna Nimez

Como se comentaba más arriba, la Laguna completa el tratamiento tanto secundario (degradación de la materia orgánica y mortalidad bacteriana) como terciario (absorción de nutrientes minerales). En el mes de abril, se observaron diferencias importantes comparando los resultados obtenidos con el mes de noviembre.

En la laguna Nimez, los valores de oxígeno disuelto estuvieron sobresaturados en noviembre, pero disminuyeron a valores del orden de 60% en abril, confirmando una disminución importante de la

productividad primaria en el sistema. Desde el punto de vista bacteriológico, en la estación E3 se observaron concentraciones diferentes en ambos muestreos. En noviembre se midieron valores de 10 NMP/100ml, mientras que en abril fueron de 75000 NMP/100ml y 53000 NMP/100 ml para coliformes totales y *Escherichia coli* respectivamente. Las diferencias entre ambos muestreos pueden estar relacionadas con procesos físicos como la hidrodinamia asociada al viento predominante y/o procesos biológicos como cierta dificultad en la generación de sustancias bactericidas por parte del fitoplancton en abril. En la estación 4, la remoción bacteriana fue de 94 y 99,9 % para coliformes totales y *Escherichia coli* respectivamente, en noviembre y entre 90 y 93 % para coliformes totales y *Escherichia coli*, respectivamente en abril. Se puede observar también aquí una disminución en la eficiencia durante abril, un mes más frío que noviembre. Para la clorofila “a”, se ha observado una disminución importante en estos pigmentos entre noviembre y abril. La atenuación observada en este último mes fue del orden del 80% para clorofila “a” y del orden de 65% para feofitina en las estaciones E3 y E4. En cambio, las estaciones E5 y E6 reflejaron la influencia neta del sistema Nimez- bahía Encerrada en noviembre, mientras que en abril, la dilución generada por el ingreso de agua del lago Argentino ha sido evidente. En las lagunas se observaron también claras variaciones de nitrógeno y fósforo relacionadas con la temperatura y procesos de fotosíntesis, con consumo importante de estos compuestos en noviembre y mucho menor en abril.

### 3) Arroyo Calafate.

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

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 en noviembre y 2 mg/L en abril. En noviembre los sólidos totales presentaron el valor mínimo (108 mg/L), aunque en abril aumentaron a 250 mg/L. En noviembre, el arroyo Calafate mostró concentraciones de coliformes totales y de *Escherichia coli*, del orden de 13000 y de 4500 NMP/100 ml, respectivamente, mientras que en abril, fueron de 1640 y de 420 NMP/100 ml 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 tanto en noviembre como en abril.

### 4) Lago Argentino

Los únicos muestreos realizados por nosotros en el lago Argentino, han sido en abril de 2016. Los dos lugares seleccionados (Estaciones E5 y E6) correspondían a los mismos lugares en donde se muestreó en el mes de noviembre. En ese mes, el sistema bahía Encerrada – laguna Nimez aportaba al

Lago, que se encontraba muy bajo, mientras que en abril el nivel del Lago alcanzó su cota máxima anual, ingresando al sistema bahía Encerrada – laguna Nimez y generando procesos de dilución importantes.

El lago Argentino mostró los menores valores de conductividad. La estación E5 con valores que duplicaron los observados en la estación E6 (104  $\mu\text{Si}/\text{cm}$  contra 41  $\mu\text{Si}/\text{cm}$ ). Lo mismo fue observado con los sólidos totales (89,6 y 36,4 mg/L en las estaciones 5 y 6 respectivamente). La DBO5 fue mínima, con valores de 3 mg/L para E5 y 1 mg/L para la E6. Desde el punto de vista bacteriológico, los valores se encontraron por debajo de 300 NMP/100 ml; es decir, rendimientos superiores a 99,95 % en ambas estaciones. Los componentes de nitrógeno mostraron también diferencias entre las estaciones E5 y la E6. En la primera se observó la influencia del sistema costero bahía Encerrada – laguna Nimez, con valores de amonio de 1 mg/L y de nitrato + nitrito de 0,034 mg/L. En la estación E6, el amonio se encontró un orden de magnitud menor (0,16 mg/L) y el nitrato + nitrito con valores de 0,01 mg/L.



## 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).