FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE RETENCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA PLANTA DEPURADORA DE LÍQUIDOS CLOACALES DE LA CIUDAD DE TRENQUE LAUQUEN, BUENOS AIRES

Germán FRESIA

SANTA ROSA (LA PAMPA) ARGENTINA

2017

PREFACIO:

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones en Biotecnología y Ecología Ambiental, dependiente del Departamento de Recursos Naturales, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam durante el período comprendido entre el 20/X/2016 y el 14/XI/2017**,** bajo la dirección del Dr. Alberto Pilati.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecer en primera instancia a la Universidad Nacional de La Pampa, por los años de formación, los viajes y las oportunidades de trabajo que nos brindan a nosotros, los alumnos, para poder llegar a cumplir con nuestro objetivo.

A la Municipalidad de Trenque Lauquen, por permitirme desarrollar esta investigación.

A Obras Sanitarias de Trenque Lauquen, por brindarme información y tiempo ante las consultas realizadas a lo largo del desarrollo de esta tesina.

Al personal de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen.

A mi Director, Alberto Pilati por su vocación, apoyo, entendimiento y paciencia. Ha sido un gusto trabajar a la par y nutrirme de su experiencia. Gran docente e investigador de la UNLPam.

Agradecer a los miembros de la Comisión de Tesina, y a todos los profesores, que a lo largo de la carrera, aportaron a mi formación, por la dedicación y por el apoyo que me brindaron cuando fue necesario.

A las personas puntuales que me ayudaron en la toma de muestras. A mis hospedadores en Santa Rosa durante el tiempo de redacción de esta tesina. A quienes brindaron su tiempo para clarificar ideas y a quienes me escucharon practicar la presentación.

A todas las personas, Amigos y Familia, que desde siempre me acompañaron, acompañan y me acompañarán en las decisiones y caminos de la vida.

Esta tesina fue financiada por la Universidad Nacional de La Pampa y la Municipalidad de Trenque Lauquen.

¡Muchas GRACIAS!

14 de Diciembre de 2017 Germán FRESIA

Departamento de Recursos Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

RESUMEN

Trenque Lauquen (Buenos Aires, Argentina) es una ciudad en continuo crecimiento poblacional y ha incrementado la generación de residuos líquidos hacia la planta depuradora de líquidos cloacales. Esta planta fue creada en 1992 cuando la población era sustancialmente menor. Si el nitrógeno y el fósforo no fueran retenidos eficazmente podrían causar un fuerte impacto negativo sobre el cuenco receptor. Se trabajó bajo la hipótesis que: "La planta depuradora de líquidos cloacales, si bien retiene N y P, no lo hace eficientemente de acuerdo a lo establecido por las leyes vigentes". Para evaluar esta hipótesis se evaluó la retención de sólidos suspendidos totales, nitrógeno y fósforo (total y disuelto) y clorofila en condiciones extremas (baja y alta actividad biológica, esto es invierno y verano). Se encontró que el pozo Imhoff retiene 24-37 % de sólidos suspendidos totales y siempre retuvo el 100% de los sólidos suspendidos inorgánicos). Si bien la planta retuvo entre 11-20% de nitrógeno total y 11-17% de fósforo total, estos valores todavía exceden lo permitido por la ley como límite de descarga. La eficiencia de retención de las formas disueltas de nitrógeno y fósforo disuelto fue entre 3 y 10 veces mayor en verano que en invierno. Los procesos químicos y biológicos que ocurrían dentro de las lagunas quedaron evidenciados por el cambio en la concentración de clorofila a lo largo de la planta. Se plantean alternativas para mejorar la retención como: 1) uso de fitorremediadores, 2) mejorar el funcionamiento de la planta actual, 3) descentralizar el tratamiento de los residuos líquidos, y 4) ampliación de la planta.

ABSTRACT

Trenque Lauquen (Buenos Aires, Argentina) is a continuously growing city whose sewage production is treated by the Municipal waste treatment plant created in 1992. This plant was created in 1992 when the number of inhabitants was substantially lower. If the nitrogen and phosphorus were not efficiently removed the effluents may cause a strong negative effect on the receiving water body. I worked under the hypothesis that "Even though the sewage treatment plant still retains nitrogen and phosphorus, the removal is not efficient enough according to current laws". In order to test this hypothesis I evaluated the treatment plant retention of total suspended solids, nitrogen and phosphorus (total and dissolved forms) and chlorophyll in extreme situations (low and high biological activity, i.e. winter and summer).The Imhoff tank retained 24-37% of total suspended solids and always retained 100% of inorganic suspended solids. Even though the treatment plant retained 11-20% of total nitrogen and 11-17% of total phosphorus, these values exceeded the discharge limit established by law. The dissolved nitrogen and phosphorus retention efficiency was between 3-10 times higher in summer than in winter. Chemical and biological processes taking place within the lagoons were evidenced by changes in the chlorophyll concentrations along the treatment plant. I suggest three alternatives to improve the treatment plant functioning: 1) fitoremediation, 2) improve the current functioning; 3) decentralize the treatment of liquid sewage, and 4) increase the treatment plant size.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN…..…… 1

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio ……. 4

Plata de Tratamiento…..……. 4

Muestreo a campo ……. 5

Análisis de muestras y de datos…..…… 7

RESULTADOS

Funcionamiento de la planta en el tiempo ……. 8

Funcionamiento del pozo Imhoff…..……..…..... 8

Funcionamiento actual de la Planta, lagunas aeróbicas y facultativas:

Retención de Nitrógeno Total…..……. 10

Retención de Fósforo Total…..……. 12

Retención de Nutrientes Inorgánicos Disueltos …….. 13

Clorofila…..…….. 16

DISCUSIÓN

Pozo Imhoff…..……. 17

Retención de Nutrientes…..…….....….17

Nitrógeno…….……..... 20

Fósforo…….……. 21

Propuestas para mejorar la retención:

Construcción de un humedal con fitorremediadores antes del cuenco receptor…..… 22

Mejoramiento de la planta actual……..... 23

Descentralización del sistema de tratamiento…….…. 23

Ampliación de la planta…….….. 25

CONCLUSIÓN…..…….…….. 25

BIBLIOGRAFÍA…..…….……26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la laguna El Hinojo respecto de la ciudad de Trenque Lauquen. El círculo de color negro corresponde al punto de desembocadura de los efluentes tratados provenientes de la planta depuradora de líquidos cloacales…….3

Figura 2: Ubicación de la ciudad cabecera del partido de Trenque Lauquen respecto a la ciudad de Buenos Aires, Argentina……...4

Figura 3: Detalle de la planta de tratamiento de aguas cloacales. Laguna aeróbica, laguna anaeróbica y laguna facultativa. Los círculos blancos representan los sitios de muestreo: A) Ingreso a la planta/ingreso pozo Imhoff, B) salida del pozo Imhoff/ingreso a la laguna aeróbica, C) salida de la laguna aeróbica/ingreso a la laguna facultativa, D) ingreso Segmento B de la laguna facultativa y E) salida del Segmento B de la laguna facultativa/salida de la planta. Las líneas rojas indican la dirección del flujo de los efluentes dentro de la planta. Los cuadros rojos indican sitios de bypass que se utilizan para saltear procesos. La laguna anaeróbica no presentaba descargas al momento de muestreo…….....6

Figura 4: Fotos satelitales (GoogleEarth) de la planta de tratamientos cloacales de la ciudad de Trenque Lauquen (Buenos Aires) en el período de estudio: A) 2003, B) 2013 y C) 2016….……9

Figura 5: Contenido promedio de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en las muestras brutas en el ingreso y la salida del pozo Imhoff para invierno y verano. Letras diferentes del mismo color indican diferencias al 5% según el test Mann-Whitney……10

Figura 6: Eficiencia de Retención de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el pozo Imhoff (%), para invierno y verano……....10

Figura 7: Eficiencia de retención de nitrógeno total (NT) de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen (%), para invierno y verano. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney……11

Figura 8: Contenido promedio de Nitrógeno Total (NT) en las muestras brutas, en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación……..11

Figura 9: Eficiencia de retención de fósforo total (PT) de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen (%), para invierno y verano. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney…….12

Figura 10: Contenido promedio de fósforo total (PT) en las muestras brutas, en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación……...13

Figura 11: Eficiencia de Retención de Nitrógeno de nitratos ($N\text{-}NO_3$), Nitrógeno de amonio ($N\text{-}NH_4$) y Fósforo de fosfatos ($P\text{-}PO_4$) en las lagunas de estabilización de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen (%), para invierno y verano. Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney cuando se compara cada variable entre estaciones….....14

Figura 12: Contenido promedio de Nitrógeno de nitratos ($N\text{-}NO_3$) en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación. Obsérvese la diferente escala para los nitratos de diferentes estaciones…….....14

Figura 13: Contenido promedio de Nitrógeno de amonio ($N\text{-}NH_4$) en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación…….…15

Figura 14: Contenido promedio de Fósforo de fosfatos ($P\text{-}PO_4$) en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación…….15

Figura 15: Contenido promedio de clorofila en las muestras brutas, en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación. Obsérvese la diferente escala para la clorofila de diferentes estaciones……..16

Figura 16. Humedal artificial de sistemas hidropónicos de lecho de grava (GBH) con vegetación. Tomado de Seoánez, 1999……24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:…….19

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural cuya conservación, planificación y gestión resultan esenciales para el desarrollo socioeconómico y para el adecuado funcionamiento de los ecosistemas (Schulz, 1995).

En nuestro planeta tan sólo un 2,5 % de toda el agua existente es agua dulce, o sea, apta para consumo. De ésta, la mayoría se encuentra inaccesible en glaciares, por lo que solamente se dispone un 0,5 % para consumo como agua subterránea o superficial.

A nivel mundial, este recurso tan escaso se destina principalmente para uso agrícola, seguido por las aplicaciones industriales y domésticas (Shiklomanov et al., 2011). En cambio, en Argentina, si bien la utilización del agua para fines agrícolas ocupa el primer lugar, es seguido por el consumo domiciliario y por último para fines industriales (FAO, 2016). Según este organismo, el masivo consumo de agua para abastecer poblaciones ha sido superior al crecimiento poblacional desde 1960. En consecuencia, las poblaciones han incrementado la generación residuos líquidos cloacales (S.A.M., 2011), saturando la capacidad asimiladora de la naturaleza y de las plantas de tratamiento en aquellos sitios que cuentan con éstas (Crespi et al., 2007).

Los residuos líquidos producidos por las poblaciones son llevados a plantas de tratamiento que reducen la cantidad de contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Los tratamientos existentes para tratar aguas residuales domiciliarias pueden dividirse en: a) **tratamiento previo**: consiste en la eliminación de todos aquellos cuerpos de gran tamaño (trapos, maderas, plásticos, etc.) vertidos al drenaje, con la finalidad de proteger los diferentes equipos posteriores y las líneas de conducción; b) **tratamiento primario**: tiene como misión la separación por medios físicos de los sólidos en suspensión, grasas y aceites, no retenidos en el tratamiento previo. Este tratamiento utiliza, entre otras estructuras, los desarenadores y los pozos Imhoff. Los desarenadores ayudan a la sedimentación de partículas pesadas y unifican los caudales, mientras que los pozos Imhoff se emplean para remover los sólidos sedimentables suspendidos en el líquido cloacal, digerirlos y separarlos (O.S.N., 1974); c) **tratamiento secundario**: elimina la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales mediante tratamientos biológicos que ocurren en lagunas de estabilización aeróbicas, anaeróbicas y facultativas; y d) **tratamiento terciario**: elimina fundamentalmente fósforo, precipitándolo como sales inorgánicas insolubles mediante procesos químicos, seguido de una desinfección con cloro, que hace una destrucción selectiva de bacterias y virus

patógenos presentes en el agua (De Lora y Miro, 1978). Luego de salir de la planta de tratamientos, el agua se vuelca a un cuerpo receptor.

El problema del vertido de las aguas parcialmente tratadas sobre el cuenco receptor radica en dos elementos nocivos: la presencia de cantidades elevadas de materia orgánica (MO) y nutrientes, tales como nitrógeno (N) y fósforo (P). Ambos elementos llegan a las plantas de estabilización tanto en forma particulada como disuelta. La eficiencia de las lagunas de estabilización depende de la temperatura, época del año, tiempo de residencia, caudal, naturaleza del líquido afluente y mantenimiento de las lagunas (Ortega Sastriques y Orellana Gallego, 2007). Si las lagunas están colmatadas y no funcionan adecuadamente, el cuerpo de agua receptor final (lago o río) recibirá una alta carga de MO que puede causar la disminución del oxígeno disuelto (anoxia) y muerte de la flora y fauna acuáticas (Laws, 1993). Por otro lado, si las lagunas de estabilización no cumplen con la función de retener nutrientes, éstos llegarán al cuenco receptor, causando un gran impacto a ese sistema natural (eutrofización). La eutrofización por volcado de efluentes cloacales responde principalmente a los nutrientes (N) y (P) (Laws, 1993). El N, en su mayor parte, está incorporado a las moléculas orgánicas (proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, etc.). También proviene de la descomposición de la urea, que forma compuestos amoniacales que luego se oxidan transformándose en nitritos y nitratos. El P, también presente en moléculas orgánicas como los nucleótidos, se encuentra principalmente en los excrementos humanos y en los detergentes domésticos comunes que lo usan como tensioactivo (polifosfatos) (OSN, 1973).

Los efectos nocivos de la llegada de nutrientes a un cuerpo receptor pueden incluir un aumento de la tasa de fotosíntesis de las algas, y subsecuente descomposición (y anoxia) cuando éstas mueren, sedimentan en el fondo y son degradadas por microorganismos. Este proceso de descomposición puede hacer descender el nivel de oxígeno disuelto en el agua produciendo anoxia y muerte de organismos acuáticos (Contreras, 1994). Así mismo, el vertido de grandes cantidades de MO estimula la descomposición bacteriana, que también reduce la concentración de oxígeno disuelto y libera muchos nutrientes. De esta manera, la eutrofización sobre el cuenco receptor produce efectos nocivos generales como: aparición de cianobacterias tóxicas, reducción del valor estético, anoxia y muertes masivas de peces, mal olor y pérdida de biodiversidad entre otras (Laws, 1993).

Trenque Lauquen es una ciudad que, para el período (1991-2010), ha tenido un incremento poblacional a razón de 392 habitantes por año (INDEC 2016). Como consecuencia de este crecimiento, se ha incrementado la generación de residuos líquidos y se ha comprometido su

adecuado tratamiento (R. Patris, 2016 *com. pers*.). La planta de tratamiento de efluentes cloacales de Trenque Lauquen está ubicada al NE de esta ciudad y está en funcionamiento desde 1992. Consta de un sistema de tratamiento de tipo previo (rejas), primario (desarenador, pozo Imhoff), secundario (lagunas) y de desinfección. Los efluentes tratados se conducen a la laguna El Hinojo, ubicada hacia el este de la ciudad (Fig. 1).

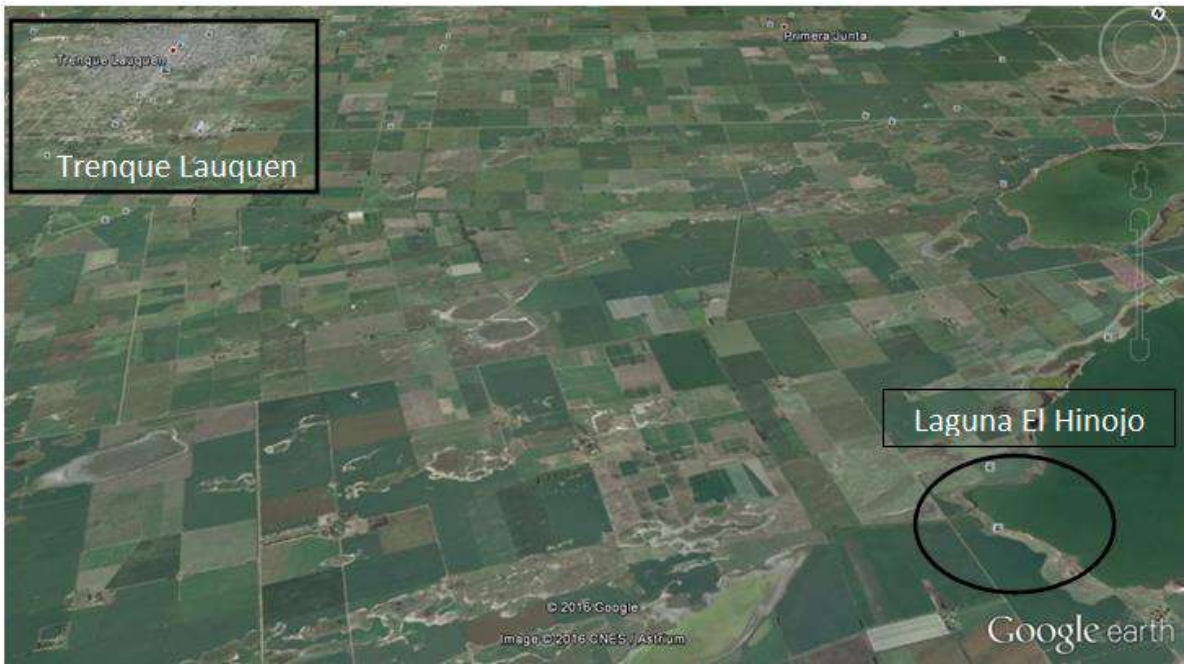

Figura 1. Ubicación la ciudad de Trenque Lauquen y del cuerpo de agua receptor de aguas cloacales tratadas (laguna El Hinojo). El círculo de color negro corresponde al punto de desembocadura de los efluentes tratados provenientes de la planta depuradora de líquidos cloacales.

Si bien la **planta** actual de Trenque Lauquen es relativamente moderna, en ella sólo se proyectó construir un nuevo pozo Imhoff, pero no lagunas extras, para contemplar un aumento del caudal cloacal. Por lo tanto, en caso de que la **planta** no funcione de acuerdo a lo planificado, el líquido cloacal sólo reduciría su permanencia dentro de la **planta**, minimizando su efectividad depuradora. En este caso, los vertidos en el cuerpo receptor (Lag. El Hinojo) causarían un gran impacto negativo sobre el ecosistema natural.

La presente tesina tuvo como objetivo determinar el grado de funcionamiento del pozo Imhoff y la capacidad de retención de N y P de las lagunas de estabilización y comparar estos valores con lo establecido por la bibliografía para este tipo de instalaciones. Además se realizan sugerencias para mejorar el rendimiento de la planta de tratamiento. Debido a que el crecimiento poblacional de la ciudad de Trenque Lauquen ha sido exponencial, hemos

trabajado con la hipótesis que, la planta depuradora de líquidos cloacales, si bien puede retener N y P, no lo hace eficientemente de acuerdo a lo establecido por las leyes vigentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio:

Trenque Lauquen es la ciudad cabecera del partido homónimo, en la provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 2). Está ubicado en la Pampa Húmeda. La precipitación media anual de la región es de 1045 mm y temperaturas medias anuales de 17,1 ºC. La temperatura media de Julio es de 9,6 ºC y la de enero de 24,5 ºC (INTA TL, 2017). En particular, durante los meses de muestreo, la temperatura promedio de Julio fue de 10 ºC, mientras que para enero fue de 25,9 ºC.

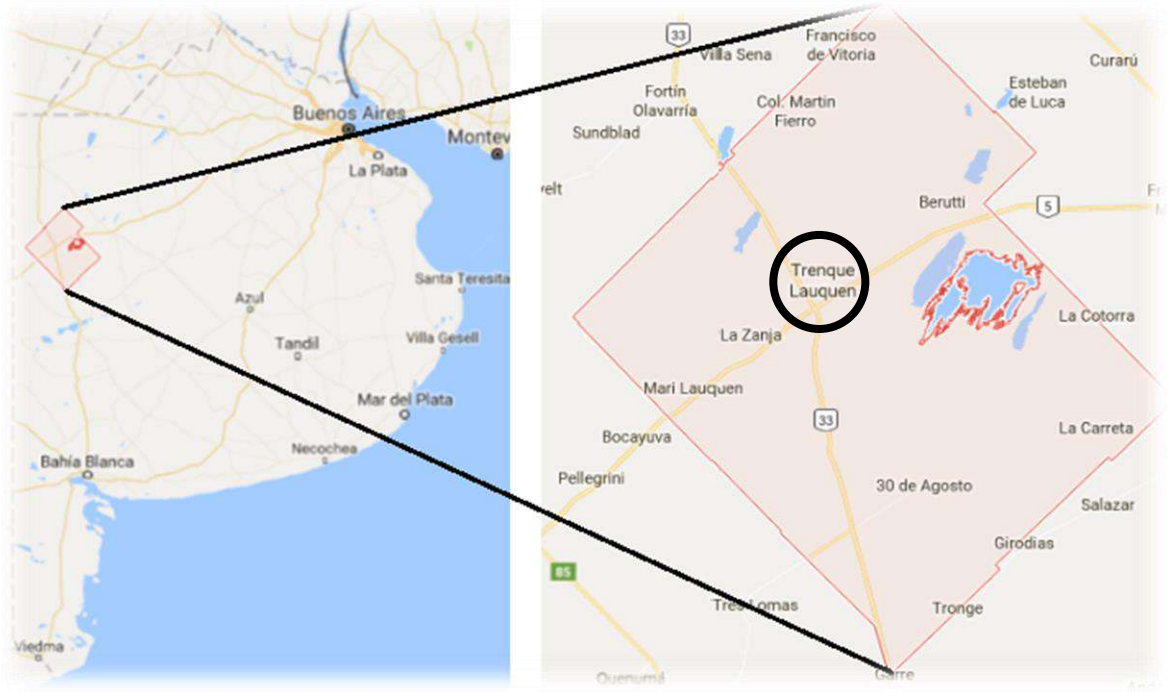

Figura 2. Ubicación de la ciudad cabecera del partido de Trenque Lauquen respecto a la ciudad de Buenos Aires, Argentina.

Planta de Tratamiento:

Los líquidos cloacales ingresan a la planta por un caño madre de 0.60 m de diámetro ubicado a 9 m de profundidad. El caudal que lleva no es uniforme sino que registra un pico sobre el

medio-día (D. A. Pecochea, 2016 *com. pers*). El afluente crudo se conduce hacia un pozo de 17 m de profundidad donde se produce una separación de sólidos gruesos y sólidos inertes a través de rejas. Posterior a esta separación, 4 bombas elevan el líquido crudo hacia un tanque compensador que se utiliza como un desarenador. Las arenas sedimentadas en el tanque compensador son depositadas en las playas de secado y el efluente líquido es conducido al pozo Imhoff. Dicho pozo, posee forma cónica y dispone de una cámara superior por la que pasan las aguas negras en su período de sedimentación. En la cámara inferior se produce una digestión anaeróbica de la materia recibida por gravedad. Desde el pozo Imhoff, los residuos sólidos colectados y digeridos en la cámara inferior, son vertidos a cielo abierto a las playas de secado, mientras que los efluentes líquidos pasan a las lagunas de tratamiento (R. Patris, 2016; *com. pers*.).

La planta cuenta con 3 lagunas conectadas en serie para el manejo de efluentes líquidos (Fig. 3). La **laguna 1** es de tipo aeróbica. Está constituida por dos cuerpos, cada uno de 155 m de largo, 46 m de ancho y 2,5 m de profundidad. Los bordes son de cemento y el piso se encuentra impermeabilizado con grava. Posee 8 aireadores, aunque durante el estudio, funciono 1 (uno) en invierno y ninguno en verano. La **laguna 2** es de tipo anaeróbica. Sus dimensiones son 112 m de largo, 36 m de ancho y 1,8 m de profundidad y también está impermeabilizada con grava. Durante el estudio, en ésta laguna no se recolectaron muestras porque carecía de flujo. Por último la **laguna 3** es facultativa. Esta es la de mayor dimensión, y se puede diferenciar en 2 segmentos (A y B) separados por un rompeolas. El primer segmento (A) tiene 104 m de largo, 70 m de ancho y 1,5 m de profundidad. Este segmento se encuentra impermeabilizado con membrana de tipo Amiplas. El segundo (B) tiene 274 m de largo, 60 m de ancho y en él se pueden diferenciar dos sectores: B1, con 1,5 m de profundidad y B2 que cuenta con una profundidad de 1 m. La impermeabilización es con grava.

Muestreo a campo:

Se tomaron muestras en 5 sitios de la planta (Fig. 3). El Sitio 1 (A): punto de ingreso de residuos crudos a la planta o ingreso al pozo Imhoff; Sitio 2 (B): salida del pozo Imhoff o entrada a la laguna aeróbica; Sitio 3 (C): salida de la laguna aeróbica; Sitio 4 (D): en el estrechamiento de la laguna facultativa; y Sitio 5 (E): salida de los efluentes líquidos de la planta.

Las muestras se tomaron en invierno (14, 21, 28 de Julio y 4 de Agosto de 2016) y en verano (12,19, 26 de Enero y 2 de Febrero de 2017). Con la realización de los muestreos en dichos

meses se buscó obtener una buena representatividad del funcionamiento del sistema tanto de los días típicos de invierno (menor actividad bacteriana en las lagunas) como de verano (máxima actividad bacteriana en las lagunas). De esta manera, se pretendió analizar el funcionamiento de la planta bajo condiciones extremas.

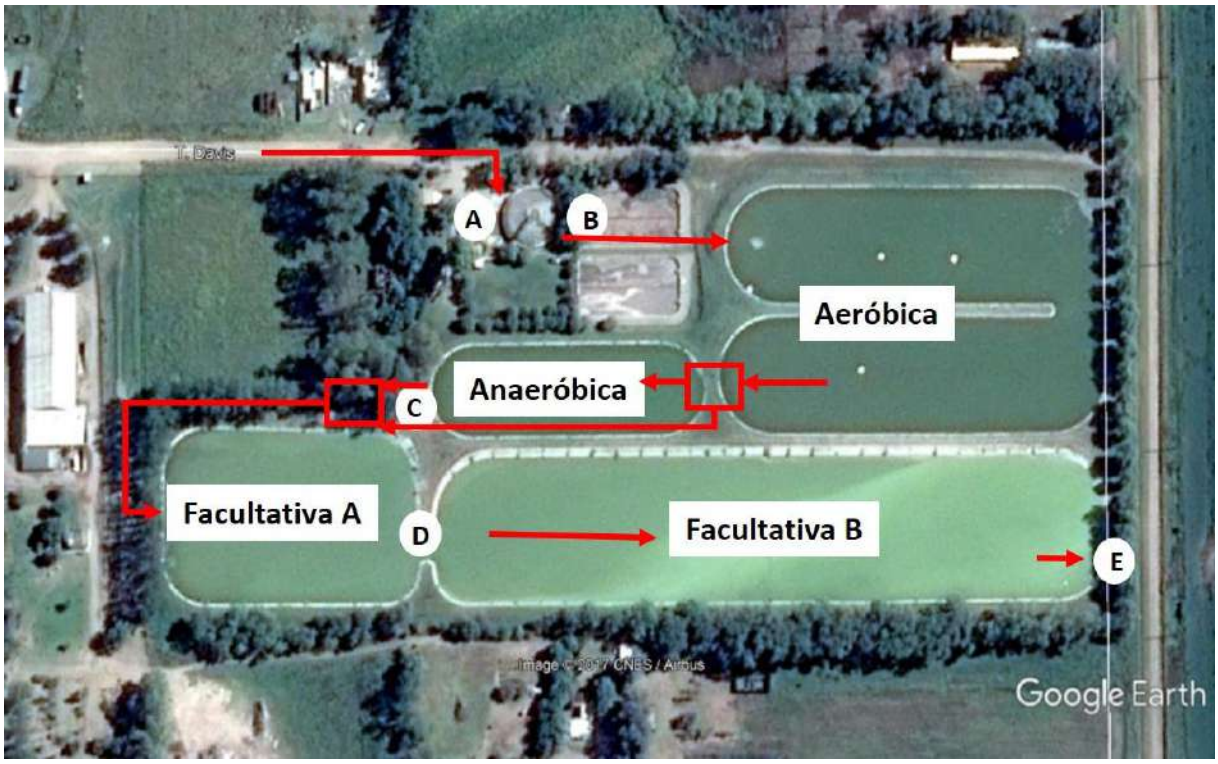

Figura 3. Detalle de la planta de tratamiento de aguas cloacales. Laguna aeróbica, laguna anaeróbica y laguna facultativa. Los círculos blancos representan los sitios de muestreo: A) Ingreso a la planta/ingreso pozo Imhoff, B) salida del pozo Imhoff/ingreso a la laguna aeróbica, C) salida de la laguna aeróbica/ingreso a la laguna facultativa, D) ingreso Segmento B de la laguna facultativa y E) salida del Segmento B de la laguna facultativa/salida de la planta. Las líneas rojas indican la dirección del flujo de los efluentes dentro de la planta. Los cuadros rojos indican sitios de bypass que se utilizan para saltear procesos. La laguna anaeróbica no presentaba descargas al momento de muestreo.

En cada sitio de muestreo se tomaron cuatro muestras durante las horas de luz con un lapso de tiempo de aproximadamente tres horas entre ellas (9 hs, 12 hs, 15:00 hs y 19:00 hs) (O.S.N., 1973). Las muestras se tomaron con un balde de albañilería y posteriormente se colocaron en

botellas plásticas dentro de una conservadora con hielo hasta su procesamiento en un laboratorio local. Las muestras horarias fueron integradas en una sola para representar el funcionamiento diario del sitio durante ese día. La integración de muestras sirve para minimizar los dos picos de caudales diarios que generalmente ocurren entre las 10-12 AM y las 7-9 PM (Crites y Tchobanoglous, 2000). De esta forma, se obtuvieron 4 muestras integradas (una por cada ocasión de muestreo) para cada sitio (5 sitios) por estación (invierno y verano).

Análisis de muestras y de datos:

Los sólidos suspendidos se midieron filtrando de un volumen de agua conocido a través de un filtro de fibra de vidrio (Gelman A/E) prepesado. El secado a 103-104 °C y el calcinado posterior en mufla a 500 °C por 1 hora permitió estimar los sólidos suspendidos orgánicos (SSO), inorgánicos (SSI) y totales (SST) (EPA, 1993).

Doscientos cincuenta mililitros de muestras cloacales brutas fueron preservados en un freezer para determinaciones de nutrientes totales. El nitrógeno total (NT) y el fósforo total (PT) se determinaron con el método de reducción de cadmio (HACH, método 8039) y método del ácido ascórbico (APHA, 1992) respectivamente, previa digestión con persulfato de potasio (Ebina et al., 1983). Las lecturas se realizaron con un espectrofotómetro MetroLab 1700.

Las muestras de nutrientes disueltos se obtuvieron filtrando a través de un filtro de fibra de vidrio tipo GF/F de 0.7 µm de poro. El filtrado resultante se preservó con ácido sulfúrico y se congeló en freezers (-18°C) hasta su análisis. El Nitrógeno de amonio ($N\text{-}NH_4$) se midió con el método del salicilato (Le y Boyd, 2012), el Nitrógeno de nitrato ($N\text{-}NO_3$) con el método de reducción de cadmio (HACH, método 8039). Los nitritos no se muestran en los Resultados ya que sus concentraciones estuvieron por debajo del nivel de detección. El Fósforo como fosfato ($P\text{-}PO_4$) se midió con el método de ácido ascórbico (APHA, 1992). Todos los nutrientes fueron leídos con un espectrofotómetro MetroLab 1700.

Para determinar la biomasa fitoplanctónica se medió la concentración de clorofila en muestras libres de zooplancton sobre filtros de fibra de vidrio GF/F de 1 micrón de poro. Dichos filtros se conservaron en un freezer hasta su análisis con extracciones de alcohol etílico frío. Las lecturas se realizaron con un fluorómetro AquaFluor de Turner Designs, corregidas por la presencia de feopigmentos con adiciones de ácido clorhídrico (Arar y Collins, 1997).

Todas las muestras se procesaron en el laboratorio de aguas del Centro de Investigaciones en Biotecnología y Ecología Ambiental de la UNLPam.

Para determinar el grado de retención de los diferentes nutrientes de la planta o cada laguna se utilizó la siguiente fórmula (EPA,2004):

$$\% \text{ Retención} = 100 * (E - S) / E$$

Donde E es la concentración de un elemento a la entrada de la planta o laguna y S la concentración a la salida de la planta o laguna.

Para detectar diferencias entre medianas en los diferentes sitios de muestreo se utilizó el test no paramétrico Kruskal-Wallis para diferencias de medianas seguido de un test post-hoc de Mann-Whitney debido a la falta de normalidad de los datos (Zar, 1999) utilizando el software estadístico PAST (Hammer et al. 2001).

RESULTADOS:

Funcionamiento de la planta en el tiempo:

Las imágenes satelitales (GoogleEarth) evidencian que, desde su construcción, la planta ha carecido de mantenimiento por lo que su funcionamiento podría ser defectuoso. Once años después de su puesta en funcionamiento (2003), en la planta sólo funcionaban 4 oxigenadores (Fig. 4A). En 2013 no funcionaban el pozo Imhoff ni las lagunas aeróbicas y anaeróbicas debido a tareas de mantenimiento (Fig. 4B). En 2016, si bien funcionaban el pozo Imhoff y las lagunas, no se observó en estas imágenes actividad alguna en los oxigenadores (Fig. 4C). Estas imágenes hacen sospechar una potencial deficiencia en el funcionamiento de la planta.

Funcionamiento del pozo Imhoff:

El pozo Imhoff de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Laquen mostró menores valores de Sólidos Suspendidos Totales (SST) a la salida que a la entrada en ambas estaciones, y esta diferencia fue significativa (Fig. 5). La retención promedio de SST fue de 24,3% en invierno y 37,4% en verano (Fig. 6). La retención de Sólidos Suspendidos Inorgánicos (SSI) fue siempre de un 100% para ambas estaciones.

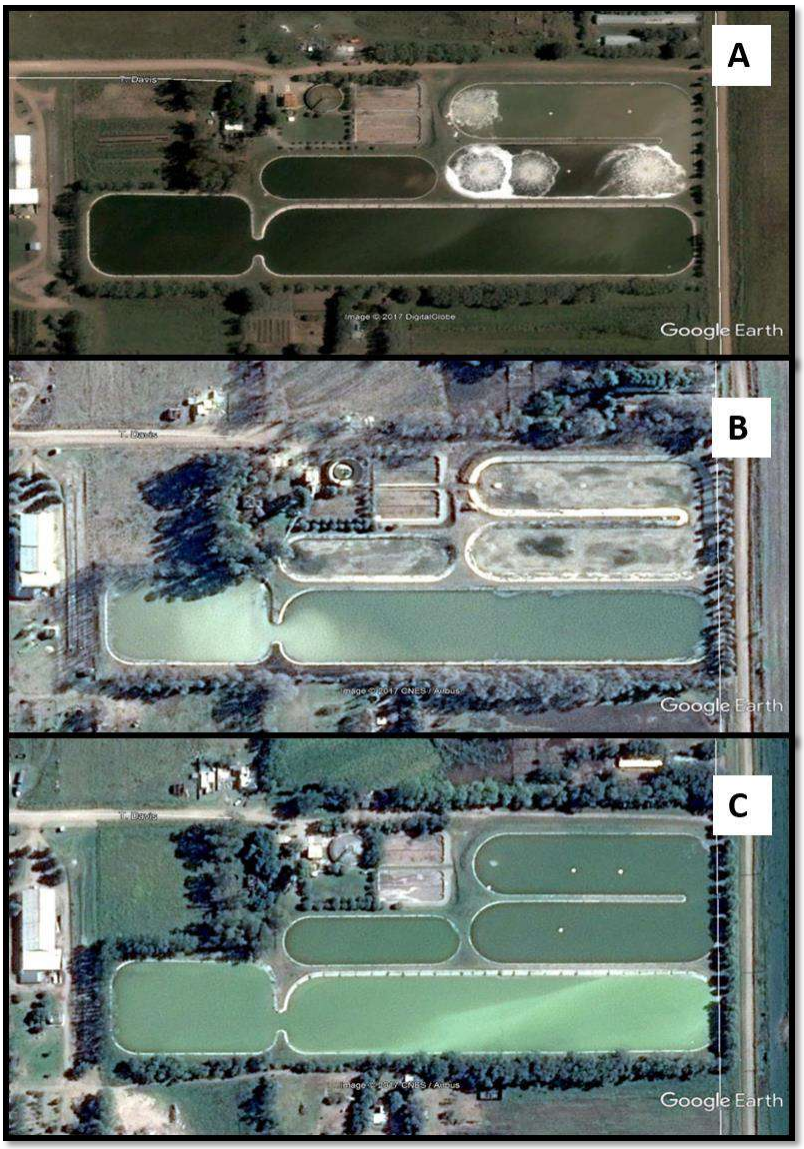

Figura 4: Fotos satelitales (GoogleEarth) de la planta de tratamientos cloacales de la ciudad de Trenque Lauquen (Buenos Aires) en el período de estudio: A) 2003, B) 2013 y C) 2016.

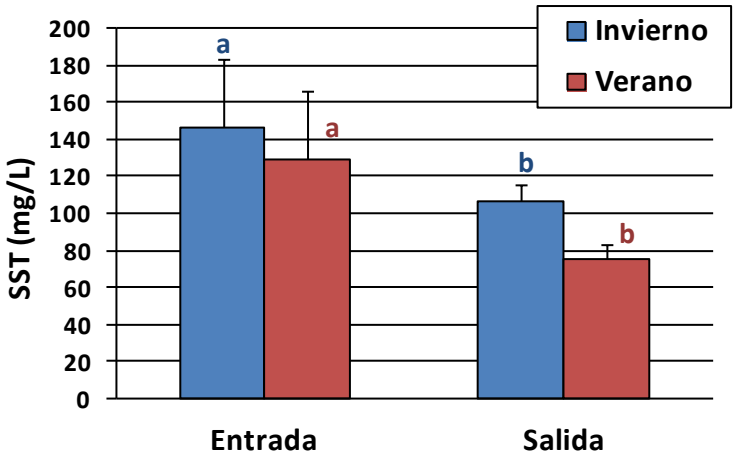

Figura 5: Contenido promedio de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en las muestras brutas en el ingreso y la salida del pozo Imhoff para invierno y verano. Letras diferentes del mismo color entre entrada y salida para la misma estación indican diferencias al 5% según el test Mann-Whitney.

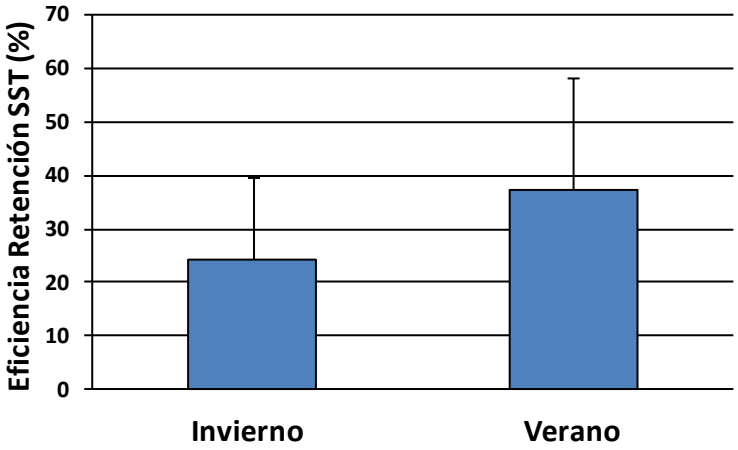

Figura 6: Eficiencia de Retención (%) de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el pozo Imhoff, para invierno y verano.

Funcionamiento actual de la planta y las lagunas aeróbica y facultativa

Retención de Nitrógeno Total:

La planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen retuvo en invierno aproximadamente el 11,3% del NT que ingresaba a la misma, mientras que en verano retuvo el 20 % (Fig. 7). La laguna aeróbica retuvo un 8% (±17) de NT en invierno y un 9% (±10) en

verano. Las lagunas facultativas A y B como una unidad retuvieron un 1% (±9) de NT en invierno y 5% (±11) en verano.

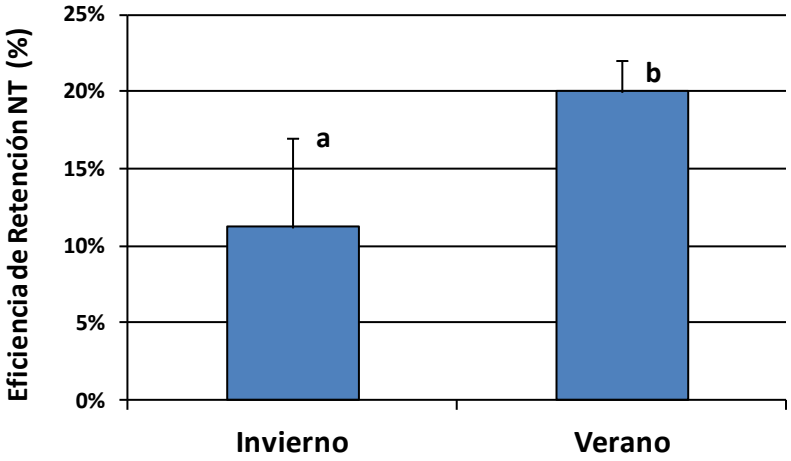

Figura 7: Eficiencia de retención de nitrógeno total (NT) de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen (%), para invierno y verano. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney.

Si bien hubo una tendencia a la reducción de los niveles de NT a lo largo de la planta, las medidas mostraron un gran error experimental en el invierno, por lo que no se pudieron observar diferencias significativas (H= 4,45; P= 0,2163). En el verano, en cambio, la disminución de NT a lo largo de la planta fue más marcada y se registraron diferencias significativas en las salidas de laguna facultativa A y B (H= 9,66; P= 0,0210) (Fig. 8).

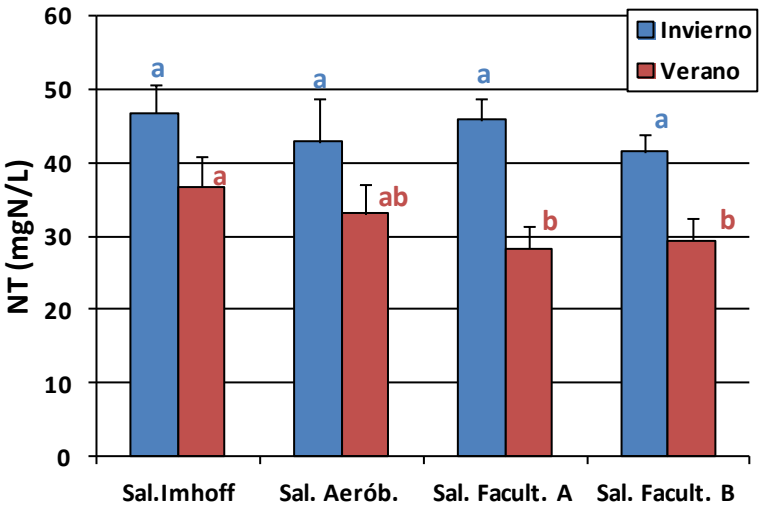

Figura 8: Contenido promedio de Nitrógeno Total (NT) en las muestras brutas, en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color

indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación.

Retención de Fósforo Total:

La retención de PT durante el invierno también fue significativamente menor que en el verano alcanzando 11 y 17% respectivamente (Fig. 9). La laguna aeróbica retuvo un 4% (2±) de PT en invierno y un 10% (5±) en verano. Las lagunas facultativas A y B como una unidad retuvieron un 3% (5±) de PT en invierno y 3% (8±) en verano. Las concentraciones de PT a lo largo de la planta se redujeron significativamente en ambas estaciones (Invierno H= 9,28; P= 0,0253; Verano H= 11,69, p= 0,0085) (Fig. 10).

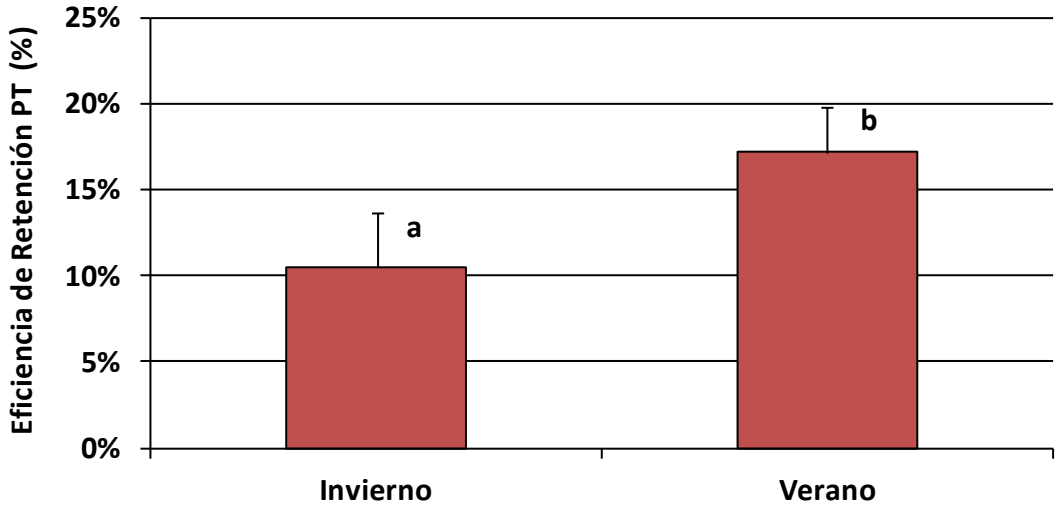

Figura 9: Eficiencia de retención de fósforo total (PT) de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen (%), en invierno y verano. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney.

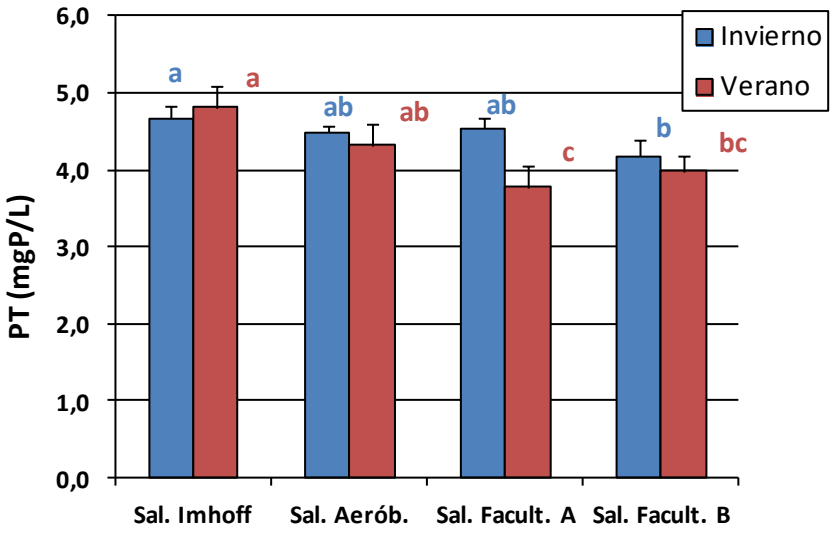

Figura 10: Contenido promedio de fósforo total (PT) en las muestras brutas, en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación.

Retención de nutrientes inorgánicos disueltos:

En cuanto a la eficiencia de retención de Nitrógeno de nitratos ($N\text{-}NO_3$), Nitrógeno de amonio ($N\text{-}NH_4$) y Fósforo de fosfatos ($P\text{-}PO_4$), la planta de tratamiento siempre mostró mayor retención en verano que en invierno, y esa diferencia fue significativa para todas las variables. En invierno, las eficiencias de retención de nitrato, amonio y fosfatos fueron del 17, 3 y 11% mientras que en verano fueron de 59, 51 y 44% respectivamente (Fig. 11).

Las concentraciones de nitratos durante el invierno a lo largo de la planta tuvieron una tendencia negativa, aunque ésta no fue significativa ($N\text{-}NO_3$ H= 3,48; P= 0,316). En verano en cambio, la disminución de nitratos a lo largo de la planta fue significativa ($N\text{-}NO_3$ H= 9,05; P= 0,0269) (Fig. 12). Las concentraciones de amonio durante el invierno no mostraron tendencias significativas a reducirse a lo largo de la planta ($N\text{-}NH_4$ H= 1,58; P= 0,6621). Sin embargo, en el verano, la disminución de amonio a lo largo de la planta fue muy notoria ($N\text{-}NH_4$ H= 12,51; P= 0,0058) (Fig. 13).

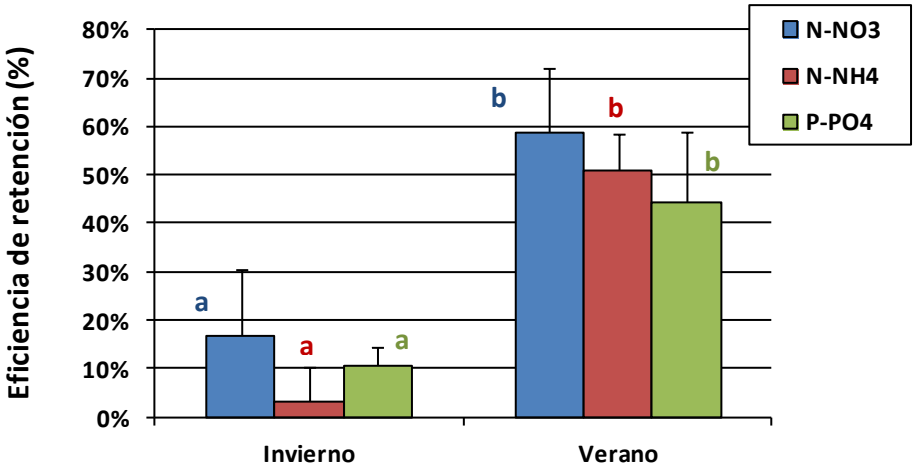

Figura 11: Eficiencia de Retención de Nitrógeno de nitratos ($N\text{-}NO_3$), Nitrógeno de amonio ($N\text{-}NH_4$) y Fósforo de fosfatos ($P\text{-}PO_4$) en las lagunas de estabilización de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen (%), para invierno y verano. Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney cuando se compara cada variable entre estaciones.

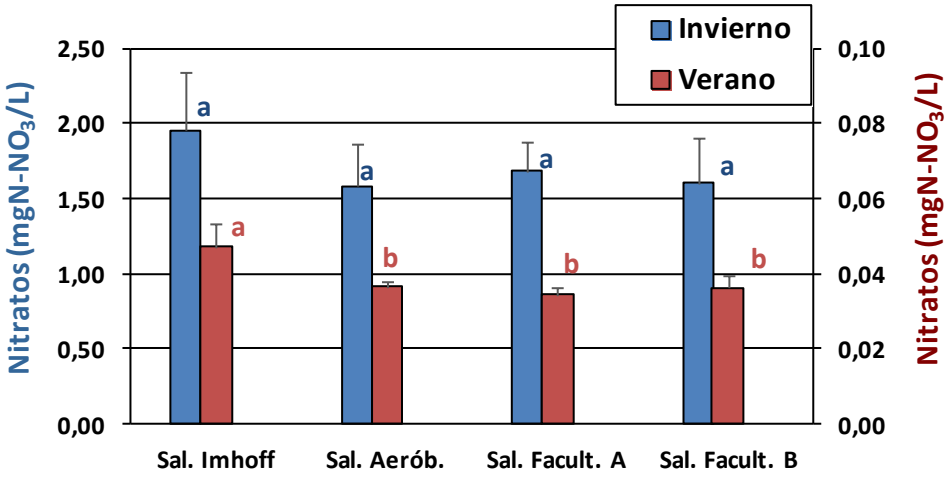

Figura 12: Contenido promedio de Nitrógeno de nitratos ($N\text{-}NO_3$) en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación. Obsérvese la diferente escala para los nitratos de diferentes estaciones.

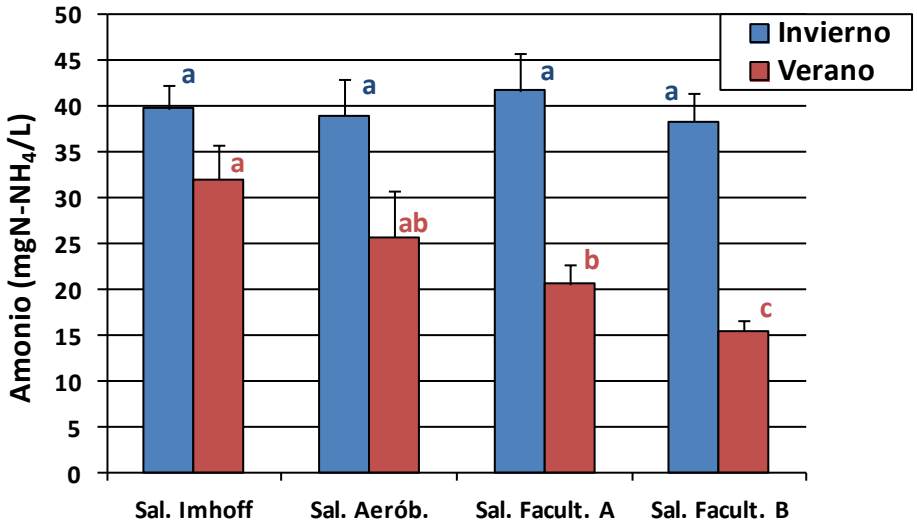

Figura 13: Contenido promedio de Nitrógeno de amonio ($N\text{-}NH_4$) en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación.

Las concentraciones de Fósforo como fosfato ($P\text{-}PO_4$), fueron significativamente mayores a la entrada que a la salida en ambas estaciones (Invierno H= 10,01; P= 0,0184) (Verano H= 6,94, p= 0,0736) (Fig. 14). En ambas estaciones, hubo una tendencia a reducirse hacia la salida, pero ésta fue más notoria en verano que en invierno.

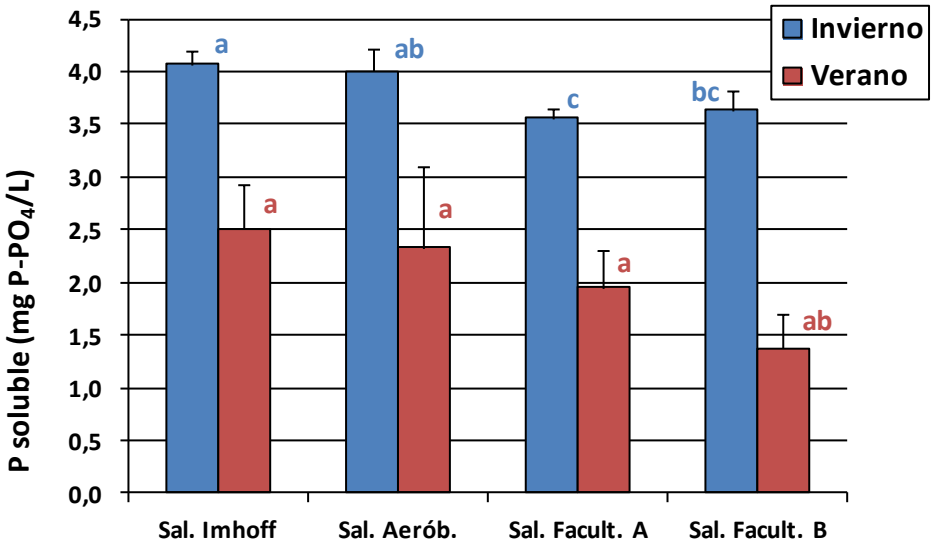

Figura 14: Contenido promedio de Fósforo de fosfatos ($P\text{-}PO_4$) en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican

diferencias significativas al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación.

Clorofila:

La presencia de algas (como clorofila) en las lagunas de estabilización de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Laquen durante el verano aumentó significativamente en comparación con el invierno. Durante el invierno el contenido de clorofila medido (394,2 µg/L) en la salida de la planta fue mayor a lo medido en la entrada (3,2 µg/L) y en las distintas lagunas de estabilización que atraviesa el efluente. En el verano, el contenido de clorofila fue mayor a la salida de la planta (956,9 µg/L) en comparación a la entrada (4,6 µg/L), registrándose la máxima concentración (1442,3 µg/L) a la salida de la laguna aeróbica (Fig.15).

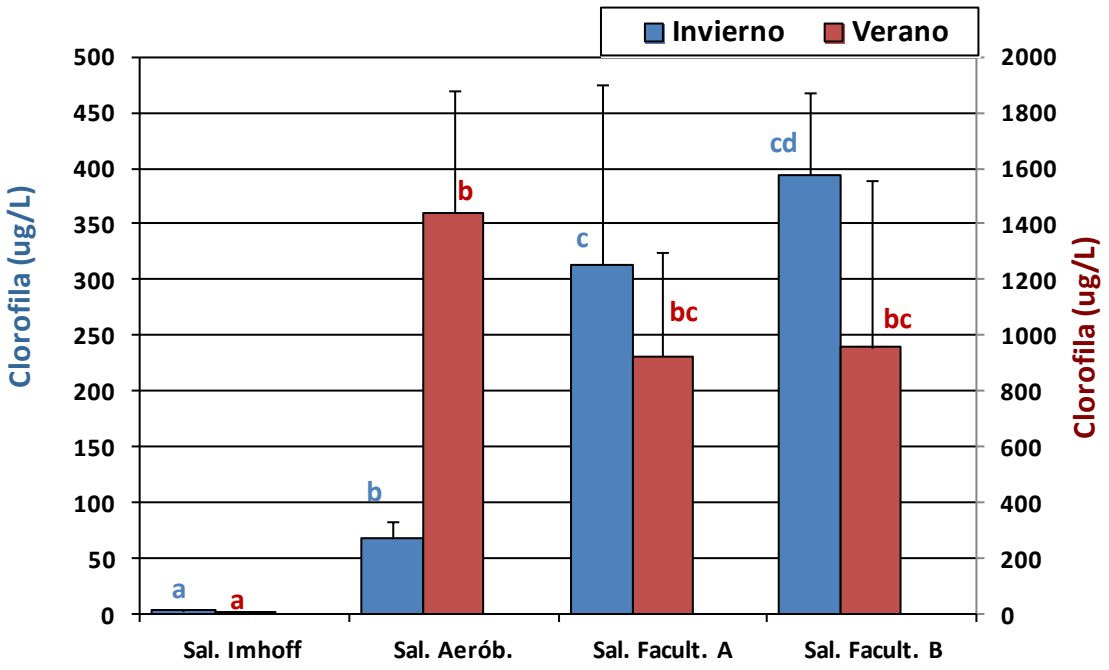

Figura 15: Contenido promedio de clorofila en las muestras brutas, en los distintos sitios de muestreo para el invierno (azul) y verano (rojo). Letras diferentes del mismo color indican diferencias al 5% según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para cada estación. Obsérvese la diferente escala para la clorofila de diferentes estaciones.

DISCUSIÓN

1) Pozo Imhoff

El pozo Imhoff retuvo sólidos suspendidos con mayor eficiencia durante el verano, sin embargo se observó una gran variabilidad en los datos. La alta variabilidad de SST registrada a la entrada del pozo Imhoff en ambas estaciones (Fig. 5) podría deberse a variaciones horarias, diarias y estacionales de caudal en las plantas depuradoras (producto de los hábitos de la población y las características del sistema colector) (O.S.N., 1973). En la planta de tratamiento de Trenque Lauquen, las variaciones horarias y diarias son producto de la ocurrencia de un bypass que se realiza en la planta con la finalidad de disminuir el nivel de agua en el pozo de ingreso a la planta y resguardar las bombas elevadoras durante los momentos pico (D.A. Pecochea, 2016; *com. pers.*). Aunque estas variaciones no están registradas con ningún sistema de aforo fueron observadas en numerosas oportunidades (Fresia *obs. pers.*).

Las menores concentraciones de SST observadas en verano en el pozo Imhoff (Fig. 6) podrían responder a un efecto de dilución por el aumento en el caudal de efluentes cloacales (G. Fresia, *obs. pers.*). Este efecto de dilución ocurriría no sólo en los SST sino también en todas las otras variables registradas, y podría deberse al aumento del consumo de agua de la población durante el verano. Este aumento en el consumo del agua ya ha sido registrado en otras ciudades del mundo (Crites y Tchobanoglous, 2000) pero también ha sido observado en la ciudad de Trenque Lauquen (D.A. Pecochea, 2016; *com. pers.*).

Si bien no hay valores de referencia de eficiencia de retención para pozos Imhoff en la literatura, el pozo Imhoff de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen retiene sólidos suspendidos sedimentables, cumpliendo con su función. Esa retención es muy eficiente para los SSI (100%) y menos eficiente para los SSO (reflejados en los SST de la Fig. 6).

2) Retención de nutrientes

Para poder evaluar la **eficiencia de retención** de la planta depuradora de líquidos cloacales de la ciudad de Trenque Lauquen, se buscaron valores de referencia en la literatura (Tabla 1). Estos valores son muy dispares ya que los límites locales son específicos para cada sitio, y dependen del tipo de contaminantes que se quiere controlar y de la resiliencia (capacidad de autodepuración) del cuerpo receptor de los vertidos. A su vez, hay que notar que el rendimiento de estas plantas es variable ya que refleja diferentes formas de operación,

calidades del líquido cloacal influente, caudal que reciben de acuerdo al uso de la población, y temperaturas locales. Es por ello que estos rendimientos potenciales no representan la máxima operatividad para las cuales fueron diseñadas las plantas de tratamiento (EPA, 2008).

Como la eficiencia de retención depende del funcionamiento de la planta depuradora, la Tabla 1 también muestra los **niveles aceptables de descarga** a un cuenco receptor. Lamentablemente no existen parámetros límite de descarga de nutrientes como el NT y PT en la legislación Nacional vigente, aunque, sí se han encontrado valores de descarga de nitratos y fosfatos, pero los mismos son tan elevados que provocarían contaminación sobre el ambiente. En la provincia de Buenos Aires estos niveles están establecidos por la Resolución 336/03, promulgada el 15 de octubre de 2003 en la ciudad de La Plata por el directorio de la Autoridad del Agua (A.D.A) de Buenos Aires. Los entes de control en provincia de Buenos Aires son: el Organismo Provincial de Desarrollo Sostenible (O.P.D.S), la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (A.C.U.M.A.R) y la Autoridad Del Agua (A.D.A). Lo anecdótico fue, que en ninguno de estos entes se pudo obtener información exacta sobre valores de referencia establecidos por leyes, resoluciones u ordenanzas, lo cual complicó la obtención de estos valores en la provincia de Buenos Aires. Para otras provincias de la República Argentina, también se obtuvo el mismo nivel de dificultad al acceder a este tipo de información (si es que la misma está regulada), lo cual crea una gran confusión al momento de diseñar una planta bajo parámetros normalizados. En general, la alta variabilidad en los estándares encontrados se debe a que los distintos cuerpos receptores poseen características particulares, que les conferirían diferente respuesta frente a procesos de eutrofización, lo cual complica una reglamentación universal. Esta problemática también se ve reflejada en los estándares que se obtuvieron a nivel mundial (Tabla 1).

Tabla 1: Valores de referencia de eficiencias de retención y límites de descarga de efluentes cloacales tratados a los cuerpos receptores según diferentes tratamientos.

	Eficiencia de retención (%)		Descarga (mg/L)		Referencia
	N	P	N	P	
Trenque Lauquen					Este estudio
Promedio Planta	16	14	35	4	
Rango Planta	11-20	11-17	23-41	3,9-4,1	
Legislación Argentina	**Eficiencia de retención (%)**		**Límite para descarga (mg/L)**		
	N	**P**	**N**	**P**	
Bs As Resolución 336/03			35	<1.0	A.D.A. (2003)
Sta Fe Ley 11220			15	2	Sorrequieta (2004)
La Pampa Decreto 2793/06				3,3	Provincia de La Pampa Ley 1914
Córdoba Decreto 847/16			10-20	0,5-10	Provincia de Córdoba
Santa Fé Resolución 324/11			15	2	Provincia de Santa Fe Ley 11220
Legislación Internacional					
Tratamiento biológico	0,51	95	16,2	0,21	Swedish EPA (2017) - Suecia
Tratamiento secundarios	10-50	10-50			Silva et al (2008) - Colombia
Laguna facultativa	30-50	20-60			Silva et al (2008) - Colombia
Laguna anaerobia/facultativa	30-50	20-60			Silva et al (2008) - Colombia
Laguna facultativa	43-82	mínima	14-50	0,5-15	Crites & Tchobanoglous (2000) EEUU
Oxigenadores			3-8	1-2	US EPA 2008 Tabla 5.4
Aeróbico anaeróbico				0,44-0,75	US EPA 2008 Tabla 2,5
Anaerobia	5-10	0-5			Alianza por el agua (2008) - Latinoamérica
Facultativa	30-60	0-30			Alianza por el agua (2008) - Latinoamérica

2.1) Nitrógeno

Los valores promedio de eficiencia de retención de NT de la planta encuadran dentro del rango de retención de la legislación internacional ya que actualmente en Argentina no existen valores de referencia. Sin embargo, los valores de retención de NT de las lagunas aeróbica y facultativa están muy por debajo de lo encontrado en la literatura internacional (Tabla 1) por lo que se puede deducir un mal funcionamiento de las mismas. Esta poca retención se ve reflejada en los valores de NT observados en la salida, lo cuales están muy por encima de los límites establecidos para un cuenco receptor en la Provincia de Buenos Aires. De esta manera se puede afirmar que la planta como un todo, si bien retiene NT en la manera esperada, no retiene lo suficiente en ciertas lagunas particulares, por lo que podría eutrofizar el cuenco receptor (Laguna El Hinojo).

A diferencia del verano, es importante notar la falta de diferencias significativas en los niveles de NT a lo largo de la planta durante el invierno. Estas diferencias estacionales en las concentraciones de NT a lo largo de la planta pueden tener su explicación en que el ciclo biogeoquímico del N no es conservador. Este posee un importante intercambio con la fase gaseosa a través de procesos de fijación biológica de N y denitrificación y depende fuertemente de la actividad biológica (Wetzel, 2001). Durante el invierno, las bajas temperaturas no sólo redujeron la biomasa algal sino que habrían reducido la actividad microbiana de las bacterias nitrificadoras, amonificadoras y denitrificadoras (EPA 2008; Margalef, 1986). De esta manera, la producción de amonio y nitrato no presentó grandes variaciones a lo largo de la planta durante el invierno y las formas nitrogenadas liberadas por descomposición no fueron mayormente reducidas por absorción de las algas. En el verano, en cambio, el aumento de la temperatura y la actividad biológica, favorecieron no sólo la producción de nutrientes nitrogenados disueltos sino también la producción algal. De esta manera se observó una significativa reducción de amonio y nitrato a lo largo de la planta. Sumado a esto se pueden suponer efectos muy importantes de la denitrificación durante la época estival. Se sabe que en la parte profunda de las lagunas (anóxica) las bacterias extraen de las formas nitrogenadas oxidadas (NO_3 y NO_2) el oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica que contienen los líquidos cloacales, liberando en forma gaseosa el nitrógeno molecular (N_2). La denitrificación está positivamente relacionada con la temperatura (EPA, 2008) y ya ha sido observada en numerosas plantas de tratamiento (EPA 2008, 2009).

Es importante destacar que durante el verano se observaron menores concentraciones de nitrato y amonio entrando a la planta (Figs. 12 y 13). Esta reducción puede deberse a un efecto de dilución como resultado de un aumento en el consumo (y desecho) de agua de la ciudad o el efecto de las tormentas estivales tal cual ya fue mencionado con anterioridad para los SST.

2.2) Fósforo

En ambas estaciones, las concentraciones a la salida de la planta fueron siempre significativamente menores que a la entrada. Al igual que lo observado con el NT, los valores de eficiencia de retención de PT de la planta como una unidad fueron mayores en verano que en invierno, y también encuadran dentro del rango estipulado por legislación internacional, ya que en Argentina, estos valores no están regulados. Sin embargo, cuando se analizan los valores particulares de retención de las lagunas aeróbica y facultativas, se observa que, al igual que el NT, están muy por debajo de la legislación internacional encontrada (Tabla 1) lo cual indica un mal funcionamiento de los mismos. Esto causa que los niveles vertidos por la planta de PT hacia el cuenco receptor también estén muy por encima de los límites establecidos para la Provincia de Buenos Aires. Se puede afirmar entonces, que la planta como un todo retiene PT en la forma esperada, pero ciertas lagunas internas no lo hacen de la forma esperada, por lo que los efluentes vertidos al cuenco receptor podrían causar una rápida eutrofización. La retención de PT a lo largo de la planta se debe a procesos de sedimentación, ya que el P, a diferencia del N, posee un ciclo biogeoquímico muy conservador (Wetzel, 2001). De esta manera, el PT que se retiene en las lagunas, pasaría a formar parte de los barros que se acumulan en el fondo de las mismas. En la mayoría de los procesos de tratamiento, la reducción biológica del P es muy baja y siempre está asociada a procesos de remoción de N. De esta manera, las bacterias denitrificadoras favorecen la coagulación y sedimentación de P en los sedimentos, eliminándolos del líquido cloacal. Sin embargo, como la remoción biológica de P es generalmente ineficiente, se utilizan procesos químicos de precipitación, típicos de plantas de tratamientos terciarias (EPA, 2004).

Los niveles de fosfatos a la salida del pozo Imhoff (ingreso de la laguna aérobica) durante el verano fueron aproximadamente la mitad de los niveles registrados durante el invierno. Como ya se mencionara anteriormente para los SST y las formas nitrogenadas disueltas, esta reducción puede deberse también al efecto de dilución por aumento del caudal cloacal durante el verano. La disminución de fósforo como fosfato ($P\text{-}PO_4$) a lo largo de la planta estuvo relacionado con el crecimiento algal en las lagunas ya que éste se mantiene en el agua y es

consumido por la comunidad fitoplanctónica rápidamente (Wetzel, 2011). La biomasa fitoplanctónica fue menor en el invierno respecto del verano causando que la retención de los mismos fuera menor en invierno que en verano (9,45% y 45% respectivamente) (Fig. 11).

3) Propuestas para mejorar la retención de nutrientes:

Según los resultados de esta investigación, la planta de tratamiento de aguas cloacales de Trenque Lauquen descarga niveles de N y P que están en el límite o son superiores a lo establecido por la resolución 336/03 vigente en la provincia de Buenos Aires. La deficiencia en su desempeño probablemente sea consecuencia de la falta de mantenimiento y/o funcionamiento parcial de la planta. Como ya se mencionara anteriormente, la falta de oxigenadores y la existencia de un bypass que no permite el permanente ingreso de agua a la laguna anaeróbica, podría estar disminuyendo el funcionamiento de la planta. Por otro lado, existe un bypass a la entrada de la planta que sólo funciona en momentos de caudal pico y de altas precipitaciones para evitar el colapso de la planta. Esto produce que los vertidos crudos (sin tratamiento) vayan directamente al cuenco receptor (Lag. El Hinojo) (D. A. Pecochea, *com. pers*).

Como los datos de esta investigación indican que, si bien la planta de tratamientos cloacales de Trenque Lauquen retiene NT y PT, pero no lo suficiente, es necesario tomar acciones inmediatas para disminuir la descarga de N y P en el efluente. Es por ello que se sugieren las siguientes medidas (ordenadas de menor a mayor costo para el presupuesto municipal):

3.a) Construcción de un humedal con fitorremediadores antes del cuenco receptor.

La efectiva reducción de N y P en todas sus formas mediante procesos químicos es la función de una planta de tratamiento terciario. Sin embargo, existe la posibilidad de reducir los nutrientes disueltos mediante fitorremediadores cuya finalidad es depurar las aguas de forma natural. Los fitorremediadores son plantas vasculares acuáticas (achiras, papiros, totoras u otro tipo de plantas emergentes) conocidas por retener importantes cantidades de N y P disuelto (Gebremariam y Beutel, 2008). Las aguas tratadas circulan por dentro del canal, entre el pedregullo y las raíces de plantas, lo que evita la salida de malos olores y los riesgos de exposición de personas con las aguas contaminadas. El sistema funciona como un filtro físico y biológico que retiene y aprovecha la materia orgánica residual (y los nutrientes). Algunos autores, han demostrado que la eficiencia de estos fitorremediadores es muy prometedora. Por ejemplo, Cadelli *et al.* (2005) encontraron retenciones de 77% tanto para NT como PT

durante el verano, luego que los efluentes provenientes de pozos ciegos fueran tratados con *Typha* sp.,*Salix* sp. y *Alnus* sp. Chung *et al.* (2007) observaron que pantanos con *Typha latifolia* retuvieron un 67% de PT. Por otro lado, la retención de TKN (NT como Kjeldahl) fue de hasta el 100% en tratamientos con plantas. Yousefi y Mohseni-Bandpei (2010) trabajando con plantas de lirio (*Iris* sp.) encontraron que las eficiencias de retención de PT fueron de hasta el 67% y de TKN de hasta un 50%.

De esta manera, el cultivo de ciertas especies fitorremediadoras a lo largo del canal que conecta la planta de tratamiento con el cuerpo de agua receptor (de aproximadamente 15 Km), podría mejorar la retención de nutrientes antes de la laguna El Hinojo.

3.b) Mejoramiento de la planta actual. Estos procedimientos pueden incluir:

Reemplazo y puesta en funcionamiento de los oxigenadores. Esto brindaría una mayor eficiencia en las lagunas aeróbicas, logrando una mayor reducción de la materia orgánica y mejoraría la retención de fósforo por procesos biológicos (EPA 2009; Tabla 1).

3.c) Descentralización del sistema de tratamiento. La descentralización puede definirse como "la recolección, tratamiento y vertimiento o reutilización de aguas residuales provenientes de hogares individuales, conjuntos habitacionales pequeños […] cerca del punto de generación de residuos". Esta descentralización se logra separando a nivel doméstico los residuos cloacales semi-sólidos de los líquidos. Los sólidos se colectan en una cámara séptica cuyo contenido debe ser limpiado regularmente y trasladado a las playas de secado de una planta centralizada como la actual en Trenque Lauquen. Los efluentes líquidos generados pueden colectarse y dirigirse a un área alejada donde se aplican sobre el suelo, mediante un proceso de tasa baja (infiltración lenta), formando humedales artificiales con vegetación implantada (filtros verdes) tanto herbácea como leñosa. En estos filtros, las partículas orgánicas e inorgánicas que van siendo absorbidas por la fracción mineral del suelo, de acuerdo a la capacidad de intercambio iónico, pH y la porosidad propia del suelo (Seoánez, 1999). Los microorganismos asociados a las biopelículas que se desarrollan sobre la superficie de las partículas del suelo, capturan materiales de desecho coloidales y disueltos (EPA 2009). Los nutrientes disueltos restantes también son absorbidos por las raíces de la vegetación implantada, y el agua restante infiltra a través del terreno. Para evitar esta infiltración y posible contaminación de las napas se utilizan sistemas hidropónicos de lecho de grava (GBH por sus siglas en inglés) con cobertura herbácea (Fig. 16). Estos humedales se construyen en zonas con baja pendiente (1-5 %), pero sobre una superficie impermeabilizada con geomembrana. Un GBH de 44m x 331m con flujo superficial puede tratar hasta 1500

m^3/día de efluentes líquidos (Seoánez, 1999). El agua que no es absorbida o evaporada es recuperada en la parte inferior de la pendiente y bombeada al ingreso del GBH o bien aplicada sobre el suelo con la vegetación leñosa (EPA, 2004). Si se aplicara a zonas con vegetación leñosa puede utilizarse sobre plantaciones de eucaliptus, sauces y álamos donde puede lograrse rangos de remoción de 70-90% para NT y 45-60% para PT (EPA 2004; Seoánez, 2003).

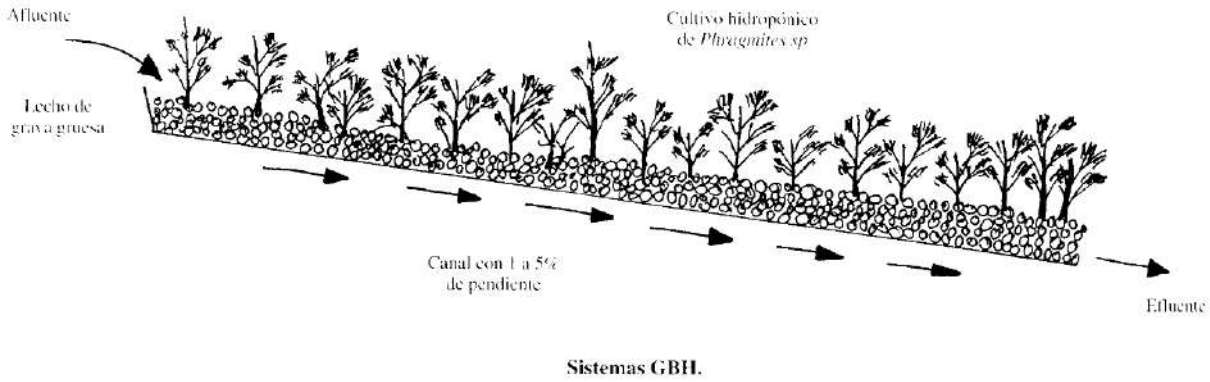

Figura 16. Humedal artificial de sistemas hidropónicos de lecho de grava (GBH) con vegetación. Tomado de Seoánez, 1999.

Las características geomorfológicas del partido de Trenque Lauquen permiten definir al suelo con características óptimas para el tratamiento de infiltración lenta. Este tipo de tratamiento requiere para ser óptimo una profundidad del nivel freático > 1,5 m, una pendiente de 0-2% y una permeabilidad de 5-50 mm/h (Alianza por el Agua 2008). Trenque Lauquen posee una profundidad del nivel freático de 1,5-3,8 m (RIAN, 2005), una pendiente de 0,25% (Kruse y Laurencena, 2005) y una permeabilidad moderada a rápida (Panigatti, 2010). Sin embargo, es necesario destacar que en el área asignada, se debería instalar una red de pozos de monitoreo para evaluar la posible contaminación del agua subterránea. También el sistema debería proveer el almacenamiento del agua residual, a través de un tanque que reciba los efluentes durante tareas de mantenimiento o períodos de humedad excesiva (Crites y Tchobanoglous, 2000). Dentro de las ventajas del sistema propuesto, existe el aprovechamiento económico que puede obtenerse de la comercialización de la madera. Como desventaja, podría citarse las altas precipitaciones en Trenque Lauquen, sin embargo Alianza por el Agua (2000) establece esta alternativa como óptima para Centroamérica, área que posee iguales o mayores precipitaciones anuales a las de Trenque Lauquen.

3.d) Ampliación de la planta. En el caso de disponer de mayores recursos económicos, se podrían implementar políticas largo placistas amigables con el ambiente, tales como la ampliación de la planta para su mejor funcionamiento. Estos procedimientos pueden incluir:

d.1) Aumentar el caudal bombeado hacia el Pozo Imhoff. Esto puede lograrse reemplazando los caños que conducen el líquido cloacal hacia las bombas elevadoras, por unos de mayor calibre y acoplar bombas con mayor capacidad de bombeo.

d.2) Construir el nuevo Pozo Imhoff (ya planificado) y un nuevo desarenador. Esto permitiría utilizar la playa específica de descarga para los camiones atmosféricos, ubicada al ingreso de la planta que actualmente no se utiliza.

d.3) Agregar más lagunas, pero en lugar de que las lagunas estén ubicadas en serie (en rosario), se sugiere que su conexión sea en paralelo. De esta manera se podrían efectuar actividades de mantenimiento, sin la necesidad de interrumpir fases sucesivas en el tratamiento de los efluentes líquidos, tal como lo ocurrido en 2013 (Fig. 4B).

Respecto de la obtención de fondos para estas tareas, es importante destacar que el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (E.N.O.H.SA.), a través del Programa de Obras Menores de Saneamiento (P.R.O.M.E.S), otorga préstamos de asistencia financiera y técnica a prestadores de servicios sanitarios. Esto incluye municipios y entes de regulación y control, que realicen inversiones en adquisición de equipamiento destinado a la elaboración de estudios y en materia de saneamiento (construcción, ampliación, optimización y/o rehabilitación) de las plantas de tratamiento.

CONCLUSIÓN:

La presente investigación permite afirmar que la planta de tratamiento de aguas cloacales de Trenque Lauquen, si bien retiene NT y PT, no lo hace eficientemente como para encuadrar en lo establecido por las leyes vigentes de la Provincia de Buenos Aires. A la entrada de la planta, el pozo Imhoff siempre retuvo el 100% de los SSI a lo largo de todo el año, mientras que retuvo más SST hacia el verano.

Las lagunas de estabilización de la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Laquen retuvieron entre un 11% y un 20% de NT y un 11% y un 17% de PT. A pesar de estos niveles de retención, el NT y PT vertidos en el cuenco receptor (laguna de El Hinojo) están muy por encima de lo establecido por la ley de la Provincia de Buenos Aires. En términos generales, la eficiencia de retención de nutrientes disueltos de la planta (fosfatos, amonios y

nitratos) fue mayor en verano debido al aumento de la actividad biológica. Esta eficiencia podría mejorarse con el uso de fitorremediadores, realizando tareas de mantenimiento y ampliación de las instalaciones actuales, como también una descentralización diseñada sólo para el tratamiento de los residuos líquidos.

BIBLIOGRAFÍA

Alianza por el agua (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas.* Centroamérica. ARPIrelieve. 261 pags.

American Public Health Asociation (APHA) (1992). *Standard Method for the examination of water y wastewater*, Edición 18, Washington D.C. 1022 pags.

Arar, E. J. y G. B. Collins (1997). In vitro determination of chlorophyll a and pheohitin-*a* in marine and freshwater algae by fluorescence. Método EPA 445 disponible online: www.epa.gov/nerlcwww/ordmeth.htm. Visitado el 10 de Julio de 2016. 22 pags.

Cadelli, D., M. Nemcova & M. Radoux (2005). On-site domestic wastewater treatment by MHEA (R) technology: Case study in Belgium. Natural and Constructed Wetlands: Nutrients, Metals and Management. 65-81.

Chung, A. K. C., Y. Wu, N. F. Y. Tam & M. H. Wong (2008). Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater. Ecological Engineering 32:81-89.

Contreras, F. (1994). *Manual de técnicas hidrobiológicas*. México. Trillas. 141 pags.

Crespi, R., Plevich, O., Thuar, A., Grosso, L., Rodríguez, C., Ramos, D., Barotto, O., Sartori, M., Covinich, M. y Boehler, J. (2007). *Manejo de aguas residuales urbanas*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, Argentina. 23 pags.

Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Mc Graw Hill. Colombia. 1082 pags.

De Lora, F. y Miró, J. (1978). *Tratamiento y depuración de aguas residuales*. En: Técnicas de defensa del medio ambiente. Ed. Labor. 1:56-79

Ebina, J., Tsuyoshi, T. y Toyoso, S. (1983). *Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in water using peroxodisulfate oxidation.* Water Res. 17 (12), 1721-1726.

Environmental Protection Agency (EPA) (1993). ESS Method 340.2: Total Suspended Solids, Mass Balance (Dried at 103–105 ˚C) Volatile Suspended Solids (Ignited at 550 ˚C). Visitado el 14/09/2017 http://www.epa.gov/glnpo/lmmb/methods/methd340.pdf

Environmental Protection Agency (EPA) (2004). *Local limits Development Guidance*. EPA 833-R-04-002A July 2004.

Environmental Protection Agency (EPA) (2008). *Municipal Nutrient Removal Technologies Reference Document.* EPA 832-R-08-006, September 2008.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016). *Uso del agua*. Disponible online: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/ARG-WU_eng.stm. Visitado el 2 Octubre de 2017.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (2017). Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico. Disponible online: http://siga2.inta.gov.ar/en/datosdiarios/ Visitado el 19 de Septiembre de 2017.

Laws, E. A. (1993). *Aquatic pollution.* An introductory text. John Wiley & Sons. New York. 611 pags.

Margalef, R. (1986). *Ecología.* Ed. Omega, Barcelona. 951 pags.

Ortega Sastriques, F. y Orellana Gallego, R. (2007). *El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. II. Aguas residuales urbanas.* Revista Ciencia Técnica Agropecuarias, Vol. 16, No. 3, pags. 25-27.

O.S.N. (Obras Sanitarias de la Nación) (1973). *Manual de laboratorio para técnicos sanitarios*. Argentina. 228 pags.

Panigatti, J.L. (2010). Argentina 200 años, 200 suelos. Ed. INTA Buenos Aires. 345 pp.

Schulz, C. J. (1995). Agua y medio ambiente. COSYPRO Ltda. Quemú-Quemú (L.P.). 159 pags.

Secretaría de Asuntos Municipales (S.A.M.) (2011). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Buenos Aires. 87 pags.

Seoánez Calvo, M. (1999). *Aguas Residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías, Diseño.* Ed. Mundi-Prensa. España. 326 pags.

Seoánez Calvo, M. (2003). *Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias.* Ed. Mundi-Prensa. España. 465 pags.

Shiklomanov, I. A., Babkin, V. I. y Balonishnikov, Zh. A. (2010). *Water Resources, Their Use, and Water Availability in Russia: Current Estimates and Forecasts.* Vodnye Resursy, 2011, Vol. 38, No. 2, pags. 131–141.

Silva, J., Torres, P. y Madera, C. (2008). *Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura.* Agron. Colomb., 26(2), 347-359.

Sorrequita, A. (2004). *Aguas Residuales: Reuso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica".* Facultad de ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas. Junio 2004. 30 pags.

Swedish EPA (2017). Disponible online: http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-8416-5.pdf?pid=4098. Visitado el 26/9/2017. 24 pags.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and river ecosystems.* 3ra Edición. Academic Press. 1006 pags.

Yousefi, Z. & A. Mohseni-Bandpei (2010). Nitrogen and phosphorus removal from wastewater by subsurface wetland planted with *Iris pseudacorus*. Ecological Engineering 36: 777-782.

Zar, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. 4th ed., Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 931 pp.