



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 LAS LAGUNAS SECUNDARIAS DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO SUR DE AGUA RESIDUAL DE LA CIUDAD DE
SANTA ROSA, EN UN DÍA DE VERANO.

Carolina Elizabeth POLANCO

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2013

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 Laboratorio de Aguas, dependiente del Departamento de Ciencias Naturales, durante el período comprendido entre el 13/IV/2012 y el 28/VI/2013, bajo la dirección del Dr. Alberto Pilati y bajo la codirección de la Lic. Buitrón Beatriz.

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 ser lo que siempre quisimos ser.

A mi Director, Dr. Alberto Pilati por su gran apoyo y seguimiento durante todo este tiempo lleno de idas y venidas. Por buscarle siempre una solución a todo lo que se nos presentaba y nunca dejar que mis cuelgues sean demasiados prolongados para finalmente presentar este trabajo.

A mi codirectora, "Petty" Buitrón, y al personal del laboratorio de APA, por facilitarme los elementos para realizar los análisis químicos y hacerme partícipe del proceso. Como también, al exDirector de Hidráulica, Alberto Pessio y al personal y encargado de la Planta Sur. Ariel, por abrirme las puertas y permitir que llevara a cabo este trabajo ya sea por la información técnica brindada como también por posibilitar el acceso al predio. A todos ellos, muchas gracias!

A las personas puntuales que me ayudaron en la toma de muestras (Alberto, Romi, Abuelo Chiche y Papá) y a los que supieron darme un apoyo durante todo el proceso desde escucharme renegar hasta brindarme un poco de guía cuando se me trababa la cabeza.

Nunca está de más, agradecer a los profesores que a lo largo de la carrera y durante muchos trabajos facultativos nos enseñan las mil y una formas de ejercer nuestra profesión.

Y como para redondear, a todas las personas, Amigos y Familia, que desde siempre me acompañaron, acompañan y me acompañarán en todas las decisiones y caminos que la vida me hace tomar.

Simplemente ¡Muchas GRACIAS!

28 de Junio de 2013

Carolina Elizabeth POLANCO

Departamento de Recursos Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

RESUMEN

Santa Rosa (capital de La Pampa) es una ciudad con continuo crecimiento, y junto con él, aumentan los desechos domiciliarios. Es por ello que en 1994 se habilitó la planta de tratamientos cloacales sur que vierte los líquidos tratados en la laguna del Bajo Giuliani. Estos efluentes poseen materia orgánica (MO) y nutrientes (N: nitrógeno y P: fósforo) que, de no ser removidos adecuadamente, conllevan a la eutrofización del cuenco receptor. Esta planta de tratamientos cloacales es de tipo secundaria por lo que debería reducir eficientemente la MO. Sin embargo, el aumento continuo de la red cloacal podría haber disminuido el poder de retención de nutrientes causando un importante deterioro del cuenco receptor. Para explorar la hipótesis que la planta de tratamientos sur aún retiene N y P a pesar del aumento de efluentes cloacales que a ella llegan, se tomaron muestras a lo largo de un día en el verano del 2012 a las cuales se les analizó las diferentes formas de N y P. Se encontró que los piletones reducen la entrada de P total en un 7% y la de N total en un 23%. Se evidenció un importante cambio en las formas de fosforadas y nitrogenadas, lo que indica que todavía existen procesos activos (químicos y biológicos) dentro de los piletones. También se discuten los efectos deletéreos que puedan tener los líquidos cloacales tratados vertidos en el Bajo Giuliani y se analiza el uso de fitorremediadores para mejorar aún más la retención de nutrientes.

ABSTRACT

Santa Rosa (capital city of La Pampa) is a city with a continuous growth rate, which is accompanied with a continuous increment of household waste. In 1994, a new wastewater treatment plant (South) was installed, whose effluents go into Bajo Giuliani lake. These effluents have organic matter (OM) and nutrients (N: nitrogen and P: phosphorus). If these nutrients are not well removed they could lead to strong eutrophication processes in the receiving water body. This plant is a secondary wastewater treatment plant, so it should efficiently reduce OM. Nevertheless, the continuous city growth could have reduced nutrient retention efficiency, causing an important eutrophication process in Bajo Giuliani. To test the hypothesis that this wastewater treatment plant still removes N and P in spite of the increasing volume of liquid wastes, I took samples along a typical summer day and I analyzed different N and P forms. I found that the plant removes 7% of total P and 23% of total N. I also found important changes in N and P forms, indicating active chemical and biological processes in the ponds. I also discuss potential negative effects of municipal wastes in Bajo Giuliani and I analyze the use of some plant species to increase even more this retention.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO DEL TRABAJO	3
MATERIALES Y METODOS	3
RESULTADOS.....	5
Retención de nutrientes:	5
Cambio de formas químicas de los nutrientes:.....	6
Clorofila:	8
DISCUSIÓN	8
Fósforo:	8
Nitrógeno:	9
Concentración de Clorofila y su relación con los nutrientes:.....	9
Impactos en el ecosistema:	10
Formas propuestas de mejorar la retención.....	10
Sugerencias:	11
CONCLUSIONES	12
BIBLIOGRAFIA:	13
APENDICE I: CONCEPTO Y ESPECIFICACIONES	16
APENDICE II: TABLAS Y FIGURAS	17
APENDICE III: REGISTRO FOTOGRÁFICO	22

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Esquema Planta Tratamiento Sur (tomada de la Dirección de Hidráulica) E: Entrada S: Salida.....	4
Figura 2: Contenido promedio de fósforo total en las muestras brutas en los piletones secundarios (mg/L). Las letras diferentes indican diferencias al 5% según el test de T de Student.....	6
Figura 3: Contenido promedio de nitrógeno total en los piletones secundarios (mg/L). Las letras diferentes indican diferencias al 5% según el test de T de Student.....	6
Figura 4: Aporte de las diferentes fracciones de fósforo (mg/L) a la entrada y a la salida de los piletones secundarios.....	7
Figura 5: Aporte de las diferentes fracciones de nitrógeno (mg/L) a la entrada y a la salida de los piletones secundarios.....	7
Figura 6: Contenido de clorofila <i>a</i> en la entrada y salida de los piletones secundarios (ug/L). Las letras diferentes indican diferencias al 5% según el test de T de Student.....	8

CONTENIDO APÉNDICE 1: CONCEPTOS Y ESPECIFICACIONES

(Pág. 16)

Aguas residuales

Descripción del funcionamiento de la laguna facultativa

CONTENIDO APÉNDICE II: TABLAS Y FIGURAS

(Pág. 17-21)

Tabla 1: Resultados promedios de análisis químicos (\pm DE) y sus respectivos valores p estadísticos cuando se compararon las entradas con las salidas.

Tabla 2: Contenido de sustancias que componen las aguas residuales domésticas.

Figura 7: Esquema del sistema de cloacas de Santa Rosa, La Pampa destacando el área de estudio.

Figura 8: Imagen satelital de la planta sur de tratamiento de residuos cloacales de Santa Rosa.

Figura 9: Esquema de las dimensiones de los piletones secundarios de la planta de tratamiento sur.

Figura 10: Disposición típica de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales.

Figura 11: Zonas de las lagunas facultativas.

Figura 12: Zonas de humedales de flujo libre superficial.

CONTENIDO APÉNDICE III: REGISTRO FOTOGRÁFICO

(Pág. 22-24)

Foto 1: Toma de muestras con balde albañilero.

Foto 2: Trabajo en el laboratorio del Pabellón Sur en el Campus de Enseñanza de la Fac. de Agronomía, orden de las muestras según su origen para su procesamiento.

Foto 3: Burbujeo observado en la superficie de laguna secundaria de la planta sur.

Foto 4: Vista panorámica del camino de salida de los líquidos tratados que desembocan en la laguna del Bajo Giuliani.

Foto 5: Comparación de colores entre muestra de entrada (botella izquierda) y salida (botella derecha) de los líquidos del piletón secundario N°1.

Foto 6: Vista de la laguna de estabilización en la salida de la planta sur.

INTRODUCCIÓN

El término eutrofización implica un aumento en la producción de un cuerpo de agua debido a interrupciones en el ciclo del N y del P (Wetzel, 2001). Estas interrupciones pueden ser de origen natural como antrópicas siendo estas últimas de carácter más puntual (*sensu* Carpenter *et al*, 1998). Entre estas últimas podemos destacar las actividades agrícola-ganaderas y la producción de desechos urbanos parcialmente tratados o no tratados (ej. efluentes cloacales) que están íntimamente relacionados al tamaño poblacional.

Con el crecimiento continuo que tiene la ciudad de Santa Rosa (La Pampa), el municipio ha debido cambiar las formas de proveer los servicios básicos (saneamiento, agua potable, residuos sólidos, etc.) para garantizar un ambiente sano a todos los habitantes. En el caso particular de los residuos líquidos (objeto del estudio de esta investigación) (Aguas residuales, Apéndice I), estos son llevados mediante una red cloacal a lagunas de estabilización (plantas de tratamiento de agua residual). Esta red transporta líquidos que contienen residuos de origen vegetal o animal en suspensión o en solución, como también líquidos que contengan sustancias químicas en solución (Tabla 2, Apéndice II).

En la ciudad de Santa Rosa existen 2 plantas de tratamiento de aguas cloacales (Fig.7, Apéndice II). La planta norte, emplazada en el noroeste de la ciudad, que, originalmente enviaba sus desechos tratados a la laguna Don Tomás. La planta sur, ubicada al Sur de la ciudad y muy cerca al Bajo Giuliani, fue habilitada en 1994 (A. Pessio, com. pers.) para cubrir las crecientes demandas poblacionales. Actualmente, los desechos de ambas plantas de tratamiento se depositan en la laguna del Bajo Giuliani. El mayor volumen de líquido tratado proviene de la planta sur (zona sur de la ciudad). Las plantas de tratamiento como ésta, se basan en un sistema de tratamiento de efluentes domiciliarios del tipo secundario (tratamiento biológico), cuyo objetivo principal es reducir el nivel de patógenos y proteger el ecosistema, disminuyendo la demanda biológica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales (De Lora y Chavarría, 1978).

El problema de las aguas parcialmente tratadas sobre el cuenco receptor radica en dos elementos nocivos: la materia orgánica (MO) y Nutrientes (N y P). La MO llega a las plantas de estabilización tanto en forma particulada como disuelta. Si las lagunas de estabilización están colmatadas, el cuenco receptor (en nuestro caso el Bajo Giuliani) recibirá tanto MO particulada como disuelta. Esta MO es mineralizada (oxidada) por los

microorganismos, causando la disminución del oxígeno disuelto pudiendo alcanzar un estado de anoxia y muerte de la flora y fauna acuáticas (Laws, 1993). Al igual que la MO, los nutrientes también pueden llegar en forma particulada o disuelta.

El impacto que se genera a partir de la entrada del líquido tratado deriva principalmente en la presencia de los dos de los nutrientes responsables del proceso de eutrofización: el N y P (OSN, 1973). Una vez que estos nutrientes llegan al cuenco receptor, aumentan la tasa de fotosíntesis de las algas, quienes producen grandes cantidades de oxígeno que generalmente se difunden hacia la atmósfera. Cuando las algas mueren, se depositan en el fondo y son degradadas por microorganismos, lo que hace descender el nivel de oxígeno disuelto en el agua (Contreras, 1994). Algunos de los efectos de la eutrofización sobre el cuenco receptor pueden incluir: aparición de cianobacterias tóxicas, reducción del valor estético, anoxia y muertes masivas de peces, mal olor y pérdida de biodiversidad entre otras (Laws, 1993).

Como se ha mencionado con anterioridad, el sistema de tratamiento de los líquidos cloacales ha debido adaptarse como consecuencia de los cambios en las dimensiones de la ciudad. La red cloacal se ha extendido para lograr el abastecimiento de este servicio a la mayoría de las viviendas. Esto ha aumentado el caudal generado por estos líquidos, lo que trajo una problemática que cada vez se hace más presente: la colmatación de la capacidad de depuración de aguas residuales del actual sistema de tratamiento, como también un potencial efecto de eutrofización de la laguna receptora de estos líquidos tratados.

La hipótesis de este trabajo fue que los piletones secundarios de la planta de tratamiento sur retienen N y P totales. De esta manera, se debe observar menores concentraciones de estos nutrientes a la salida de los piletones que a la entrada. También, deben observarse cambios en la forma química de los nutrientes (o sea que habrían más nutrientes disueltos en la salida que en la entrada), lo que causa una importante eutrofización del cuenco receptor (Bajo Giuliani).

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo fue determinar el grado de retención de N y P en las piletas para así poder analizar los posibles efectos deletéreos que puedan tener estos líquidos en la laguna del Bajo Giuliani. También se analizan posibles formas de aumentar la retención, a través del uso de fitorremediadores.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas cloacales sur de la ciudad de Santa Rosa, cercana a la laguna Bajo de Giuliani, que es el cuerpo receptor de los líquidos tratados (Fig. 8, Apéndice II). Esta planta contaba al momento del estudio con 5 piletones o lagunas anaeróbicas de 160 m x 49 m x 3 m de profundidad y 5 facultativas de 160 m x 195 m x 1,5 m de profundidad (Fig. 9, Apéndice II). Las muestras fueron tomadas el día 28 de marzo del 2012. Se eligió ese día, debido a las condiciones climáticas típicas de una día de verano (temperatura máxima 35°C, mínima 8,2°C; velocidad del viento <12 km; humedad relativa de 36 %), donde se supone que el funcionamiento de los piletones es óptimo.

Se tomaron muestras en las bocas de entrada y de salida de las lagunas facultativas (Fig.1), durante las horas de luz solar cada 2-3 hs aproximadamente (9 AM, 12 PM, 3:30 PM y 7:30 PM) (Foto 1, Apéndice III). Fueron conservadas en botellas de 500 ml a 4 °C hasta ser llevadas al laboratorio. Una vez en el laboratorio, y para evitar el problema de pseudorreplicación, las 4 submuestras obtenidas a la entrada y a la salida de cada piletón fueron integradas en una única muestra, obteniéndose de esta manera 5 muestras integradas para la entrada y 5 muestras integradas para la salida (correspondiente a los 5 piletones muestreados). De cada muestra integrada, se filtraron (2 veces) 250 mL a través de un filtro de fibra de vidrio tipo Gelman A/E de 0,7 µm de poro. El filtrado se preservó en un freezer (-18°C) para medir los nutrientes disueltos. También se preservaron 250 mL de líquido cloacal bruto para determinaciones de nutrientes totales. Conjuntamente, se determinó la clorofila a en todas las muestras.

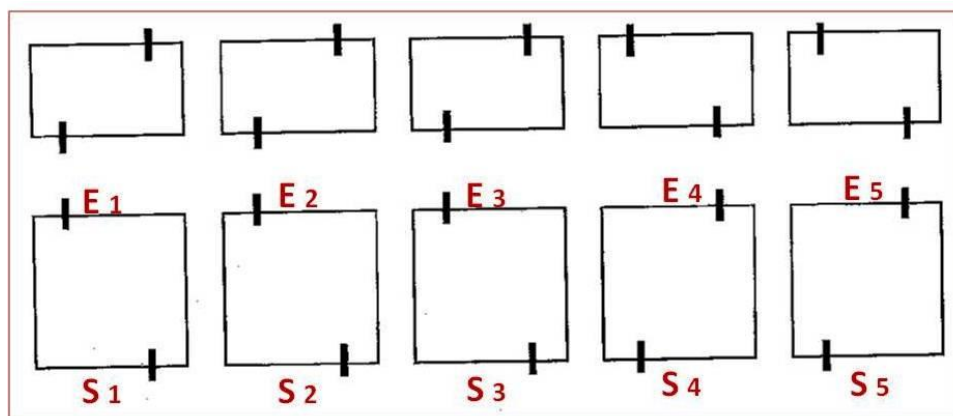


Figura 1: Esquema Planta Tratamiento Sur (tomada de la Dirección de Hidráulica) E: Entrada S: Salida

Los análisis de nutrientes disueltos se realizaron en su mayoría en el laboratorio de Aguas del Pabellón Sur del Campo de Enseñanza de la Facultad de Agronomía (Foto 2, Apéndice III), con un espectrofotómetro HACH DR/4000. El N inorgánico disuelto se midió como la suma de amonio (método del fenato: APHA, 1992), nitrato (reducción de cadmio: HACH, método 8039) y nitrito (Método St. 4500- NO₂, Laboratorio de APA). El P inorgánico disuelto se midió con el método del ácido ascórbico (APHA, 1992). El N y P disuelto total de las muestras filtradas se midió con el método de reducción de cadmio y el método del ácido ascórbico respectivamente, previa digestión con persulfato (Ebina *et al.*, 1983). Los nutrientes disueltos orgánicos se obtuvieron por diferencia entre los disueltos totales y los disueltos inorgánicos.

El N total y el P total se obtuvieron de las muestras cloacales brutas con el método de reducción de cadmio y método del ácido ascórbico respectivamente, previa digestión con persulfato (Ebina *et al.*, 1983).

La clorofila se midió mediante extracciones con acetona fría y el uso de un fluorómetro Aquafluor de Turner Designs, corregidas por la presencia de feopigmentos con adiciones de ácido clorhídrico (Arar y Collins, 1997).

Para el análisis de cambios de formas químicas de los nutrientes se utilizaron los siguientes cálculos basados en las mediciones de laboratorio previamente mencionadas:

Fracción Particulada:

- **Fósforo Particulado** = Fósforo Total – Fósforo Disuelto Total

- **Nitrógeno Particulado** = Nitrógeno Total – Nitrógeno Disuelto Total

Fracción Inorgánica:

- **Fósforo Inorgánico** = Fosfatos (PO_3)
- **Nitrógeno Inorgánico** = Nitrato (NO_3) + Nitrito (NO_2) + Amonio (NH_4)

Fracción Orgánica:

- **Fósforo Disuelto Orgánico** = Fósforo Disuelto Total – Fósforo Inorgánico
- **Nitrógeno Orgánico** = Nitrógeno Disuelto Total – Nitrógeno Inorgánico

Grado de Retención:

- **% Nutriente Retenido** = $100 * (\text{Nutr Tot Entr} - \text{Nutr Tot Sal}) / \text{Nutr Entr}$

Una vez obtenidos los datos, se determinó su normalidad con el test de Shapiro-Wilk (Zar, 1996). Para testear diferencias entre las diferentes variables a la entrada y a la salida de los piletones se les aplicó un test de T de Student si eran normales o se usó Kolmogorov-Smirnov si los datos eran no-paramétricos (Hammer *et al.*, 2001) (Tabla 1, Apéndice II).

RESULTADOS

Retención de nutrientes:

Como se observa en las figuras, los piletones facultativos retuvieron aproximadamente el 7 % del fósforo total que ingresaba a este (Fig. 2) y el 23 % del nitrógeno total (Fig. 3).

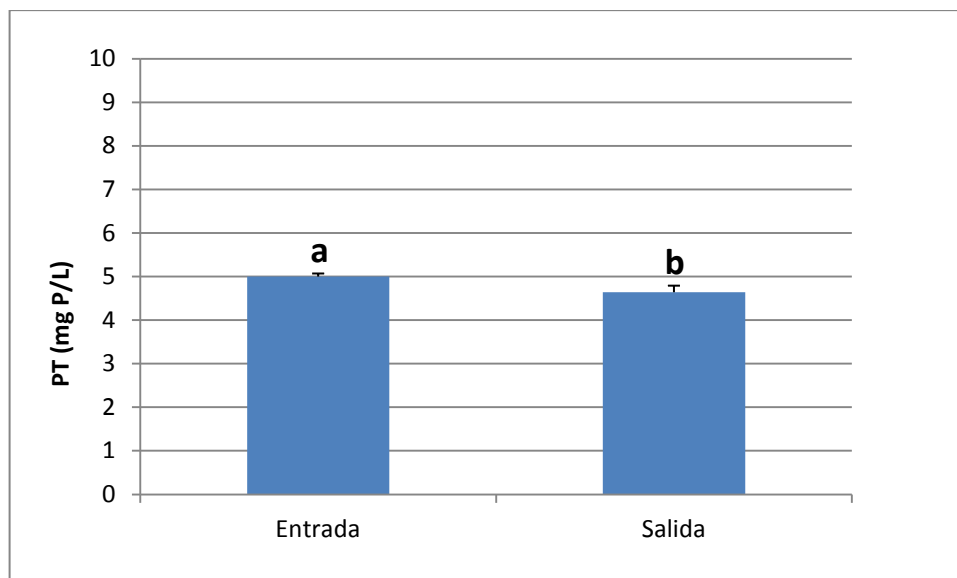


Figura 2: Contenido promedio de fósforo total en las muestras brutas en los piletones secundarios (mg/L). Las letras diferentes indican diferencias al 5% según el test de T de Student.

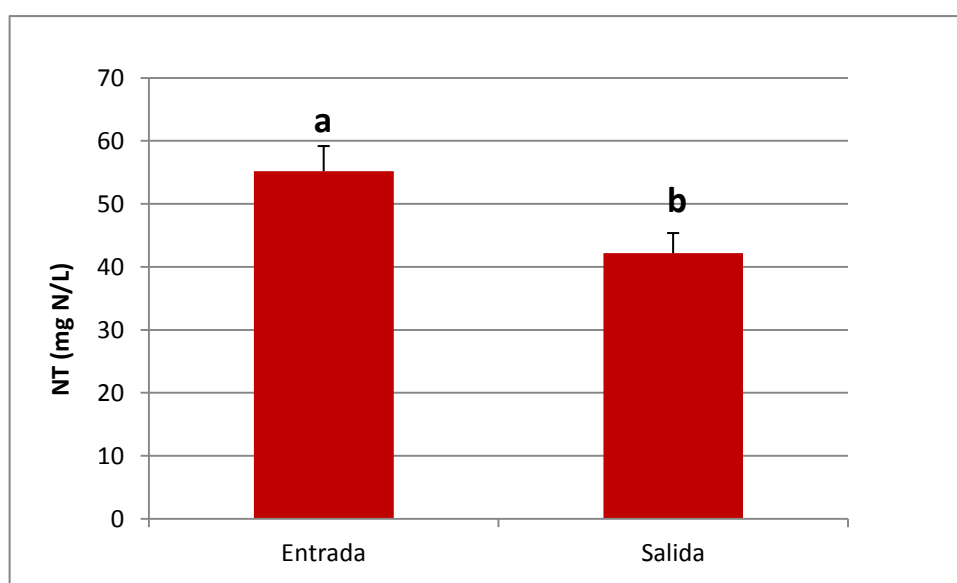


Figura 3: Contenido promedio de nitrógeno total en los piletones secundarios (mg/L). Las letras diferentes indican diferencias al 5% según el test de T de Student.

Cambio de formas químicas de los nutrientes:

Existieron cambios en las formas nitrogenadas y fosforadas medidas en la entrada y salida de los piletones. En el caso del fósforo, se observó que las concentraciones de sus formas disueltas (orgánicas e inorgánicas) disminuyeron considerablemente, mientras que la fracción particulada en la salida del piletón fue casi el doble de lo que se midió en la

entrada (Fig. 4). Sin embargo, en las formas nitrogenadas, el contenido de la fracción disuelta inorgánica fue menor en la salida, mientras que la fracción disuelta orgánica y la particulada no mostraron importantes cambios (Fig. 5).

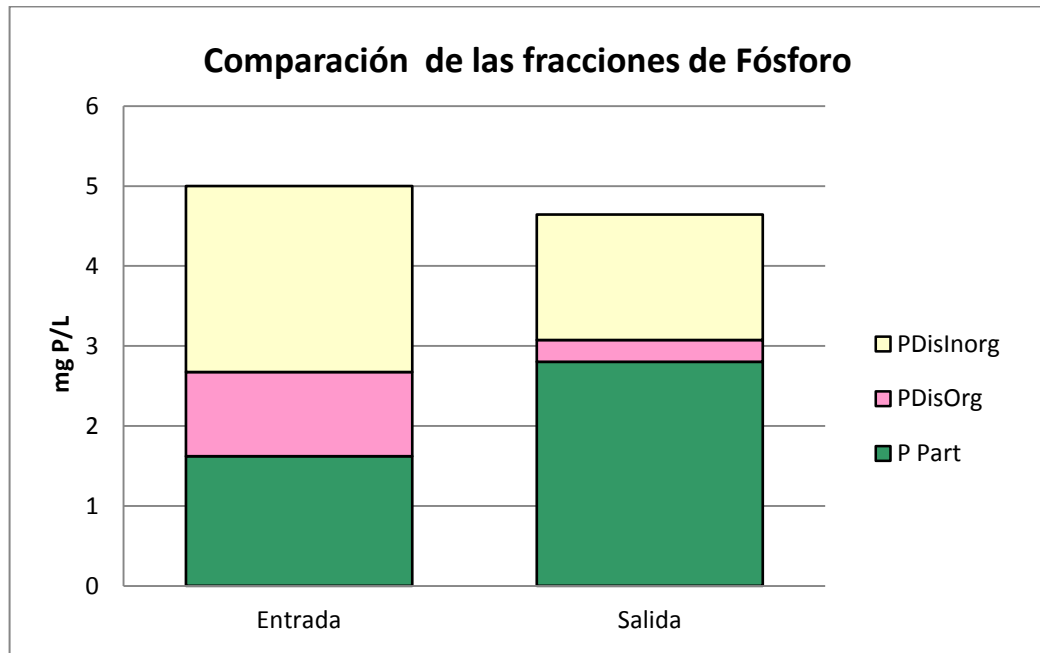


Figura 4: Aporte de las diferentes fracciones de fósforo (mg/L) a la entrada y a la salida de los piletones secundarios.

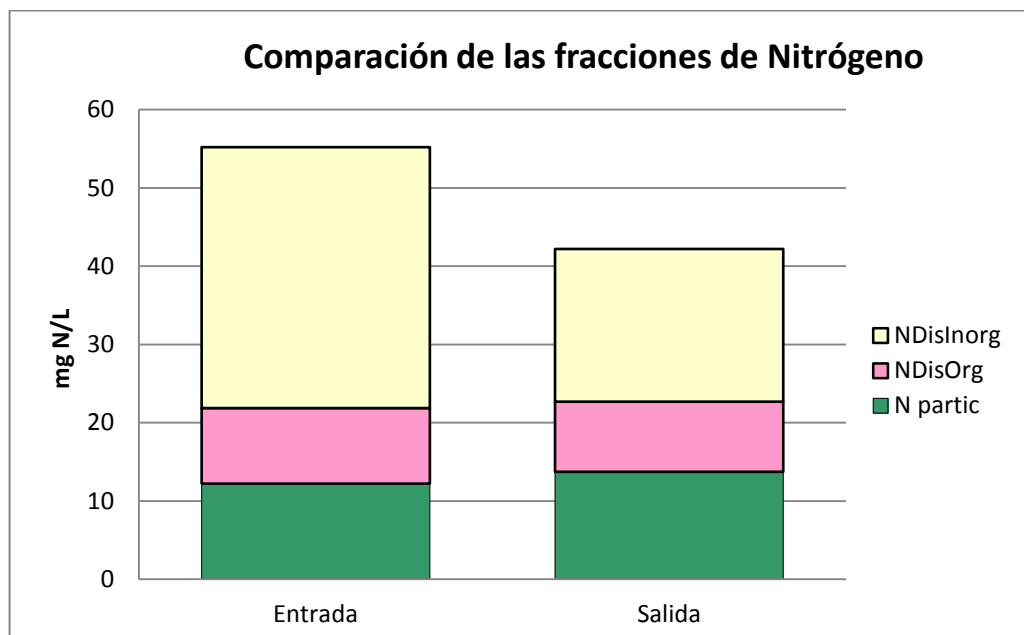


Figura 5: Aporte de las diferentes fracciones de nitrógeno (mg/L) a la entrada y a la salida de los piletones secundarios.

Clorofila:

El contenido de clorofila *a* medido en la salida de los piletones fue mayor con respecto a lo medido en la entrada (Fig. 6).

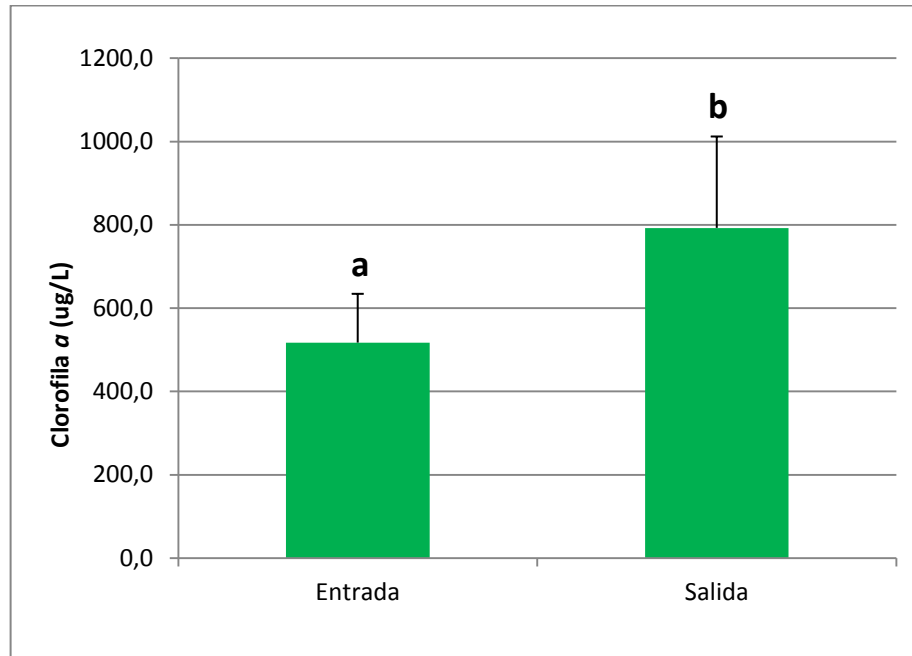


Figura 6: Contenido de clorofila *a* en la entrada y salida de los piletones secundarios (ug/L). Las letras diferentes indican diferencias al 5% según el test de T de Student.

DISCUSIÓN

Fósforo:

Las formas químicas del P mostraron notorias diferencias entre la entrada y la salida del piletón (Fig. 4). El P se mantiene en el agua como fosfato (inorgánico) ya que sus partes orgánicas se hidrolizan rápidamente, quedando de esta forma apto para ser consumido por la comunidad algal (Wetzel, 2001). De esta manera, la disminución de fosfatos a la salida pudo deberse al alto crecimiento algal que se produce en los piletones (Fig. 6). Esto también explica cómo el P pasó de su forma inorgánica a forma particulada (Fig. 4).

La retención de P en los piletones fue significativa (Fig. 1). Como el ciclo biogeoquímico de este nutriente es muy conservador y no tiene intercambio con la fase gaseosa (a diferencia del ciclo del N) (Wetzel, 2001), la retención de P en los piletones (7%) se puede

deber a procesos de precipitación o sedimentación. De esta manera el fósforo que se retiene en los piletones pasaría a formar parte de los barros que se acumulan en el fondo del piletón.

Nitrógeno:

La única forma química de N que mostró diferencias significativas entre la entrada y la salida de los piletones fue el N inorgánico disuelto (Fig. 5). De éste, la única forma que redujo sus concentraciones a la mitad fueron los nitratos (Apéndice II, Tabla 1).

El ciclo biogeoquímico del N no es conservador debido a que posee un importante intercambio con la fase gaseosa a través de procesos de fijación biológica de N y denitrificación (Wetzel, 2001). De esta manera, la reducción observada en los nitratos y en consecuencia en el N total (retención del 23%) (Fig. 3) se podría deber a una fuerte denitrificación generada por el sistema. En la parte profunda del piletón (zona anóxica), las bacterias extraen de las formas nitrogenadas oxidadas (NO_3 y NO_2) el oxígeno necesario para descomponer la MO que contienen estos líquidos cloacales, liberando en forma gaseosa el N_2 . Si bien no se midió denitrificación, se observó un burbujeo en la superficie de los piletones que podría indicar la liberación de metano (CH_4) y N_2 (Foto 3, Apéndice III). La pérdida de nitratos también puede estar asociada al importante crecimiento algal que se observó en los piletones (Fig. 6) (Margalef, 1986).

Concentración de Clorofila y su relación con los nutrientes:

Las algas son una de las primeras indicadores del aumento en la productividad de un lago, pudiendo llegar a producirse desarrollos masivos de cianobacterias (Lampert y Sommer, 1998). Estas floraciones pueden reducir la calidad del agua mediante la producción de toxinas, reducción del oxígeno (anoxia), problemas estéticos, malos olores, y pérdida de biodiversidad (Laws, 1993). Sin embargo, este crecimiento algal puede reducir parcialmente las concentraciones de nutrientes disueltos necesarios para su desarrollo (N y P). Éste proceso se refleja en la relación inversa entre los nutrientes inorgánicos disueltos (Figs. 4 y 5) y la clorofila como indicador de biomasa algal (Fig. 6). De esta manera, estos nutrientes disueltos pasan a formar parte de la biomasa algal, tal cual está reflejado en el caso del P principalmente (Fig. 4) y en el N (Fig. 5) en menor medida. Este crecimiento

algal en los piletones es tan notorio, que puede observarse a simple vista (Foto 5, Apéndice III).

Impactos en el ecosistema:

Si bien en el análisis de los contenidos de N y P para este día particular del verano es sólo una situación que ocurre cuando teóricamente los piletones funcionan al máximo, se debe aclarar que después de un tratamiento secundario, las descargas de aguas residuales son una importante fuente de nutrientes. El uso de lodos activados y filtros percoladores son eficaces para la reducción del DBO, pero su eficacia para la eliminación de nutrientes inorgánicos es a menudo limitada (Don-Gill *et al.*, 2011).

Los altos niveles de nutrientes (en todas sus formas) que salen de los piletones Sur, producirían consecuentemente alteraciones en el cuenco receptor (Bajo de Giuliani). Algunas de estas alteraciones (como ya se mencionara anteriormente) pueden incluir: incremento masivo de algas (principalmente cianofitas), cambio de especies presentes y descenso de la diversidad del ecosistema y un efecto antiestético. En vista de los resultados obtenidos y con el conocimiento de que la planta brinda una entrada permanente de agua cargada de nutrientes al Bajo de Giuliani, se puede deducir que esta laguna ya se encuentra alterada por acción antrópica. Particularmente, Álvarez (2002) encontró que las floraciones algales de esta laguna estaban dominadas cianofitas (*Arthrospira platensis var. constricta*, *Microcystis flos-aquae* y *Anabaenopsis arnoldii*) que caracterizan cuerpos de agua con altos niveles de nutrientes.

Formas propuestas de mejorar la retención:

Si bien las concentraciones de NT y PT obtenidas en la salida de los piletones entra dentro del rango admisible propuesto por la OMS (Organización Mundial de la Salud) (Tabla 2, Apéndice II), no se puede establecer si las retenciones de N y P observadas en los piletones (23% y 7% respectivamente) son altas o bajas, debido a que la función principal de los piletones secundarios es la de retener y degradar sólo MO. 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 disueltos (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 la eficiencia de estos fitorremediadores en el tratamiento de aguas servidas. 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 mientras que los pantanos sin plantas removieron 25-50% del PT. Por otro lado, la retención de TKN (NT como Kjeldahl) fue de hasta el 100% en tratamientos con plantas y del 60% en tratamientos sin 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%.

Respecto de la retención de los principales nutrientes disueltos, la planta de tratamientos Sur retiene un 37% de NH_4 y un 30% de PO_4 (Apéndice II, Tabla 1). Estos valores caen dentro del rango de retención publicado por Koumi y Nikolaidis (2002) quienes observaron una retención del 19-89% para NH_4 y del 37-80% para PO_4 . La retención de nutrientes disueltos podría mejorarse entonces con el uso de fitorremediadores. Jin (2002) ha demostrado que un sistema de tratamiento con plantas acuáticas logra también reducir la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ un 60% y los fosfatos en un 40%.

Sugerencias:

La planta de tratamientos secundario actual no posee todas las partes que conformarían un sistema ideal para reducir también los nutrientes (Fig. 10, Apéndice II). Construir una planta ideal, con desarenadores, digestores mecánicos y filtros (con sus respectivos mantenimientos) puede llegar a superar los costos municipales de nuestra ciudad. Es por ello que se sugiere utilizar sistemas alternativos de tratamiento de los líquidos implementando lagunas de estabilización o sistemas de tratamiento naturales con fitorremediadores. Este sistema extra, es de bajo costo, y puede no sólo mejorar la calidad

del efluente sino también proveer empleo de mano de obra local y un sistema de saneamiento descentralizado. De esta forma se podría plantear o sugerir un acondicionamiento de los dos piletones de estabilización, ubicados en la boca de salida de la planta de tratamiento (Fig. 6, Apéndice III). Estos piletones con fitorremediadores pueden implantarse con especies de macrófitas nativas como *Juncus acutus*, *J. balticus* o *Typha latifolia*, propias de nuestros ecosistemas (Cano, 2004), para impulsar la retención de dichos nutrientes en sus estructuras vegetales, tal como se ha explicado anteriormente. Alternativamente, también se podrían cultivar estas macrófitas a lo largo del canal a cielo abierto que comunica la planta de tratamiento sur con el Bajo Giuliani (Foto 4, Apéndice III), como también se podría construir una serie de humedales a lo largo del canal a cielo abierto que comunica a la planta Sur con la laguna del Bajo Giuliani, preferentemente unos humedales FWS o de flujo libre superficial (Fig. 12, Apéndice II), cuyo mantenimiento es mínimo y garantiza una remoción del 60% de NO₃-N y un 40 % de fosfatos (Jin, 2002).

Es importante recalcar que, sea cual sea la media que se tome (fitorremediadores en piletones de estabilización o en el canal a cielo abierto), se deberá realizar un control mensual para poder monitorear la efectividad de este sistema en la zona. Así mismo se puede complementar esta información obtenida con otras mediciones importantes como DBO, carbono orgánico disuelto (COD) y coliformes. De esa manera se resolvería en gran parte el problema de las aguas vertidas al Bajo Giuliani.

CONCLUSIONES

Los piletones secundarios de la planta de tratamiento de líquidos cloacales sur de la ciudad de Santa Rosa, disminuyen el contenido de fósforo total un 7% en la salida y un 23 % del contenido de nitrógeno total, teniendo una diferencia importante entre la entrada y la salida del piletón de las formas químicas que se presentan de los distintos nutrientes. Estas aguas tratadas pasan a formar parte del cuenco receptor (laguna Bajo Giuliani) lo que puede ocasionar distintos efectos en dicho ecosistema, por esto se recomienda la implementación de sistemas de bajo costo y efectivos para la remoción de los nutrientes (P y N) como el uso de humedales con fitorremediadores, así como también se sugiere hacer un monitoreo de parámetros que indican la calidad del agua que llega a la laguna.

BIBLIOGRAFIA:

Álvarez, S. (2002). *Estudio bioecológico y citotaxonómico del fitoplancton de una laguna eutrofizada, reservorio final de las aguas residuales de la ciudad de Santa Rosa, La Pampa*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 272 pags.

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

Arar, E. J. & G. B. Collins (1997). *In vitro determination of chlorophyll a and pheohitin a in marine and freshwater algae by fluorescence*. Método EPA 445 disponible en www.epa.gov/nerlcwww/ordmeth.htm. Visitado el 6 de Mayo de 2009. 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.

Cano, E. (2004). *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa*. Clima, Geomorfología, Suelo, Vegetación y Fauna. INTA, UNLPam. Segunda Edición. Disponible online en: <http://www.lapampa.edu.ar/recursosnaturales/index2.html>

Carpenter, S. R., N. E. Caraco, D. L. Correll, R.W. Howarth, A.N. Sharpley, & V.H. Smith (1998). *Non point pollution of surface waters with phsophorus and nitrogen*. Ecological Applications 8(3):559-568.

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.

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

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

- Don-Gill, K., J. Park & D. Lee** (2011). *Removal of nitrogen and phosphorus from effluent of a secondary wastewater treatment plant using a Pond-Marsh wetland system*. *Water Air Soil Pollutions*. 214:37-47.
- Ebina, J., T. Tsuyoshi & S. Toyoso** (1983). *Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in water using peroxodisulfate oxidation*. *Water Res.* 17(12), 1721-1726.
- Gebremariam, S. Y. & M. C. Beutel** (2008). *Nitrate removal and DO levels in batch wetland mesocosms: Cattail (*Typha spp.*) versus bulrush (*Scirpus spp.*)*. *Ecological Engineering* 34:1-6.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper, & P. D. Ryan** (2001). *PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*. *Palaeontologia Electronica* 4(1):1-9.
- Jin, G., T. Kelley, M. Freeman & M. Callahan** (2002). *Removal of N, P, BOD₅, and Coliform in Pilot-Scale Constructed Wetland Systems*. *Internacional Journal of Phytoremediation*. 4 (2) 127-141.
- Koumi, C. & G. Nikolaidis** (2002). *The removal efficiency of the experimental wastewater treatment plant of N. AG. REF in Thessaloniki Greece*. *Fresenius Environmental Bulletin*. 11: 889-893.
- Lampert, W. y U. Sommer** (1998). *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford Univ. Press. 382 pags.
- 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.
- Mihelcic, J. R. & J. B. Zimmerman** (2011). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño*- Ed. Alfaomega, 1^o Edición. México. 969 pags.
- O.S.N.** (Obras Sanitarias de la Nación) (1973). *Manual de laboratorio para técnicos de laboratorio*. Argentina. 228 pags.
- Wetzel, R. G.** (2001). *Limnology. Lake and river ecosystems*. 3^{ra} 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. (1996). *Biostatistical analysis*. 3ra. Edición. Prentice Hall International. 662 pags.

APENDICE I: CONCEPTO Y ESPECIFICACIONES

Aguas residuales:

El líquido cloacal contiene los desperdicios resultantes del uso del agua para fines domésticos, comercial e industrial y todas aquellas aguas superficiales o subterráneas que puedan penetrar en las redes colectoras (OSN, 1973). Este es considerado altamente contaminante ya que cualquiera fuera la cantidad de elementos contaminantes que contenga, estos tendrán serios impactos ecológicos y sobre la salud si se descarga sin tratar (Mihelcic y Zimmerman, 2011). Su composición varía según el origen que tengan las aguas residuales (doméstico, industrial), aunque de forma general, se puede decir que las aguas residuales domésticas (o urbanas) están formadas principalmente por sólidos en suspensión (materia orgánica), metales pesados, patógenos, nutrientes, etc. (Tabla 2, Apéndice II) (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Descripción del funcionamiento de la laguna facultativa:

Las lagunas facultativas utilizan una combinación de procesos aeróbicos, anóxicos y anaeróbicos, generando en ella una zonificación vertical. La zona aeróbica está ubicada cerca de la superficie y es aireada debido a la transferencia de oxígeno del aire subyacente hacia el agua y también por la fotosíntesis de algas. En esta zona el nitrógeno que está en la materia orgánica se convierte en nitrato. En la zona anaeróbica que se forma en el fondo del piletón facultativo, se asientan los sólidos que no fueron retenidos en el tratamiento primario y es donde suceden los procesos de fermentación biológica. Entre estas dos zonas, se encuentra una capa anóxica o zona facultativa. Aquí las reacciones de desnitrificación tienen lugar y es donde el nitrato puede ser reducido a gas nitrógeno (Fig. 11, Apéndice II) (Mihelcic y Zimmerman, 2011).

APENDICE II: TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1: Resultados promedios de análisis químicos (\pm DE) y sus respectivos valores p estadísticos cuando se compararon las entradas con las salidas **El asterisco indica diferencias al 5% según** el Test Kolmogorov-Smirnov para datos no paramétricos

	Entradas	Salidas	p
Nitrógeno Total (mg/L)	55,2 (\pm 4)	42,2 (\pm 3,2)	0,000469
Fósforo Total (mg/L)	5,0 (\pm 0,1)	4,6 (\pm 0,2)	0,001337
Nitrógeno Disuelto Total (mg/L)	43,0 (\pm 3)	28,5 (\pm 2,5)	0,000030
Fósforo Disuelto Total (P-PO₄) (mg/L)	3,4 (\pm 0,2)	1,80 (\pm 0,8)	0,03615 *
N-NO₃ (mg/L)	8,06 (\pm 1,04)	4,14 (\pm 2,2)	0,00378 *
N-NO₂ (mg/L)	0,11 (\pm 0,016)	0,11 (\pm 0,015)	0,913900
N-NH₄ (mg/L)	24,26 (\pm 2,63)	15,29 (\pm 4,83)	0,001254
Nitrógeno disuelto Orgánico (mg/L)	9,69 (\pm 3,6)	8,94 (\pm 2,6)	0,99960 *
Nitrógeno Disuelto Inorgánico (mg/L)	33,33 (\pm 2)	19,54 (\pm 1,26)	0,000010
Fósforo Disuelto Orgánico (mg/L)	1,05 (\pm 0,43)	0,27 (\pm 0,33)	0,001630
Fósforo disuelto Inorgánico (mg/L)	2,33 (\pm 0,28)	1,57 (\pm 0,68)	0,043088
Nitrógeno Particulado (mg/L)	12,2 (\pm 2,6)	13,7 (\pm 0,9)	0,238370
Fósforo Particulado (mg/L)	1,6 (\pm 0,2)	2,8 (\pm 0,9)	0,017755
Clorofila (ug/L)	517,11 (\pm 117,1)	792,42 (\pm 219,4)	0,038384

Tabla 2: Contenido de sustancias que componen las aguas residuales domésticas (tomado de De Lora y Miró, 1978)

Constituyente	Concentración, ppm		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales	1.200	700	350
Sólidos disueltos	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Sólidos en suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Materia decantable (ml/l)	20	10	5
DBO ₅	300	200	100
DQO	1.000	500	250
Nitrógeno (como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total (como P)	20	10	6
Orgánico	5	3	2
Inorgánico	15	7	4
Cloruros (1)	100	50	30
Alcalinidad (1) (como CO ₃ Ca)	200	100	50
Aceites y grasas	150	100	50

(1) Estos valores serán incrementados con la concentración inicial del agua de aportación.

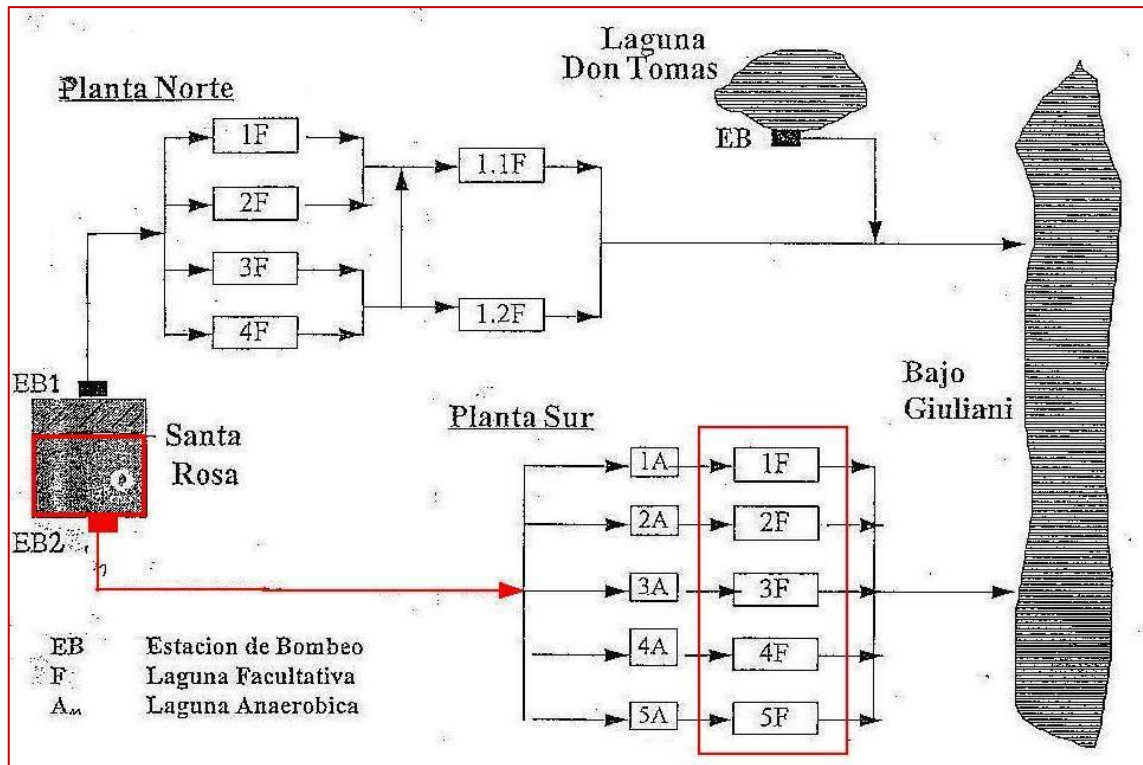


Figura 7: Esquema del sistema de cloacas de Santa Rosa, La Pampa (tomado de Dirección de Hidráulica) destacando el área de estudio.



Figura 8: Imagen satelital de la planta sur de tratamiento de residuos cloacales de Santa Rosa (tomado de Google Earth 17/12/2011).

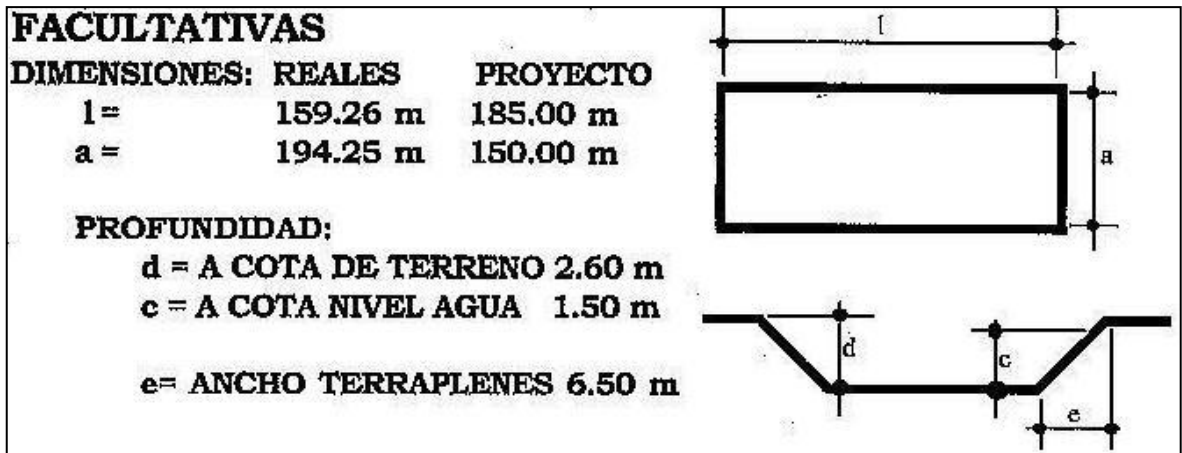


Figura 9: Esquema de las dimensiones de los piletones secundarios de la planta de tratamiento sur (tomado de Dirección de Hidráulica).

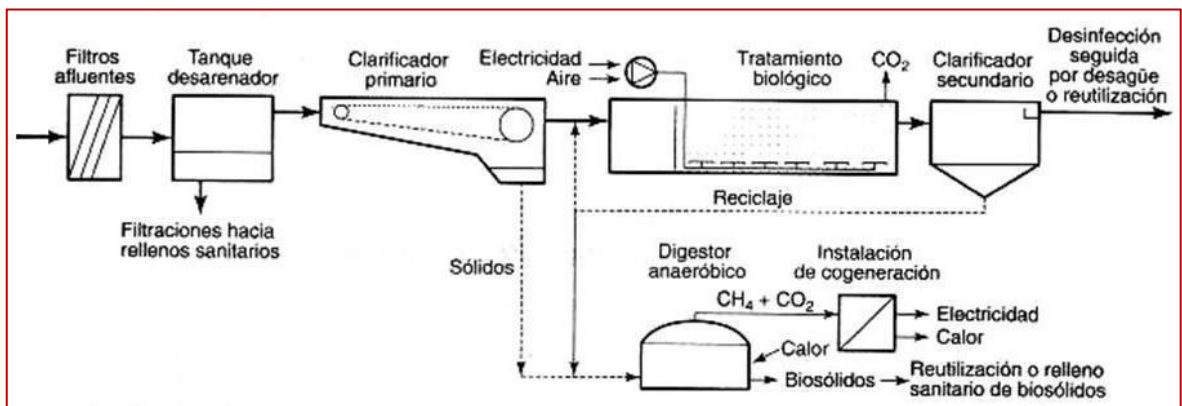


Figura 10: Disposición típica de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales (tomado de Mihelcic y Zimmerman, 2011).

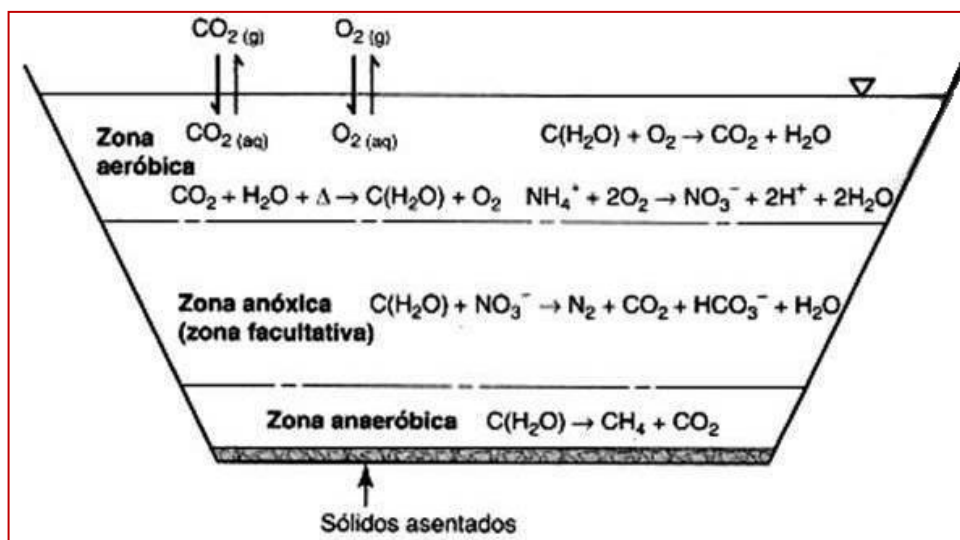


Figura 11: Zonas de las lagunas facultativas (tomado de Mihelcic y Zimmerman, 2011).

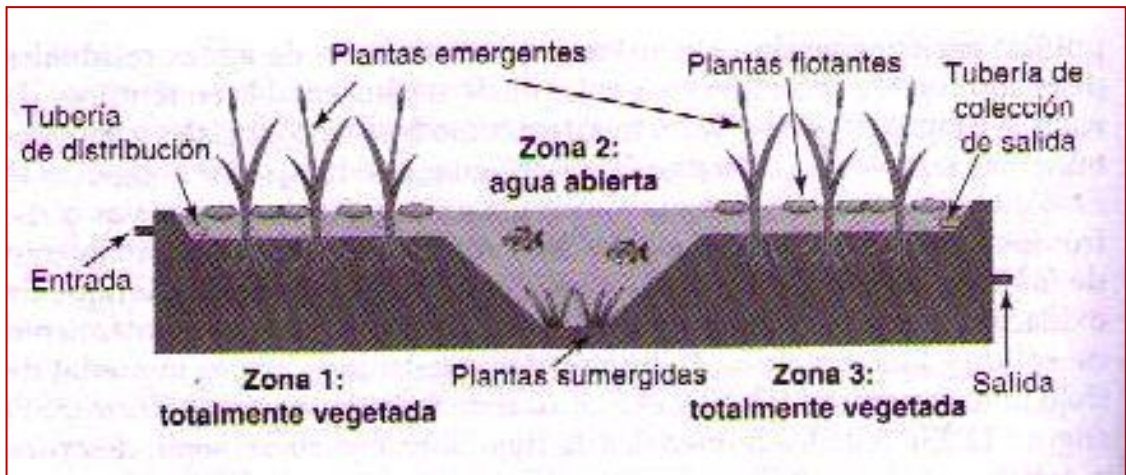


Figura12: Zonas de humedales de flujo libre superficial (tomado de Mihelcic y Zimmerman, 2011).

APENDICE III: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Foto 1: Toma de muestras con balde albañilero (foto Alberto Pilati, 2011)



Foto 2: Trabajo en el laboratorio del Pabellón Sur en el Campus de Enseñanza de la Fac. de Agronomía, orden de las muestras según su origen para su procesamiento (foto Carolina Polanco, 2011)



Foto 3: Burbujeo observado en la superficie de laguna secundaria de la Planta Sur (foto Alberto Pilati, 2011)



Foto 4: Vista panorámica del camino de salida de los líquidos tratados que desembocan en la laguna del Bajo Giuliani (foto Carolina Polanco, 2011)



Foto 5: Comparación de colores entre muestra de entrada (botella izquierda) y salida (botella derecha) de los líquidos del piletón secundario N°1 (foto Alberto Pilati, 2011)



Foto 6: Vista de la alguna de estabilización en la salida de la planta sur (foto Carolina Polanco, 2011)